

مدل سازی توزیع و پراکندگی آلاینده های دی اکسید کربن و گوگرد

بهادر اکبری^۱، امیر صرافی^۲ و علی دشتی^۳

^۱دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی شیمی، Bahador1364@gmail.com

^۲دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی شیمی، Sarafi@mail.uk.ac.ir

^۳دانشگاه شهید باهنر کرمان، دانشکده فنی و مهندسی، بخش مهندسی شیمی، Dashti@mail.uk.ac.ir

چکیده - فرآیند احتراق در مشعلهای پالایشگاههای نفت و گاز، منجر به نشر و پراکندگی آلاینده های مختلفی همچون دی اکسید کربن، دی اکسید گوگرد و سایر ترکیبات آلی فرار می گردد. نشر و پراکندگی این آلاینده ها منجر به اثرات مخرب زیست محیطی و زیانبار بروی انسانها، گیاهان و سایر موجودات زنده می گردد. این آلاینده ها از یک سو منجر به گرم شدن اتمسفر اطراف زمین و از سوی دیگر منجر به آلاینده های محیط و تشعشعات مضر می گردند. بنابراین هدف اصلی در این مطالعه، بررسی میزان توزیع و پراکندگی غلظت این آلاینده ها می باشد. با استفاده از مدل پلوم گوس و به کمک نرم افزار متلب میزان پراکندگی این آلاینده بررسی شده است. با این وجود دامنه تغییرات و پراکندگی غلظت آلاینده ها در حالات مختلف جریان گاز ارسالی به مشعل بررسی گردیده است. نتایج حاصل از مدل گوس، با داده های اندازه گیری مقایسه شده است. نتایج حاصل از این مدل سازی حاکی از تجمع آلاینده ها در فواصل مختلف و نزدیک به مشعل می باشد. بنابراین استفاده از یک طرح و شیوه مناسب در جهت بازیافت و کنترل پراکندگی این آلاینده ها، از نظر اقتصادی دارای اهمیت بسزایی می باشد.

کلید واژه- آلودگی، انتشار، پراکندگی، محیط زیست، مشعل.

۱- مقدمه

در پتروشیمی و پالایشگاههای نفت و گاز، از تجهیزات جدا کننده استفاده می شود. تمامی این دستگاهها به گونه ای طراحی شده اند که برای محدوده خاصی از شدت جریان، دما و فشار عمل می کنند. بنابراین انحراف از این شرایط عملیاتی معین منجر به تولید حجم زیادی از گازهای زائد می گردد. اگر مقدار زیادی گازهای تولید شده و به نحوی خارج نگردد، امکان رخ دادن انفجار در واحد فرایندی وجود دارد. به همین جهت بایستی به شکلی این گازها دفع گردند که این امر توسط سامانه مشعل صورت می گیرد. بنابراین مشعل یکی از تجهیزات ایمنی ضروری جهت کنترل شرایط ناایمن پالایشگاه در اثر افزایش فشار ناشی از شرایط ناخواسته و اضطراری می باشد [۱].

با توجه به تحقیقات صورت گرفته مشعلها یکی از منابع اصلی در پراکندگی و نشر آلاینده های زیست محیطی می باشند [۲]. بنابراین مطالعه اولیه بروی پراکندگی و پراکنش آلاینده توسط بسانکوئیت و پرسن در سال ۱۹۳۶ صورت گرفت [۳]. پس از آن در سال ۱۹۴۷ آقای گراهام ساتان، مطالعه پراکندگی آلاینده ها را با معادله گوس مورد بررسی قرار داده است که در آن فرضیات اساسی معادله توزیع گوس برای پراکندگی پلوم در جهت عمود و متقاطع با جریان باد بعلاوه اثرات انعکاس زمین بر روی پلوم، بررسی کرده است [۴]. جهت تکمیل

اثرات پراکنش آلاینده از طریق معادله ریاضی گوس، گری بریج در سال ۱۹۶۵ اولین مشاهدات و بررسی ها در خصوص ستون دود ناشی از دودکشهای صنعتی را منتشر کرد [۵]. سپس در سال ۱۹۶۹ بریج نتایج و مشاهدات پلوم را در قالب معادلات خاصی ارائه کرد که شکل هر معادله براساس شرایط پایداری اتمسفر فرق می کند [۶].

جهت بررسی توزیع غلظت آلاینده ها نیاز به بررسی داده ها و اطلاعات در خصوص گاز ارسالی به مشعل می باشد. بنابراین در بررسی میزان پراکندگی آلاینده ها، دو پارامتر شدت جریان گاز ارسالی به مشعل و تغییرات ترکیب مولکولی نقش بسزایی دارند. که جهت اندازه گیری آنها به ترتیب از دبی سنجهای مختلف و دستگاه کروماتوگرافی گاز استفاده شده است. هرگونه تلاطم و تغییرات در شدت جریان گاز، منجر به ایجاد مشکلات خاصی برای دبی سنج کاربردی می گردد [۷]. همچنین جهت به حداقل رساندن خطای دستگاه کروماتوگرافی، از داده های متعددی در طول یک ماه استفاده شده است. بنابراین پس از معلوم شدن در صد اجزاء و نرخ جریان گاز، با استفاده از نرم افزار متلب و با بکارگیری مدل پلوم گوس، پراکندگی آلاینده ها را در جهت جریان باد و متقاطع با جریان باد، در سه حالت مختلف شدت جریان گاز (حداقل، نرمال و طراحی) بررسی گردیده است. در این مطالعه نتایج توزیع و پراکندگی آلاینده ها به کمک مدل با داده های تجربی مقایسه شده است، که بیانگر اهمیت مدل در بررسی میزان آلاینده های مشعل، کنترل و حذف این آلاینده ها، با روشهای خاص می باشد.

۲- بررسی میزان پراکندگی و توزیع آلاینده ها به کمک مدل گوس

به صورت زیر آمده است.

$$K_y = 0.5 \sigma_y^2 \frac{u}{x} \quad (2)$$

$$K_z = 0.5 \sigma_z^2 \frac{u}{x} \quad (3)$$

که در این فرمولها σ_y و σ_z به ترتیب ضرائب پراکندگی افقی و عمودی می باشند که بر حسب متر می باشند و بصورت تجربی تابعی از x و کلاس پایداری اتمسفر، می باشند. u سرعت متوسط باد در ارتفاع دودکش می باشد و چنانچه معلوم نباشد مطابق با رابطه (۴) پیدا می شود:

$$u = u_0 \left(\frac{H_s}{Z_0} \right)^n \quad (4)$$

که در آن u سرعت باد سطحی در ده متری سطح زمین، H_s ارتفاع فیزیکی مشعل، Z_0 ارتفاع از سطح زمین و معادل ده متر، n عدد توان (تابعی از کلاس پایداری)، می باشد.

با استفاده از موازنه جرم و معادلات (۲) و (۳) و (۴)، معادله توزیع غلظت آلاینده (معادله گوس) مطابق با رابطه (۵) پیدا می شود.

$$C = \frac{Q}{(u \sigma_y \sigma_z 2\pi)} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \times \left[\exp\left(-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (5)$$

که در آن Q شدت نشر کلی آلاینده (g/s)، و C غلظت پراکندگی (g/m^3) آلاینده در نقاط مختلف از دودکش می باشد. ترمهای داخل کروشه به ترتیب بیانگر توابع گوس پراکندگی عمودی بدون انعکاس از زمین و با انعکاس از سطح زمین می باشد.

با توجه به معادلات بیان شده و اعمال کلیه شرایط لازم و معلوم بودن پارامترهای خاص، می توان پراکندگی غلظت آلاینده ها (دی اکسید کربن و گوگرد) را با تغییرات ارتفاع پلوم (Δh) پیدا کرد. سپس جهت محاسبه میزان صعود پلوم از معادلات بریج (Briggs, 1969) مطابق با اعمال شرایط خاص ($x > x_f$, $x < x_f$) استفاده می گردد [۶، ۱۱].

برای حالتی که $x > x_f$ و $x < x_f$ می باشد صعود پلوم به ترتیب مطابق با معادلات (۶) و (۷) پیدا می شود.

$$\Delta h = \frac{1.6F^{1/3} x_f^{2/3}}{u} \quad (6)$$

$$\Delta h = \frac{1.6F^{1/3} x_f^{2/3}}{u} \left[0.4 + 0.64 \frac{x}{x_f} + 2.2 \left(\frac{x}{x_f} \right)^2 \right] \times \left[1 + 0.8 \frac{x}{x_f} \right]^{-2} \quad (7)$$

در این معادلات F یک فاکتور بویانسی (Bouancy factor) می باشد و تابعی از درجه حرارت گاز خروجی از مشعل و محیط اطراف، سرعت خروجی از مشعل، قطر مشعل و شتاب ثقل می باشد. ارتفاع

بسیاری از مدل های انتشار از مدل پلوم گوس که یک مدل موازنه جرمی است، پیروی می کنند [۱۰، ۹، ۸]. در این مدل می توان یک منبع نقطه ای مانند مشعل یک پالایشگاه و پتروشیمی و سایر کارخانجات را مورد بررسی قرار داده و غلظت ناشی از آنها را در پایین دست جریان و در جهت جریان باد و یا متقاطع با جریان باد و عمود بر آن، محاسبه نمود. در این مدل فرض شده که باد در جهت x می وزد. بنابراین پلوم حاوی مواد آلاینده از دودکش صعود کرده و سپس در جهت x حرکت کرده و در ضمن حرکت در جهات y و z ، پراکنده می شود. جهت کاربرد این مدل نیاز به یک سری دیدگاهها و فرضیات قابل قبولی (دیدگاه لاگرانژی و اولری) می باشد. تا با استناد به آنها به معادله مورد نظر دست یافت. با این وجود بایستی اطلاعات دقیقی از شرایط جغرافیایی منطقه و خصوصیات فیزیکی منبع نقطه ای انتشار آلاینده، داشته باشیم تا بتوانیم پارامترهای مورد لزوم جهت حل مدل و معادله گوس را پیدا کنیم. پارامترهای مؤثر در این خصوص عبارتند از: سرعت باد، جهت وزش باد، کلاس پایداری (تابعی از وضعیت و تلاطم اتمسفر، شدت تابش خورشید، ابری و صاف بودن آسمان)، درجه حرارت محیط، ارتفاع مشعل، سرعت جریان خروجی از مشعل، دمای خروجی از مشعل، قطر خروجی مشعل و شناخت نسبی از منبع آلاینده. بنابراین پس از پیدا شدن متغیرهای ورودی، جهت حل معادله گوس و بررسی توزیع نسبی و پراکندگی آلاینده ها، از نرم افزار متلب استفاده شده است.

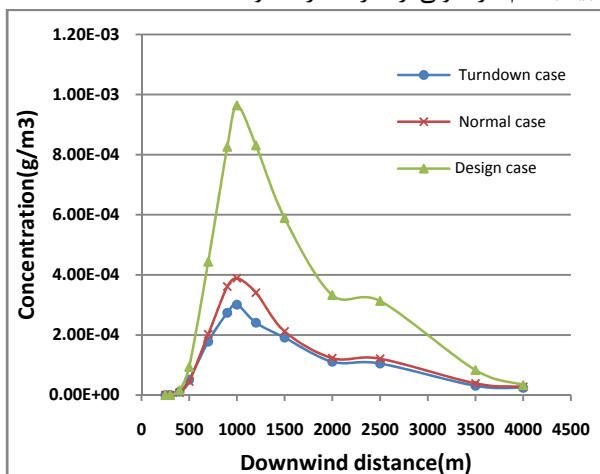
به منظور یافتن نحوه حرکت و پراکندگی آلاینده توسط جریان باد و انتقال و نفوذ تلاطمی (گردابه ای)، از موازنه جرم در اطراف یک مکعب کوچک در فضای نزدیک به مرکز پلوم استفاده می شود. که بصورت زیر آورده شده است..

میزان تجمع = (تخریب) - (میزان تولید) + (کلیه جریانهای خروجی) - (کلیه جریانهای ورودی)

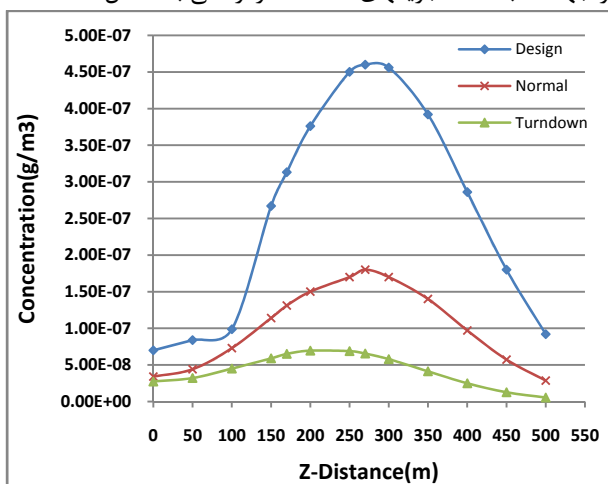
$$\frac{\partial c}{\partial t} = -u \frac{\partial c}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial c}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial c}{\partial z} \right) + loss \quad (1)$$

که در آن c غلظت آلاینده، K_y و K_z ضریب نفوذ تلاطم، ∂ تغییرات جزئی پارامترها و t زمان می باشد. پس با اعمال فرضیات ساده ای می توان معادله دیفرانسیلی جزئی فوق را حل کرده و با جایگزینی پارامترهای مناسب به معادله توزیع غلظت (معادله گوس) دست یافت. فرضیات ساده کننده حل معادله دیفرانسیلی (۱) عبارتند از: جریان پایدار ($\partial c / \partial t = 0$)، سرعت باد با ارتفاع ثابت، ضرائب نفوذ تلاطم (K_y و K_z) فقط تابعی از x ، مبدأ مختصات در پایه دودکش، غلظت آلاینده قبل از دودکش معادل با صفر، می باشد. در واقع جهت بررسی توزیع پراکندگی غلظت آلاینده، انعکاس از سطح زمین هم در نظر گرفته شده است. براین اساس روابط لازم جهت ضرائب نفوذ تلاطم

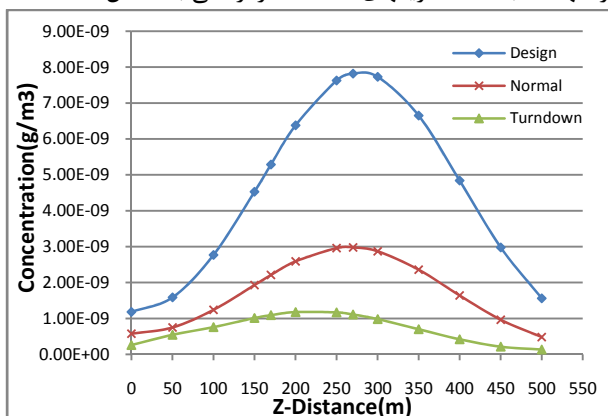
برای سه شدت جریان مختلف گاز ارسالی به مشعل، تقریباً روندی شبیه به هم دارند ولی از نظر مقدار متفاوت هستند.



شکل ۲: تغییرات غلظت دی اکسید گوگرد محاسبه شده به کمک مدل در جهت X با شدت جریانهای مختلف گاز ارسالی به مشعل



شکل ۳: تغییرات غلظت دی اکسید کربن محاسبه شده به کمک مدل در جهت Z با شدت جریانهای مختلف گاز ارسالی به مشعل



شکل ۴: تغییرات غلظت دی اکسید گوگرد محاسبه شده به کمک مدل در جهت Z با شدت جریانهای مختلف گاز ارسالی به مشعل
در شکل ۲ تغییرات غلظت دی اکسید گوگرد در جهت جریان باد بررسی شده است. غلظت آلاینده در فواصل نزدیک به مشعل کم می

مؤثر دودکش در این محاسبات بصورت H نشان داده می شود و مطابق با رابطه (۸) محاسبه می گردد [6].

$$H = H_s + \Delta h \quad (8)$$

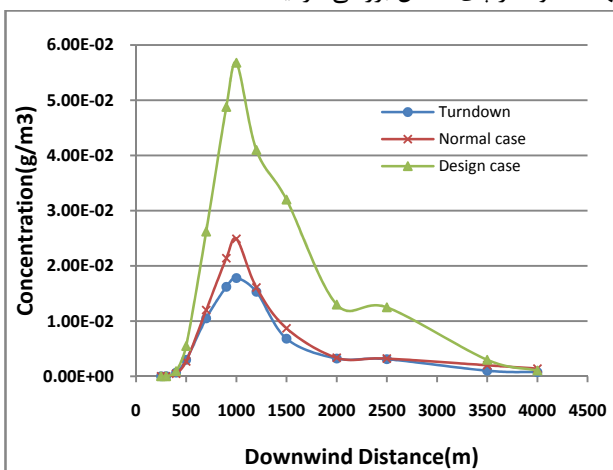
که در رابطه فوق H_s ارتفاع فیزیکی مشعل می باشد و برحسب متر می باشد. بنابراین پس از گردآوری کلیه اطلاعات و داده های لازم با بکاربردن معادله گوس و با استفاده از نرم افزار متلب تغییرات پراکندگی آلاینده های دی اکسید کربن و گوگرد در فواصل مختلف از پای مشعل (X) و با در نظر گرفتن فاصله نوک مشعل تا نقطه ماکزیمم صعود پلوم (X_f)، محاسبه شده است و تغییرات برای سه حالت شدت جریان گاز (حداقل، نرمال، طراحی) مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۳- بحث و نتایج

پس از ثبت داده های مورد نیاز از جریان گاز ارسالی به مشعل در شرایط مختلف عملیاتی و شدت جریانهای مختلف گاز (حداقل-نرمال-طراحی) از ۲۰۰ تا ۱۳۱۳ میلیون استاندارد فوت مکعب، میزان انتشار آلاینده های مختلف با استفاده از واکنشهای احتراق در بازدهی ۹۰ درصد محاسبه گردیده است. سپس با استفاده از مدل پلوم گوس، توزیع و پراکندگی غلظت این آلاینده ها، در جهت جریان باد و عمود بر جهت جریان باد تا نزدیکی ارتفاع اختلاط بررسی گردیده است.

۳-۱- بررسی میزان پراکندگی دی اکسید کربن و گوگرد

تغییرات و توزیع پراکندگی آلاینده ها در شکلهای ۱ تا ۶ در جهات X و Z از پای مشعل بررسی گردیده است.



شکل ۱: تغییرات غلظت دی اکسید کربن محاسبه شده به کمک مدل در جهت X با شدت جریانهای مختلف گاز ارسالی به مشعل
در شکل ۱ پراکندگی و توزیع غلظت دی اکسید کربن بررسی شده است. همانطور که مشخص است ابتدا در فواصل نزدیک به مشعل غلظت کم و سپس تا فاصله ۱۰۰۰ متری غلظت آلاینده به سرعت افزایش یافته و به مقدار ماکزیمم میرسد و در نهایت کاهش می یابد و با شیب ملایمی به سمت صفر میل می کند. البته این تغییرات غلظت

سپس به سرعت افزایش می یابد و در نهایت کاهش می یابد. مطابق با شکل ۶، نتایج مدل و داده های اندازه گیری توافق و همپوشانی قابل قبولی باهم دارند و دارای خطای نسبی ۳۷/۱۲ درصد می باشند.

۴- نتیجه گیری

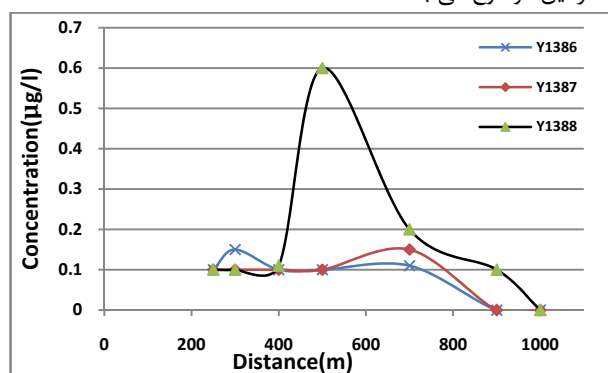
در پتروشیمی و پالایشگاهها گازهای زائد به منظور دفع، در مشعل سوزانده می شوند. در نتیجه سوزاندن این گازها، آلاینده های مختلفی همچون دی اکسید کربن و دی اکسید گوگرد و دیگر ترکیبات در محیط پراکنده می گردد. بررسیهای صورت گرفته به کمک مدل پلوم گوس، بیانگر پراکندگی و تغییرات غلظت این آلاینده ها در نقاط و جهات مختلف از مشعل می باشد. نتایج حاصل از مدل قابل مقایسه با داده های آزمایشگاهی می باشد که در واقع این موضوع به خوبی در اشکال مشاهده می گردد. مطابق با نتایج مدل در فواصل نزدیک به ۲۰۰ متری از مشعل میزان آلاینده کم می باشد که ناشی از صعود پلوم به دلیل مومنتم خروجی از نوک مشعل و نیروهای بویانسی به دلیل اختلاف دما با اتمسفر اطراف می باشد. بنا براین ماکزیمم توزیع غلظت بسته به شدت جریان گاز ارسالی و نحوه پراکندگی آلاینده از پای مشعل در جهات مختلف، تغییر می کند. داده های حاصل از مدل و نتایج آزمایشگاهی بیانگر این مطلب است، که میزان پراکندگی غلظت تابعی از طول فیزیکی مشعل، میزان حداکثر صعود پلوم، شدت جریان گاز و سرعت باد می باشد. که تأثیر این پارامترها در مدل پراکندگی توزیع گوس کاملاً مشهود و قابل بررسی می باشد.

مراجع

- [1] R.E.Leavy and L.Randel, M. Healy and D.Weaver, "Reducing emission from plant flares" Industry Professionals for Clean Air, Vol.61, No.2, pp. 1-13, 2006.
- [2] E.Telnes, "Flare gas recovery project at Uran plant, Oil and Natural Gas Corporation (ONGC) Limited in India", Validation report, 2000.
- [3] C.H.Bosanquet and J.L.Pearson, "The spread of smoke and gases from chimney", Trans.Farady Soc., 32:1249, 1936.
- [4] O.G.Suton, "The problem of diffusion in lower atmosphere", QJRMS, 73:257, 1947 and "The theoretical distribution of airborne pollution from factory chimneys", QJRMS, 73:426, 1947.
- [5] G.A.Briggs, "A plume rise model compared with observations", JAPCA, Vol.15, pp. 433-438, 1965.
- [6] G.A.Briggs, "Plume rise", USAEC Critical Review Series, 1969.
- [7] C.Gulaga and B.Light, "Flare measurement best practice to comply with national and provincial regulations", 2004.
- [8] M.R.Beychok, "Fundamental of stack gas dispersion", published by the author, C.A.Irvine, 4th edition, 1972.
- [9] N.Danvers, Air Pollution Control Engineering, McGraw-Hill, 1st edition, 2000.
- [10] A.S.Abdulkareem and J.O.Odigire, S.Abenegbe, "Predictive model for pollutant dispersion from gas flaring: A case study of oil producing area of Nigeria", Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental effects, 31:12, pp. 1004-1015, 2009.
- [11] G.A.Briggs, "Some recent analyses of plume rise observation", Proc.2nd International Clean Air Congress, Academic Press, New York, 1971.

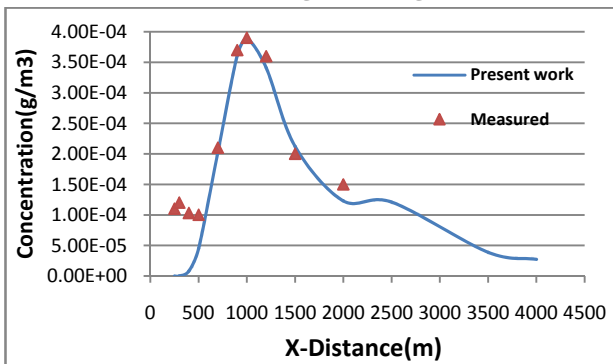
باشد و سپس به سرعت افزایش می یابد و به ماکزیمم مقدار خود در فاصله ۱۰۰۰ متری از پای مشعل می رسد و سپس تغییرات غلظت یک روند نزولی را طی می کند. که در واقع بدلیل پراکندگی و نفوذ تلاطمی انتقال آلاینده در جهت Y می باشد.

در شکلهای ۳و۴ به ترتیب تغییرات غلظت دی اکسید کربن و گوگرد در جهت Z از پای مشعل بررسی گردیده است. تغییرات غلظت تا ارتفاع ۲۷۰ متری از پای مشعل، یک روند صعودی دارد و سپس بدلیل اثر باد و اثرات لایه اختلاط، یک مسیر نزولی را طی می کند تا به یک مقدار حداقل برسد. با توجه به اینکه هیچ نفوذی در بالاتر از لایه اختلاط وجود ندارد لذا در ارتفاع بالاتر از ۵۰۰ نفوذ آلاینده ها و توزیع غلظت به سمت صفر میل می کند. نتیجه حاصل از شکل ۳و۴ بیانگر این موضوع می باشد.



شکل ۵: تغییرات غلظت دی اکسید گوگرد از پای مشعل با استفاده از داده های آزمایشگاهی در طی سه سال

شکل ۵ تغییرات غلظت دی اکسید گوگرد در جهت X از پای مشعل را نشان می دهد. همانطور که مشخص است غلظت آلاینده در نواحی نزدیک به مشعل کم و سپس تا فاصله ۵۰۰ تا ۷۰۰ متری مشعل به سرعت افزایش می یابد و نقطه حداکثر آن بسته به سالهای مختلف از پای مشعل متغیر می باشد. در نهایت منحنی تغییرات غلظت با یک شیب نزولی، کاهش می یابد تا به مقادیر صفر میل کند.



شکل ۶: مقایسه غلظت اندازه گیری شده دی اکسید گوگرد با نتایج مدل در حالت شدت جریان نرمال ارسال گاز به مشعل

شکل ۶ بیانگر مقایسه نتایج داده های آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مدل برای دی اکسید گوگرد در حالت ارسال شدت جریان نرمال گاز به مشعل می باشد. بنابراین غلظت در نواحی نزدیک به مشعل کم و