

مدل سازی پخش ذرات معلق کارخانه سیمان کرمان با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

اصغر علیزاده داخل^۱، آریامن قویدل^۲، محمد پناهنده^۳

نویسنده مسئول: رشت، پل تالشان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت، گروه شیمی alizadeh@iaurasht.ac.ir

دریافت: ۸۸/۰۸/۳۰ پذیرش: ۸۸/۱۱/۳۰

چکیده

زمینه و هدف: پخش گرد و غبار مهم ترین آلودگی کارخانجات سیمان محسوب می شود. در این تحقیق چگونگی پخش ذرات گرد و غبار از دودکش کارخانه سیمان کرمان با استفاده از مدل سازی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: مدل سازی سه بعدی CFD برای پیش بینی چگونگی پخش گرد و غبار خروجی از دودکش کارخانه در سه بعد انجام شد. بدین منظور محدوده ای به ابعاد $400 \times 1000 \times 1000$ متر به عنوان دامنه محاسباتی در نظر گرفته شد. این دامنه به 936871 حجم کنترلی شش وجهی تقسیم شد. برای جریان دو فاز از مدل دو فاز مخلوط و برای آشفتنگی از مدل شبیه سازی گردابه بزرگ (LES) استفاده شد. یافته ها: توزیع غلظت گرد و غبار در تمام نقاط دامنه محاسبه شد. مقادیر پیش بینی شده غلظت با مقادیر اندازه گیری شده در مطالعات قبلی مورد مقایسه قرار گرفت و تطابق خوبی مشاهده شد. هم چنین پروفایل پیش بینی شده غلظت گرد و غبار در مقاطع مختلف مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

نتیجه گیری: نتایج به دست آمده از این تحقیق نشان داد که دینامیک سیالات محاسباتی ابزاری بسیار مفید و توانمند برای مدل سازی پخش ذرات گرد و غبار در هوا می باشد. با این که نتایج بسیار امیدوارکننده ای حاصل شد، به دست آوردن نتایج دقیق تر تحقیقات بیش تری را بر روی خصوصیات فاز پراکنده، تنظیم پارامترهای آشفتنگی و نیز اثرات لایه مرزی طلب می کند.

واژگان کلیدی: مدل سازی، CFD، سیمان، گرد و غبار

۱- دکترای مهندسی شیمی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت

۲- کارشناس ارشد محیط زیست، عضو هیئت علمی و مدیر گروه مهندسی محیط زیست پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

۳- کارشناس ارشد برنامه ریزی محیط زیست، عضو هیئت علمی پژوهشکده محیط زیست جهاد دانشگاهی

مقدمه

صنعت سیمان یکی از صنایع بسیار بزرگ کشور بوده و با توجه به کاربرد و نقش کلیدی سیمان در بخش های مختلف، صنعت سیمان از اهمیت اقتصادی زیادی برخوردار است. امروزه کانون توجه و نگرانی عمده جامعه بشری منعطف به حفاظت محیط زیست بوده و رعایت معیارهای زیست محیطی به منظور تداوم زندگی بشر بر روی کره زمین از ضروریات جدی است. بدیهی است که در چنین شرایطی باید یکی از دغدغه های اصلی صنعت تولید سیمان مانند سایر بخش های صنعت، اثرات آن بر محیط زیست و نقش آن در روند توسعه پایدار باشد. آلودگی هوا توسط گرد و غبار، مهم ترین آلودگی کارخانه های سیمان است. مطالعات زیادی برای اندازه گیری و بررسی چگونگی پخش گرد و غبار در هوا انجام شده است (۱-۶).

مدل سازی پخش آلاینده ها کمک می کند تا با بررسی اثر تغییر پارامترهای مختلف بر تولید و نشر آلاینده ها بتوان تمهیداتی را برای کنترل بهینه آلودگی در نظر گرفت. روشی که معمولاً برای مدل سازی انتشار آلاینده های هوا از کارخانجات سیمان استفاده می شود، مدل پلوم گوس است (۷، ۸). این مدل برای محاسبه غلظت آلاینده های هوای محیط نسبت به یک منبع نقطه ای (مثل دودکش کارخانه) قابل استفاده است. ضعف اصلی این روش و مدل های آماری، عدم توانایی محاسبه پروفایل سرعت و ثابت فرض نمودن ضریب پخش متلاطم است. در این مدل ها از معادلات نیمه تجربی برای تقریب پروفایل سرعت هوا در محیط استفاده می شود. دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) روشی است که در آن با حل هم زمان معادلات اندازه حرکت و بقای جرم روی دامنه مورد نظر، مشخصات جریان (از جمله پروفایل سرعت) در تمام نقاط دامنه حل به دست می آید. در این روش، ابتدا فضای حرکت سیال به اجزای کوچک (مش) تقسیم می شود. آنگاه معادلات مشتقات جزئی بیانگر جریان (که صورت مناسبی از معادلات ناویر استوکس می باشند) بر تمام این مش ها (حجم های کنترلی)

اعمال می گردد. در نتیجه تعداد زیادی معادلات غیرخطی به دست می آید که باید به طور هم زمان حل شوند. حل این معادلات با استفاده از الگوریتم های عددی انجام می گیرد. برای مسائلی که جریان ایجاد شده در آنها آشفته است، علاوه بر معادلات مذکور، معادلاتی نیز برای مدل نمودن آشفتگی جریان لازم خواهد بود. هم چنین در صورت وجود دو یا چند فاز، معادلات بیانگر اثر متقابل فازها نیز باید به معادلات جریان افزوده شود. نتایج شبیه سازی شامل مشخصات کامل جریان از جمله سرعت، فشار، غلظت اجزای مختلف و ... در تمام دامنه حل است.

به تازگی با پیشرفت علوم سخت افزار و نرم افزار کامپیوتر و در نتیجه بالا رفتن سرعت محاسبات کامپیوتری، مطالعاتی برای مدل سازی CFD رفتار هیدرودینامیکی ذرات معلق در هوا انجام شده است. Skodras و همکارانش (۹) یک مدل CFD برای شبیه سازی ته نشین کننده های الکترو استاتیکی (ESP) ارائه دادند. این مدل به صورت دو بعدی برای یک ته نشین کننده الکترو استاتیکی صنعتی به کار رفته و مشخصات جریان گاز (سرعت، فشار و آشفتگی) پارامترهای اولری ذرات (غلظت، دانسیته و ...) و نیز پارامترهای الکترو استاتیکی (پتانسیل، مقاومت و دانسیته جریان یونی) محاسبه گردید. برای محاسبات CFD از نرم افزار Fluent استفاده گردید. Zhang و همکارانش (۱۰) چگونگی پخش گرد و غبار را در داخل سالن یک هواپیما با استفاده از CFD و با به کارگیری مدل آشفتگی RNG k-e مدل سازی نمودند. برای مدل نمودن انتقال ذرات از روش لاگرانژ استفاده شد. نتایج به دست آمده از مدل سازی با مقادیر اندازه گیری شده مقایسه شده و تطابق کیفی خوبی گزارش شد. Narasimha و همکارانش (۱۱) جداسازی ذرات معلق هوا را در یک سیکلون با استفاده از مدل آشفتگی LES، مدل دو فازی آمیزش و خط سیر لاگرانژی مدل سازی نمودند. در این مدل سازی از نرم افزار Fluent استفاده شده و مدل دو فازی آمیزش برای نیروهای لیفت دیواره، تغییر شکل مخلوط و برخورد ذرات تصحیح گردید. نتایج به دست آمده از

کل فضای محاسباتی به ۹۳۶۸۷۱ حجم کنترلی شش وجهی تقسیم شد. برای بهینه کردن تعداد حجم های کنترلی و زمان محاسبه با توجه به این که تغییرات غلظت گرد و غبار در نزدیک دودکش بیش تر است، در این ناحیه از حجم های کنترلی ریزتری استفاده شد. هم چنین به منظور محاسبه اثر لایه مرزی در نزدیک سطح، نواحی نزدیک به سطح مش بندی صورت مجزا مش بندی شد. در این لایه از ۵ ردیف مش بندی با اندازه اولیه ۵ سانتی متر و ضریب رشد ۲/۳ استفاده شد. یک برش از مش بندی ایجاد شده بر روی یک صفحه عمودی گذرنده از دودکش در شکل ۲ نشان داده شده است.

برای ترسیم شکل هندسی و تقسیم فضای محاسباتی به حجم های کنترلی کوچک از نرم افزار Gambit استفاده شد.

مدل سازی آشفتگی و جریان دو فازی

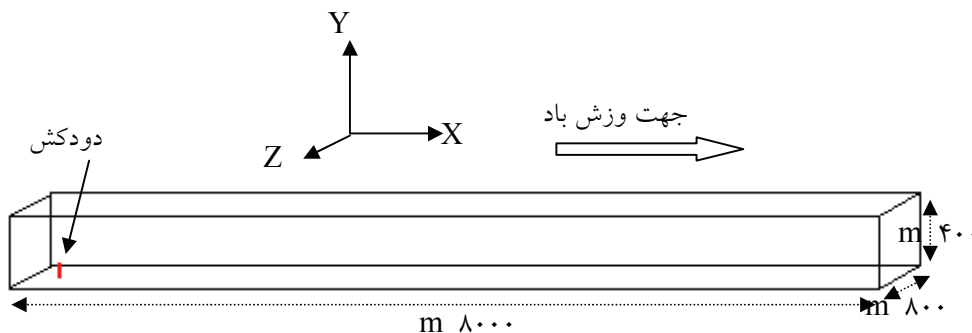
برای مدل سازی آشفتگی از مدل شبیه سازی گردابه بزرگ (LES) استفاده شد. در این مدل معادلات پیوستگی و اندازه حرکت را می توان به شکل زیر بیان کرد (۱۴):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \bar{u}_i) = 0 \quad (1)$$

$$(2)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha \frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_i} \right) - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j}$$

که σ_{ij} تانسور تنش ناشی از لزجت مولکولی است و به صورت زیر تعریف می شود:



شکل ۱: فضای محاسباتی برای مدل سازی سه بعدی CFD

مدل سازی با داده های توزیع سرعت و دانسیته موجود در منابع مقایسه شده و تطابق خوبی گزارش مشاهده شد. Zhonghua و Mujumdar رفتار گاز-ذره در داخل یک بستر استوانه ای سیاله شامل ذرات کره ای را با استفاده از یک مدل اولر-اولر (نرم افزار Fluent) شبیه سازی نمودند. در تحقیق دیگری که توسط Zhonghua و Mujumdar (۱۲) انجام شد، اثر متقابل گاز-ذره با استفاده از مدل دراگ گپسو پیش بینی شده و نتایج به دست آمده با داده های تجربی منتشر شده مورد مقایسه قرار گرفت. تطابق خوبی بین داده های تجربی و هیدرولیک جریان پیش بینی شده مشاهده گردید.

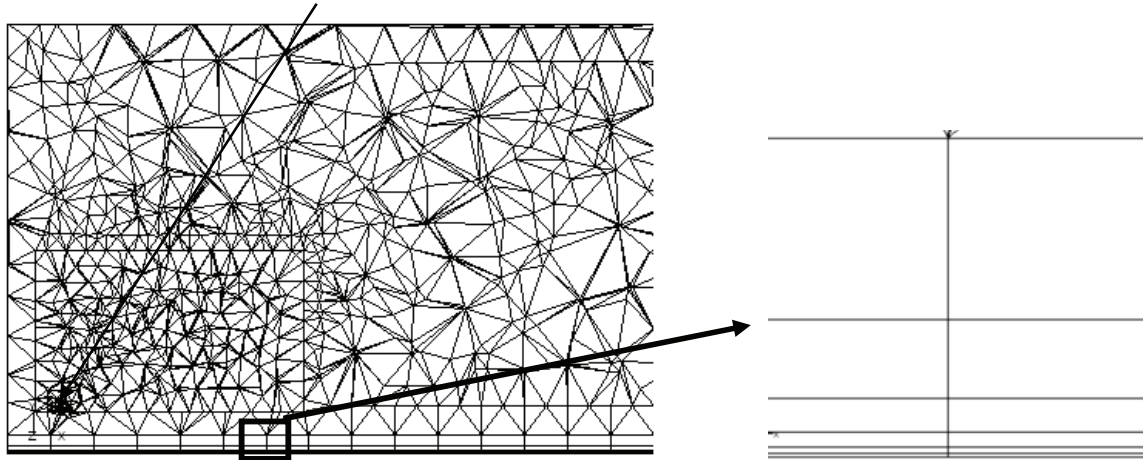
در تحقیق حاضر پخش گرد و غبار از کارخانه سیمان کرمان با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی مدل سازی شده و نتایج به دست آمده با داده های تجربی منتشر شده (۱۳) مورد مقایسه قرار گرفته است.

مواد و روش ها

ژئومتری و مش بندی

فضایی به طول ۸۰۰۰ متر (در جهت باد غالب)، عرض ۸۰۰ متر و ارتفاع ۴۰۰ متر به عنوان دامنه حل در نظر گرفته شده و چگونگی پخش ذرات معلق در این فضا مورد بررسی قرار گرفت. فضای محاسباتی و محورهای مختصات که در بررسی نتایج مورد استفاده قرار می گیرد در شکل ۱ نشان داده شده است. محور X در جهت باد غالب و محور Y بیانگر ارتفاع است. مبدا مختصات بر مرکز دودکش در سطح زمین منطبق است.

محل خروج گرد و غبار از دودکش



شکل ۲: نمایی از مش بندی در فضای اطراف دودکش و لایه مرزی

فرض اول: فاز(های) پخش شده با سرعت حد خود نسبت به فاز پیوسته حرکت می کند. فرض دوم: تبادل اندازه حرکت بین دو فاز با استفاده از معادله دراگ قابل محاسبه است (۱۵). با پذیرفتن فرض اول، دیگر نیاز به حل معادلات اندازه حرکت به طور مجزا برای هر فاز نیست و فقط معادلات حرکت فاز پیوسته به همراه معادله انتقال برای جزء حجمی فازهای پراکنده حل می گردد:

$$\frac{\partial}{\partial t} \alpha_k + \nabla \cdot (\alpha_k u_m) + \nabla \cdot (\alpha_k u_{km}) = 0 \quad (7)$$

در این معادله سرعت رانش (drift velocity) فاز k نسبت به مخلوط است و از روی سرعت های لغزش فازهای دیگر محاسبه می گردد:

$$u_{km} = u_{kc} - \sum_{l=0}^n \frac{\alpha_k \rho_k}{\rho_m} u_{lc} \quad (8)$$

$$u_{kc} = u_k - u_c \quad (9)$$

سرعت لغزش فاز پراکنده k نسبت به فاز پیوسته c می باشد و با استفاده از فرض تعادل دراگ به دست می آید.

$$\sigma_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \mu \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \quad (3)$$

و τ_{ij} تنش در مقیاس زیر-گرید می باشد:

$$\tau_{ij} \equiv \rho(u_i u_j) - \rho \bar{u}_i \bar{u}_j \quad (4)$$

با استفاده از مدل Smagorinsky-Lilly مدل سازی τ_{ij} می گردد:

$$\tau_{ij} - \frac{1}{3} \tau_{kk} \delta_{ij} = -2 \mu_t \bar{S}_{ij} \quad (5)$$

که در آن μ_t لزجت آشفته در مقیاس زیر-گرید می باشد و \bar{S}_{ij} نرخ تانسور کرنش است و با معادله زیر بیان می گردد:

$$\bar{S}_{ij} \equiv \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (6)$$

برای مدل سازی جریان دو فازی از مدل مخلوط (mixture) نرم افزار Fluent 6.2 استفاده شد. این مدل از مدل دو فازی اولر-اولر با اعمال دو فرض ساده سازی گرفته شده است.

اعمال شرایط مرزی و حل معادلات

سرعت هوای ورودی به دامنه به صورت پروفایل توانی (۱۶) با استفاده از یک برنامه جانبی به نرم افزار داده شد:

$$\begin{cases} u = u_{ref} \left(\frac{y}{y_{ref}} \right)^a & y \geq y_{ref} \\ u = u_{ref} & y < y_{ref} \end{cases} \quad (10)$$

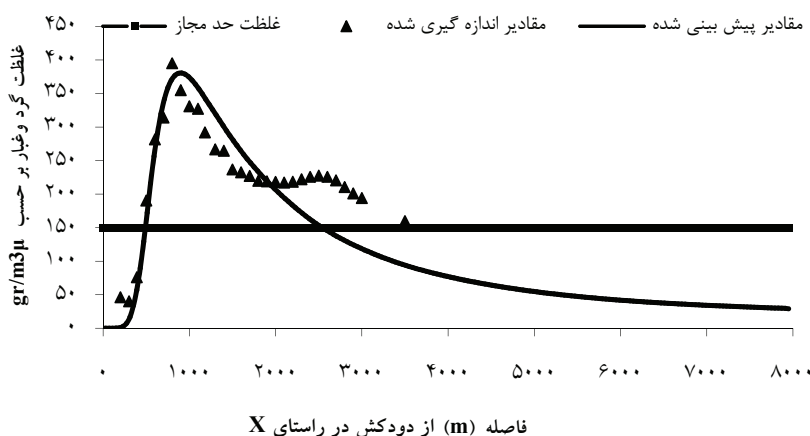
در این رابطه u_{ref} سرعت در ارتفاع مبنا (y_{ref}) است. توان a در این رابطه برابر 0.29 و ارتفاع مبنا 100 متر در نظر گرفته شد. برای جریان خروجی از شرط مرزی فشار اتمسفریک استفاده شد. برای جریان هوا و گرد و غبار خروجی از دودکش از شرط مرزی ورودی جرم استفاده گردید. برای سطح زمین از شرط مرزی دیوار بدون لغزش و برای مرز بالا و مرزهای جانبی دامنه از شرط مرزی دیواره با تنش برشی صفر استفاده گردید. فشار عملیاتی، اتمسفریک و شتاب جاذبه زمین برابر $9/8$ متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته شد.

کافی کوچک است) به مدت 48 ساعت انجام شد. برای هر مرحله زمانی، انجام محاسبات تا رسیدن مقادیر خطا به کم تر از 1×10^{-4} ادامه یافت.

بحث و نتیجه گیری

تغییرات غلظت گرد و غبار در ارتفاع 2 متر از زمین در راستای X (جهت حرکت باد) با مقادیر اندازه گیری شده توسط باروتیان و همکارانش (۱) در شکل ۳ مورد مقایسه قرار گرفته است. هم چنان که مشاهده می شود، روند تغییرات غلظت گرد و غبار به نحو مطلوبی توسط محاسبات CFD پیش بینی گردیده است.

با دقت در این شکل می توان دریافت که غلظت گرد و غبار تا فاصله حدود 200 متر از دودکش بسیار کم می باشد، اما پس از این فاصله به سرعت زیاد شده و در فاصله حدود 800 متری دودکش به بیش ترین حد خود می رسد. بر اساس استاندارد EPA، مقدار متوسط غلظت گرد و غبار هوا در یک شبانه روز نباید از 150 میکروگرم بر متر مکعب تجاوز کند (۱۷). مقادیر اندازه گیری شده نشان می دهد



شکل ۳. مقادیر اندازه گیری شده غلظت گرد و غبار توسط باروتیان و همکارانش و مقادیر پیش بینی شده

که تا فاصله 3500 متری دودکش غلظت گرد و غبار بیش تر از حد مجاز است. محاسبات CFD، گسترش نواحی با غلظت بیش تر از حد مجاز گرد و غبار را تا 2600 متر بعد از دودکش پیش بینی می کند. برای نمایش تصویری چگونگی پخش گرد و غبار از دودکش، نواحی که غلظت گرد و غبار در آنها بیش تر از حد مجاز است بر روی صفحه

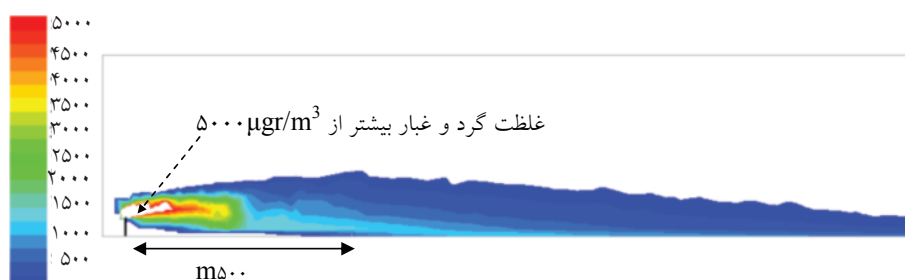
برای کوپلینگ فشار- سرعت از الگوریتم سیمپل، برای مجزاسازی معادله فشار از روش استاندارد، برای اندازه حرکت از تفاضل مرکزی و برای جزء حجمی از الگوریتم روبه جلوی مرتبه اول استفاده شد. معادلات به صورت ناپایا با مراحل زمانی یک ثانیه (که نسبت به مقیاس زمانی تغییرات به اندازه

زنگوله ای) می باشد. با دور شدن از منبع انتشار تا حدود ۱۰۰۰ متر، علاوه بر این که پهنای شکل بیش تر می شود، ارتفاع شکل نیز افزایش می یابد. علت را می توان چنین توجیه نمود که در این فاصله گرد و غبار خروجی کم کم به سطح زمین نزدیک می شوند و بنابراین غلظت در سطح زمین افزایش می یابد. بعد از فاصله ۱۰۰۰ متر، پخش گرد و غبار به اطراف سبب کاهش غلظت آن می گردد. هم چنین پخش گرد و غبار توسط باد سبب می گردد که پهنای شکل ها در فواصل دور تر از منبع وسیع تر شود.

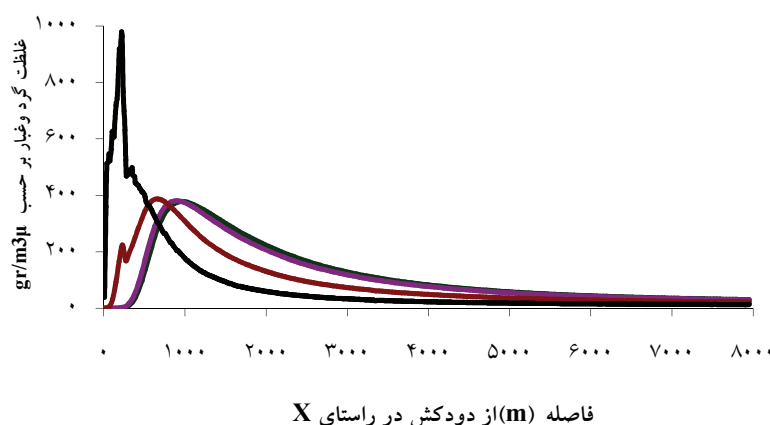
نتیجه گیری

در این تحقیق مدل سازی CFD به عنوان گزینه ای جدید برای پیش بینی چگونگی پخش گرد و غبار از دودکش یک کارخانه

عمودی گذرنده از دودکش ($Z=0$) در شکل ۴ نشان داده شده است. شکل ۴ نشان می دهد که گرد و غبار در اثر وزش باد در جهت X حرکت می کند و جاذبه زمین سبب ته نشین شدن ذرات و افزایش تدریجی غلظت در نزدیک سطح زمین می گردد. تغییرات غلظت گرد و غبار در راستای X در ارتفاع های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. با مقایسه غلظت گرد و غبار در ارتفاع های مختلف می توان گفت که در ارتفاع های بالاتر مقدار ماکزیمم غلظت در فاصله کم تری از دودکش رخ می دهد و هم چنین مقدار غلظت ماکزیمم در ارتفاع های بالاتر، بیش تر از مقدار آن در ارتفاع های پایین است و نیز به علت دانسیته زیاد گرد و غبار نسبت به هوا، با فاصله گرفتن از دودکش غلظت این مواد در ارتفاع های بالانسبت به ارتفاع های پایین تر با سرعت بیش تری کاهش می یابد.



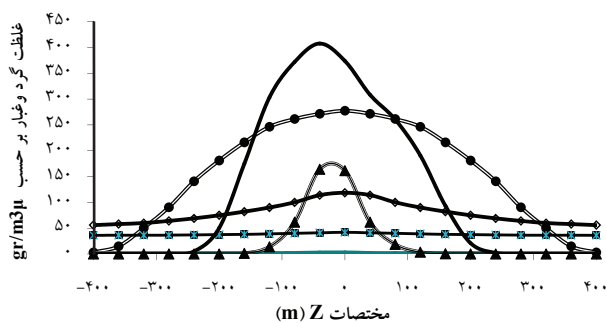
شکل ۴: کانتور غلظت گرد و غبار در مناطقی از صفحه $Z=0$ که غلظت بیش تر از حد مجاز (۱۵۰ میکروگرم بر متر مکعب) است.



شکل ۵: تغییرات غلظت گرد و غبار در راستای X در ارتفاع های مختلف

سیمان مطرح گردید. مقایسه نتایج حاصل از مدل سازی با داده های اندازه گیری شده قبلی نشان داد که این روش می تواند پخش گرد و غبار را با دقت مطلوبی پیش بینی نماید. با این حال به

چگونگی پخش گرد و غبار در راستای Z (عمود بر راستای وزش باد) در فواصل مختلف از دودکش در شکل ۶ نشان داده شده است. مشاهده می شود که پخش گرد و غبار به صورت توزیع نرمال



شکل ۶: تغییرات غلظت گردو غبار در راستای Z در فواصل طولی مختلف از دودکش

منابع

- Baroutian S, Mohebbi A, Soltani Goharrizi A. Measuring and modeling particulate dispersion: A case study of Kerman Cement Plant. *Journal of Hazardous Materials*. 2006;136:468-74.
- Arditsoglou A, Samara C. Levels of total suspended particulate matter and major trace elements in Kosovo: a source identification and apportionment study. *Chemosphere*. 2005;59:669-78.
- Abdul-Wahab SA. Impact of fugitive dust emissions from cement plants on nearby communities. *Ecological Modelling*. 2006;195:338-48.
- Ehrlich C, Noll G, Kalkoff WD, Baumbach G, Dreiseidler A. PM10, PM2.5 and PM1.0—Emissions from industrial plants—Results from measurement programmes in Germany. *Atmospheric Environment*. 2007;41:6236-54.
- Bignal KL, Langridge S, Zhou JL. Release of polycyclic aromatic hydrocarbons, carbon monoxide and particulate matter from biomass combustion in a wood-fired boiler under varying boiler conditions. *Atmospheric Environment*. 2008;42:8863-71.
- Lee SW, Herage T, He I, Young B. Particulate characteristics data for the management of PM2.5 emissions from stationary combustion sources. *Powder Technology*. 2008;180:145-50.
- Song Y, Zhang M, Cai X. PM10 modeling of Beijing in the winter. *Atmospheric Environment*. 2006;40:4126-36.
- Ghenai C, Lin CX. Dispersion modeling of PM10 released during decontamination activities. *Journal of Hazardous Materials*. 2006;132:58-67.
- Skodras G, Kaldis SP, Sofialidis D, Faltsi O, Grammelis P, Sakellaropoulos GP. Particulate removal via electrostatic precipitators—CFD simulation, *Fuel Processing Technology*. 2006;87:623-31.
- Zhang Z, Chen X, Mazumdar S, Zhang T, Chen Q. Experimental and numerical investigation of airflow and contaminant transport in an airliner cabin mockup. *Building and Environment*. 2009;44:85-94.
- Narasimha M, Brennan MS, Holtham PN, Purchase A, Napier-Munn TJ. Large eddy simulation of a dense medium cyclone - prediction of medium segregation and coal partitioning. *Proceedings of the fifth International Conference on CFD in the Process Industries*; 2006 13-15 Dec; CSIRO, Melbourne, Australia.
- Zhonghua W, Mujumdar AS. CFD modeling of the gas-particle flow behavior in spouted beds. *Powder Technology*. 2008;183:260-72.
- Mohebbi A, Baroutian S. Numerical modeling of particulate matter dispersion from Kerman Cement Plant, Iran. *Environ Monit Assess*. 2007;130:73-82.
- Brennan M. CFD Simulations of Hydrocyclones with an air core: comparison between large eddy simulations and a second moment closure. *Trans IChemE, Part A, Chemical Engineering Research and Design*. 2006;84:495-505.
- Fluent Inc. *Fluent 6.2 User's Guide*. Fluent Inc; 2005 [cited 20 Aug 2009]. Available from: http://www.fluentchina.com/document/1117608283_showfile.pdf.
- Coirier WJ, Fricker DM, Furmanczyk M, Kim S. A Computational fluid dynamics approach for urban area transport and dispersion modeling. *Environmental Fluid Mechanics*. 2005;5:443-79.
- USEPA. National ambient air quality standards (NAAQS). USEPA; 2008 [cited 12 Dec 2008]. Available from: <http://epa.gov/air/criteria.html>.

CFD Modeling of Particulate Matter Dispersion from Kerman Cement Plant

*Alizadehdakhl A.¹, Ghavidel A.², Panahandeh M.²

¹ Department of Chemistry, Islamic Azad University, Rasht Branch Guilan, Iran

² Member of Scientific Board of Environmental Research Institute of Jihad Daneshgahi, Rasht, Guilan, Iran

Received 3 November 2009; Accepted 21 November 2010

ABSTRACT

Backgrounds and Objectives: The dispersion of particulate matter has been known as the most serious environmental pollution of cement plants. In the present work, dispersion of the particulate matter from stack of Kerman Cement Plant was investigated using Computational Fluid Dynamics (CFD) modeling.

Materials and Methods: In order to study the dispersion of particulate matter from the stack, a calculation domain with dimensions of 8000m × 800m × 400m was considered. The domain was divided to 936781 tetrahedral control volumes. The mixture two-phase model was employed to model the interaction of the particulate matter (dispersed phase) and air (continuous phase). The Large Eddy Simulation (LES) method was used for turbulence modeling.

Results: The concentration of particulate matter in the whole calculation domain was computed. The predicted concentrations were compared to the measured values from the literature and a good agreement was observed. The predicted concentration profiles at different cross sections were analyzed.

Conclusion: The results of the present work showed that CFD is a useful tool for understanding the dispersion of particulate matter in air. Although the obtained results were promising, more investigations on the properties of the dispersed phase, turbulent parameters and the boundary layer effect is needed to obtain more accurate results.

Key words: Modeling, CFD, Cement, Particulate matter

*Corresponding Author: alizadeh@iaurasht.ac.ir

Tel: +98 131 4224307 Fax: +98 131 32 42006