

مدل سازی و تعیین میزان انتشار آلاینده SO₂ از نیروگاه بخار بعثت به کمک روشهای عددی و مقایسه آن با مدل گوس

مهدی ابراهیمی^۱، علیرضا جهانگیریان^۲

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دفتر گروه دانشکده هوا فضا
Mebrahimi@cic.aut.ac.ir

چکیده

نیروگاه بعثت به عنوان یکی از منابع انتشار گازهای آلاینده در یکی از آلودترین نقاط جنوبی تهران واقع شده است. این نیروگاه در مجاورت چندین منبع خطی، نقطه ای و سطحی از جمله ترمینال جنوب، ایستگاه راه آهن، پالایشگاه گاز، سیلوی تهران و وسائل نقلیه موتوری قرار گرفته است و به این جهت تعیین سهم انتشار گازهای آلاینده این نیروگاه در فواصل مختلف از آن به کمک وسائل اندازه گیری، با دقت مناسب امکان پذیر نمی باشد. در این تحقیق به کمک دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به بررسی آیرودینامیکی جریان گاز SO₂ خارج شده از 3 دودکش این نیروگاه پرداخته شده است و نقاط حساس شامل اولین نقاط تماس گازها با سطح زمین، همچنین نقاط با حداکثر آلودگی در سطح زمین ناشی از کارکرد نیروگاه تعیین می شوند. شبیه سازی صورت گرفته در این تحقیق به کمک نرم افزار فلونت (FLUENT) انجام میگردد که جهت دستیابی به معیاری برای تعیین صحت نتایج در این روش، مدل تئوری گوس نیز مورد استفاده قرار گرفته است و در نهایت مقایسه ای بین این دو روش صورت می پذیرد. این تحقیق نشان می دهد که با توجه به شرایط جوی غالب منطقه، اولین نقطه تماس این گاز با غلظت 0/04 ppm در ارتفاع 1/8 متری از سطح زمین در فاصله حدود 400 متری و ماکزیمم آلودگی در فاصله حدود 1600 متری شرق و شمال شرقی نیروگاه از دودکشها اتفاق می افتد.

واژه های کلیدی: نیروگاه بعثت- انتشار- آلاینده- فلونت - مدل گوس

1- مقدمه

نیروگاه بعثت به دلیل تقاطع خطوط اصلی انتقال برق، محل تولید سوخت سنگین، لوله های خطوط انتقال گاز و همچنین وجود منابع آبهای زیر زمینی در سال 1343 در زمینی به مساحت 200 هزار متر مربع در جنوب تهران احداث گردید. این نیروگاه شامل 3 واحد بخار 82/5 مگاواتی می باشد که توسط دو نوع سوخت تغذیه می شوند. سوخت سنگین یا مازوت که در ابتدای تاسیس نیروگاه سوخت اصلی بوده و هم اکنون در زمستانها درصد بالایی از سوخت نیروگاه را تامین میکند و گاز طبیعی که از طریق خطوط لوله به نیروگاه وارد شده و به طور توأم با مازوت تامین کننده انرژی لازم برای تولید بخار می باشد. استفاده از سوخت مازوت در این نیروگاه و بطور کلی استفاده از سوختهای فسیلی سنگین همواره نیروگاهها را به عنوان یکی از مراکز عمده انتشار گاز های آلاینده و خصوصا SO₂ در هوا تبدیل کرده است. به این ترتیب با وجود قرار گیری

1- دانشجوی کارشناسی ارشد هوافضا

2- استادیار دانشکده هوافضا

نیروگاه بعثت در جنوب تهران، بررسی نحوه انتشار آلاینده ها از این نیروگاه و تعیین نقاط حساس جهت اجتناب از احداث اماکن مرتبط با امور کودکان و سالمندان از جمله دبستان، بیمارستان و سایر موارد مشابه از اهمیت بسزایی برخوردار است. اصولاً در مدل سازی و اندازه گیری غلظت آلاینده ها در این دسته از مسائل سه روش به کار برده می شود. در روش اول از ادوات اندازه گیری گازهای آلاینده استفاده می شود که با توجه به سادگی عملکرد، معمول ترین روش ممکن می باشد اما از آنجایی که امکان تفکیک سهم منابع مختلف در ایجاد آلودگی در این روش وجود ندارد تنها در مواردی که غلظت آلاینده ها، مستقل از نوع منبع مورد اهمیت باشد کاربرد دارد. در روش دوم از مدل های تئوری بهره گیری می شود که از پر کاربردترین آنها می توان به مدل گوس اشاره کرد. در این روش با توجه به شرایط جوی و گرفهای مرتبط که با توجه به پایداری هوا و سرعت باد، ضرائب مورد نیاز در معادله تئوری را ارائه می دهند، میزان غلظت آلاینده ها در هر نقطه از میدان استخراج میشود. از عمده نواقص این روش می توان به دقت نه چندان بالای آن و عدم قابلیت مدل سازی موانع تاثیر گذار از جمله ساختمانهای بلند و برجستگی های زمین اشاره نمود. روش دیگر استفاده از متدهای عددی در حل معادله جریان سیال است که با توجه به پیشرفت رایانه های امروزی، روشی تقریباً نو ظهور بوده و در صورت شبکه بندی و انتخاب مدلی مناسب جهت مدل سازی جریان سیال روشی با قابلیت و دقت بالا می باشد. طی سالهای اخیر غالب شبیه سازی صورت گرفته در این زمینه به کمک این روش انجام شده است. در این تحقیق به کمک نرم افزار فلوئنت به بررسی نحوی انتشار و تعیین غلظت آلاینده ها از نیروگاه بعثت پرداخته شده است و نهایتاً مقایسه ای بین نتایج بدست آمده و نتایج حاصل از مدل گوس ارائه می شود.

2- تئوری حل معادلات جریان سیال به کمک روش عددی

پیش بینی حرکت ذرات سیال در نرم افزار فلوئنت به کمک ایده دیدگاه لاگرانژین⁽¹⁾ (LPTM) و بر پایه تنش رینولدز⁽²⁾ (RSM) انجام می پذیرد. مدل توربولانس استفاده شده در این تحقیق $k-\epsilon$ می باشد و جهت دستیابی به دقت بالاتر، متد درجه دوم بالا دست جریان³ برای حل تمامی معادلات به کار گرفته شده است [1].

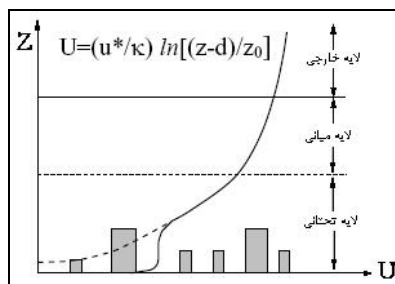
2-1- تعیین پروفیل سرعت

لایه مرزی سرعت بر روی سطح زمین شامل 3 لایه تحتانی، میانی و خارجی می گردد که در حدود 100 تا 200 متر عمق دارد. لایه درونی متاثر از نحوی چیدمان منطقه ای شهر و ارتفاع ساختمانها می باشد، در لایه میانی این اثرات تا حدی گسترده تر بوده و از حالت منطقه ای خارج می گردد، لایه خارجی نیز بیانگر مجموع اثرات چیدمان شهری بر روی پروفیل سرعت در محدوده مورد بررسی می باشد. این پروفیل با معادله (1) ارائه می گردد [2].

$$U = \frac{u^*}{k} \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \quad (1)$$

در این معادله u^* معرف سرعت متوسط، حاصل از میانگیری تنش برشی بر روی منطقه مورد بررسی می باشد. پارامترهای d ، z_0 ، k ، z و نیز به ترتیب به عنوان ارتفاع از سطح زمین، ضریب فون کارمن، زبری سطح و طول جابجایی معرفی میگردند. شکل شماره (1) این مناطق را به همراه پروفیل سرعت هوا بر روی یک منطقه مسکونی فرضی نشان می دهد.

1 Lagrangian Particle Tracing Model
2 Reynolds Stress Model
3 Second-order upwind



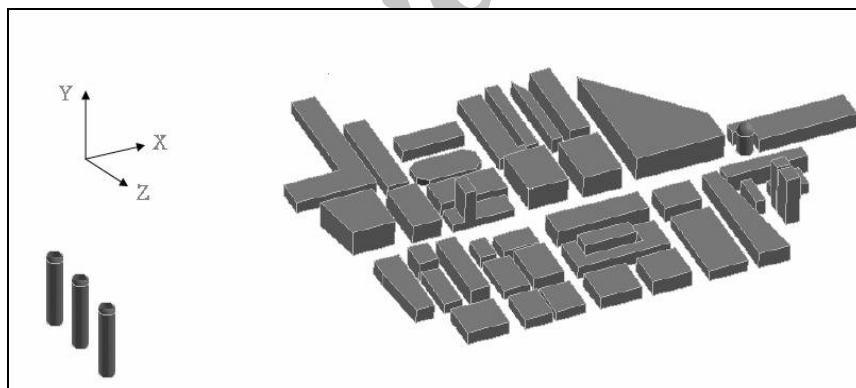
شکل 1- پروفیل سرعت هوا بر روی یک منطقه مسکونی

مقادیر زبری سطح و طول جابجایی به کمک ضریب دیگری به نام سطح تماس (λ_f) تعیین می گردد. این ضریب با توجه به سطح کل ساختمانها به سطحی که در معرض باد قرار دارد انتخاب می شود که مقدار آن برای شهرهای مدرن با ساختمانهای متراکم و بلند در حدود $0/3$ و برای مناطقی نظیر نیروگاه بعثت که با ساختمانهای غالباً کوتاه احاطه شده است در حدود $0/1$ می باشد [3]. با تعریف H_r بعنوان ارتفاع متوسط ساختمانهای منطقه این مقادیر به کمک معادله 2 استخراج میگردند [4].

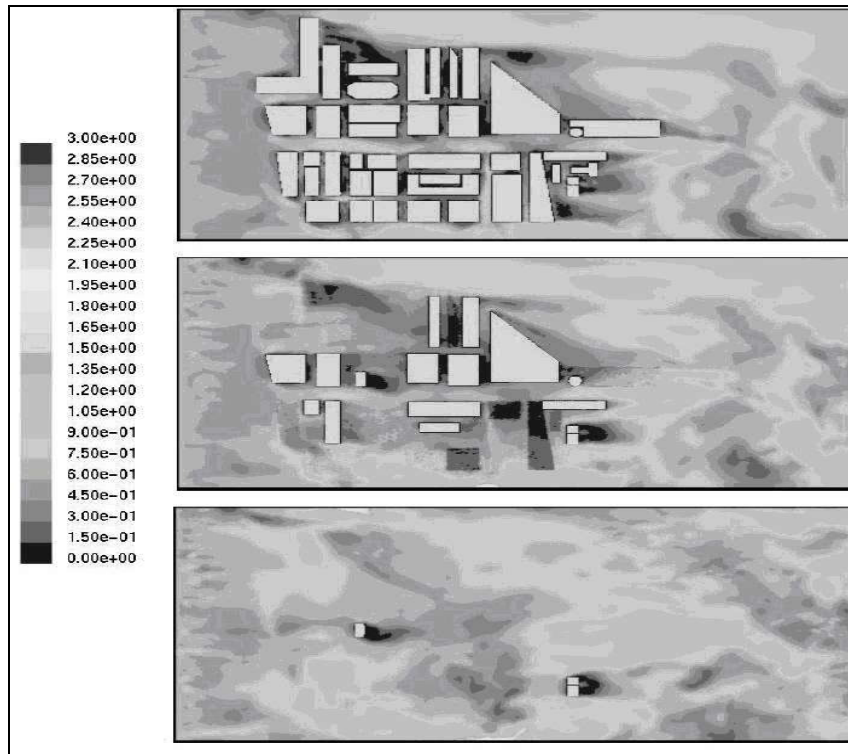
$$\frac{d}{H_r} = 0/7 + 0/35(\lambda_f - 0/15) \quad (2)$$

$$\frac{z_0}{H_r} = \lambda_f$$

شکل شماره (2) نمایی از منطقه اطراف نیروگاه را نشان می دهد. در شکل شماره (3) کانتور سرعت باد در صفحه افقی (صفحه X-Z) و در ارتفاعهای $Z=H/2, H, 2H$ به کمک فلونت ترسیم شده است. جهت باد غالب به سمت محور X محورهای مختصات می باشد.



شکل 2- نمایی از 3 دود کش نیروگاه بعثت و توپولوژی منطقه در نمای نزدیک



شکل 3- نمایش کانتور سرعت باد در صفحه افقی (صفحه X-Z) و در ارتفاعهای $Z=H/2$, H , $2H$

2-2- معادلات حاکم

شبیه سازی جریان سیال به کمک حل معادلات ناویر استوکس و معادلات تنش رینولدز که با یکدیگر بصورت کوپل شده قرار گرفته اند صورت می پذیرد [5]. این شبیه سازی با میانگین گیری زمانی از جریان سیال در محیط نرم افزار فلونت صورت گرفته و از پدیده های ناپایدار نظیر ریزش ورتکس (Vortex shedding) صرف نظر شده است.

2-3- شرایط مرزی

منطقه مورد بررسی در مکعب مستطیلی فرضی به ابعاد $10 \times 4 \times 4$ کیلومتر محصور شده است. جریان ورودی با پروفیل سرعت ارائه شده در معادله (1) به عنوان شرط مرزی صفحه بالادست جریان (Velocity inlet) انتخاب گردیده (صفحه موازی Y-Z) و صفحه پایین دست جریان نیز به عنوان صفحه خروجی فشار (Pressure outlet) و با توجه به ارتفاع تهران با فشار $0/86$ بار منظور شده است (صفحه موازی Y-Z) و صفحات شمالی، جنوبی (صفحه موازی X-Y) و صفحه افقی محدود کننده سطح بالایی میدان (صفحه موازی X-Z) با فرض سرعت متوسط و گرادیان عمودی تمام مولفه ها به عنوان صفحات سیمتریک انتخاب شده اند همچنین سطح زمین، ساختمانها و دودکشهای نیروگاه نیز به عنوان صفحات دیوار تعرف می گردند.

2-4- شبکه بندی میدان

محوطه اطراف نیروگاه به حجم 160 کیلومتر مکعب با شش وجهی هایی به تعداد تقریبی $2/8$ میلیون سلول شبکه بندی گردیده است. جهت دستیابی به دقت مطلوب طی یک زمان معقول، فضای اطراف دودکشها متراکم تر و بصورت بی سازمان شبکه بندی شده است که با فاصله گرفتن از دودکشها این شبکه بندی به سمت شبکه بندی با سازمان سوق داده می شود. شکل شماره (5) نحوی شبکه بندی سطوح دیوار اطراف دودکشها را بهمراه نحوی انتشار گاز SO_2 در صفحه میانی میدان نشان می دهد.

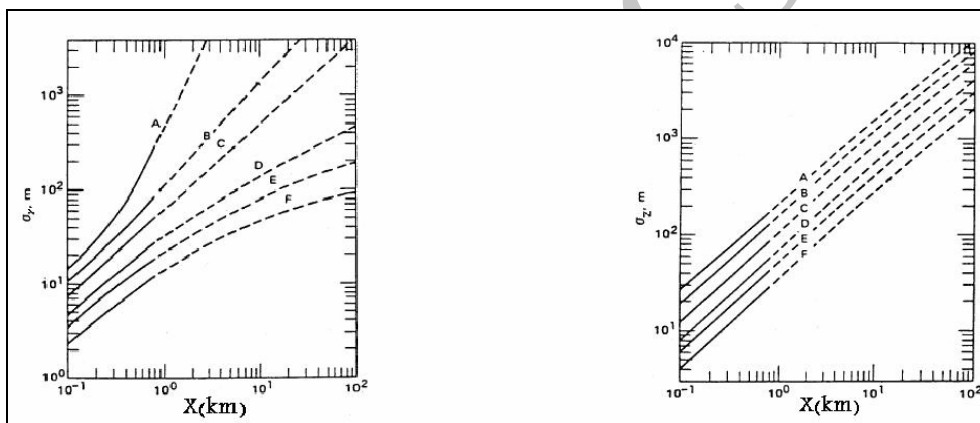
3- مدل گوس

برای به دست آوردن مدل گوس از دیدگاه لاگرانژین استفاده شده و بر پایه موازنه جرم استوار است. اگر در معادله موازنه جرم از فاکتور های تولید و زوال صرفنظر شود، در نهایت می توان به معادله ذیل دست یافت.

$$C(x, y, z, H) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_zU} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (3)$$

در این معادله Q دبی انتشار هر آلاینده، U سرعت باد، C غلظت هر آلاینده در هر نقطه با x، y، H و z معین، H ارتفاع موثر دودکش، σ_y ضریب انتشار افقی و σ_z ضریب انتشار عمودی هستند. در بدست آوردن معادله (3) فرض شده است که جریان گازی آلاینده ها یکنواخت بوده و با دبی Q از دهانه دودکش با مختصات (0,0,H) آغاز می گردد. بدلیل همسانی شکل تابع نمایی معادله مذکور با آنچه در تابع نمایی توزیع نرمال گوس آمده است، تابع توزیع نرمال گوس در بحث آمار بسیار مورد استفاده قرار می گیرد) معادله فوق به معادله اساسی گوس نامگذاری شده است.

در استفاده از این معادله مقادیر مناسب برای ضرایب انتشار مورد نیاز است که از گرافهای موسوم به ترنر (Turner) قابل استخراج می باشد. نمودار های شماره (1) و (2) این گرافها را که به صورت لگاریتمی تهیه شده اند نمایش می دهد. لازم به ذکر است که تمایز موجود در مقادیر ضریب انتشار افقی و عمودی بیانگر اختلاف موجود در انتشار در جهات عمودی و افقی می باشد و غالباً شرط $\sigma_z \phi \sigma_y$ برقرار است.



نمودار 1- ضریب انتشار افقی بر حسب فاصله در جهت X نمودار 2- ضریب انتشار عمودی بر حسب فاصله در جهت X

در نمودارهای شماره (1) و (2) خطوط A تا F مربوط به شرایط متفاوت پایداری اتمسفریک هستند که نحوی تعیین آن در جدول شماره (1) ارائه شده است [6].

جدول 1- کلاس های پایداری هوا در شرایط متفاوت اتمسفری

سرعت باد در ارتفاع 10 متری	روز			شب	
	شدید	متوسط	ضعیف	میزان تراکم ابر $\geq \frac{4}{8}$	میزان تراکم ابر $\leq \frac{3}{8}$
m/s					
<2	A	A-B	B	-	-
3-2	A-B	B	C	E	F
5-3	B	B-C	C	D	E
6-5	C	C-D	D	D	D
>6	C	D	D	D	D

4- مشخصات دودکشها و گازهای متصاعد شده

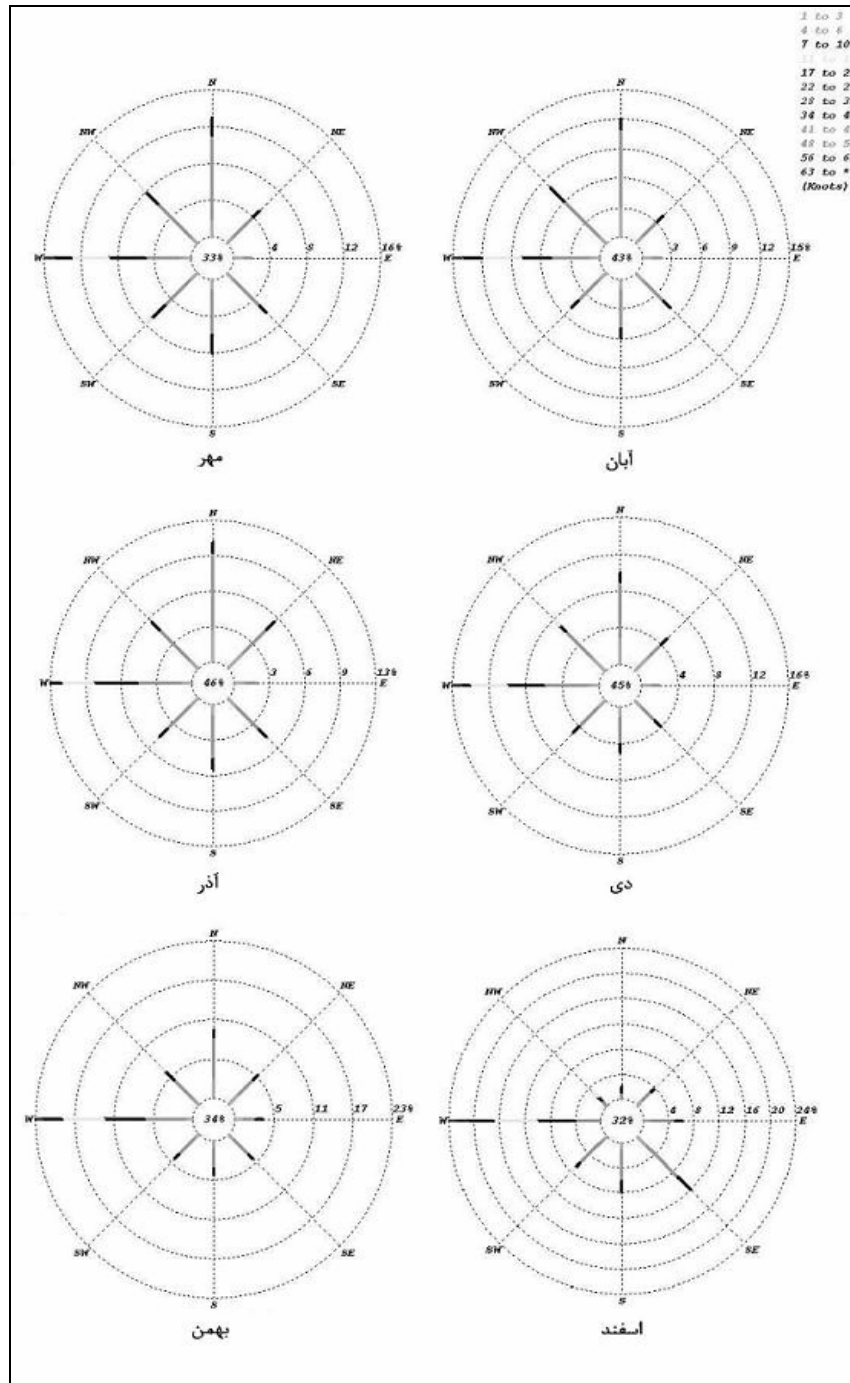
نیروگاه بخار بعثت شامل 3 دودکش به ارتفاع 28 متر است که به فاصله 30 متر از یکدیگر در یک راستا قرار دارند. قطر دهانه این دودکش ها 2/8 متر بوده و دمای میانگین گازهای خروجی از دودکش ها در حدود 135 درجه سانتیگراد می باشند. جدول شماره شماره (2) میزان میانگین انتشار آلاینده های مختلف را در طول یک روز زمستانی از این نیروگاه نشان می دهد. لازم به ذکر است که در طول زمستان با توجه به کمبود گاز تامین کننده سوخت نیروگاه و مصرف بیشتر سوخت مازوت، درصد انتشار گاز SO₂ تا چندین برابر فصل تابستان افزایش می یابد [7].

جدول 2- انتشار آلاینده ها از هر 3 دود کش نیروگاه (کیلوگرم در روز)

آلاینده	سوخت مازوت	سوخت گاز
SO ₂	9260	ناچیز
CO	0/975	ناچیز
ناکس	2450	237
ذرات	195	9/5
هیدروکربن ها	49	ناچیز

5- اطلاعات هواشناسی

جهت مدل سازی جریان گاز های آلاینده در این تحقیق، اطلاعات هواشناسی از جمله دمای منطقه در ایام مختلف سال، درجه پایداری هوای منطقه، درصد پوشش ابر، سرعت و جهت باد مورد نیاز است که از ایستگاه هواشناسی مهرآباد که در فاصله چند کیلومتری نیروگاه قرار دارد تهیه شده است. در این مطالعات، تجزیه و تحلیل داده های باد برای یک دوره زمانی شش ماهه که از اوایل پاییز آغاز شده و تا اواخر زمستان ادامه دارد و طی این مدت آلودگی نیروگاه به بیشترین مقدار خود میرسد صورت می پذیرد. شکل شماره (4) گلبادهای مربوط به این دوره را نمایش می دهد [8].



شکل 4- گلبادهای ثبت شده در ایستگاه هوا شناسی مهرآباد برای ماههای مهر تا اسفند

همانطور که از گلبادهای شکل شماره (4) مشخص است، جهت باد غالب این منطقه به غیر از ماههای مهر، آبان و آذر که در دو جهت شمال و غرب وزیدن می کند در سایر ماههای فصل پاییز و زمستان در جهت غرب نیروگاه می باشد و به این معنی است که مناطق شرقی نیروگاه در معرض آلودگی شدیدتری قرار دارند.

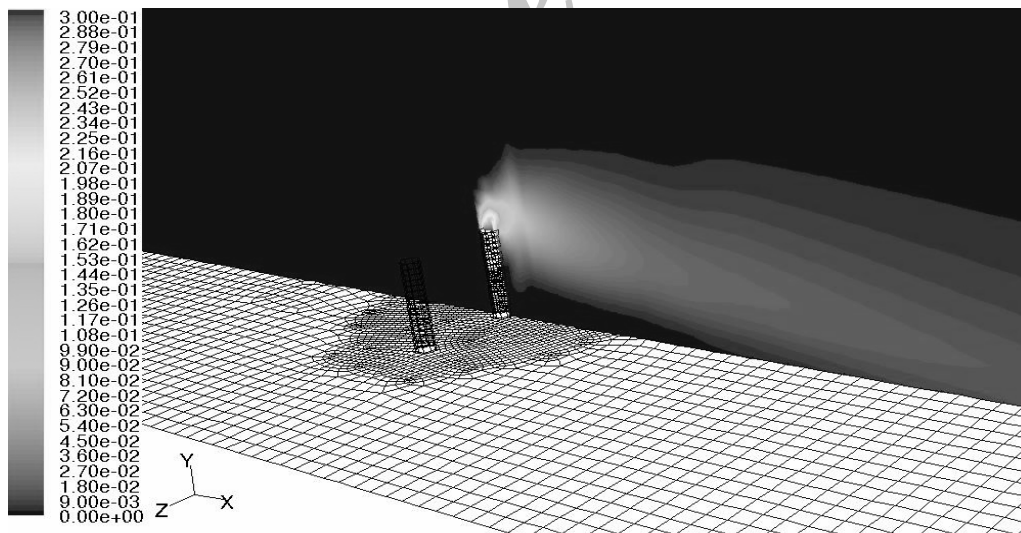
6- مدل سازی انتشار گاز SO₂

با توجه به افزایش مصرف سوخت مازوت در نیروگاه بعثت طی 6 ماه دوم سال، مدل سازی صورت گرفته در این تحقیق بر مبنای اطلاعات هواشناسی و مقادیر گاز SO₂ منتشره از دودکشهای نیروگاه طی مدت مذکور صورت می پذیرد. به منظور ارائه مقایسه ای بین مقدار SO₂ موجود در هوا اطراف نیروگاه و شدت آلاینده ای ایجاد شده توسط این گاز، استانداردهای شاخص کیفیت هوا (AQI¹) منتشر شده توسط سازمان حفاظت محیط زیست (EPA²) در جدول شماره (3) ارائه شده است [9].

جدول 3- استانداردهای شاخص کیفیت هوا برای گاز SO₂

نوع آلاینده	زمان متوسط ماند	استاندارد
SO ₂	1 سال	کمتر از 0/04 ppm (0/10 mg/m ³)
	24 ساعت	کمتر از 0/12 ppm (0/30 mg/m ³)
	1 ساعت	کمتر از 0/30 ppm (0/78 mg/m ³)

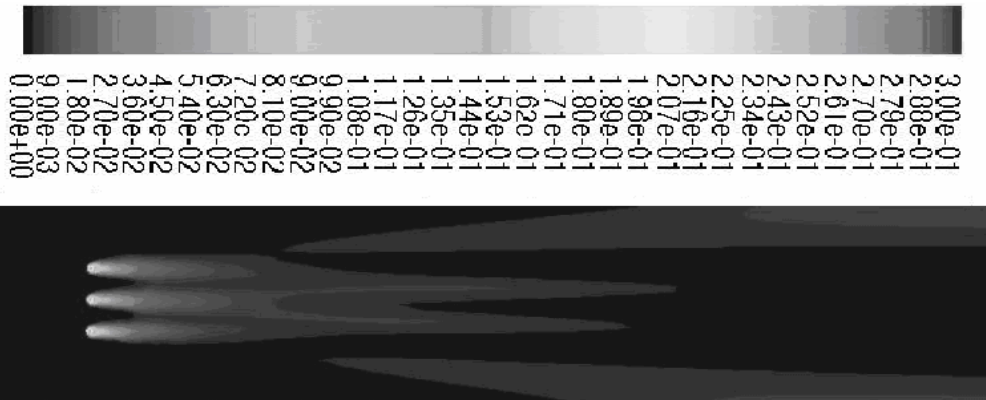
نتایج حاصل از شبیه سازی پراکنش گاز SO₂ توسط نرم افزار فلوئنت نشان می دهد که با توجه به شرایط جوی غالب منطقه و با فرض یک روز نیمه آفتابی در فصل زمستان و سرعت باد 5 m/s²، اولین نقطه تماس این گاز با غلظت 0/04 ppm در ارتفاع 1/8 متری (ارتفاع تقریبی تنفس انسان) به فاصله حدود 400 متری از دودکش میانی و در جهت شرقی آن صورت می پذیرد. این فاصله برای غلظت 0/30 ppm در فاصله حدود 610 متری اتفاق می افتد. شکل شماره (5) نحوی انتشار گاز SO₂ را از نمای جانبی (صفحه X-Y) و شکل شماره (6) از نمای بالا (صفحه X-Z) و در ارتفاع 30 متری از سطح زمین (2 متر بالاتر از دهانه دودکشها) نمایش می دهد.



شکل 5- نحوی شبکه بندی سطوح دیوار اطراف دودکشها در نمای نزدیک و پروفیل نسبت جرمی گاز SO₂ در صفحه میانی میدان

¹ Air Quality Index

² Environmental Protection Agency



شکل 6- پروفیل انتشار گاز SO₂ در صفحه ای موازی از سطح زمین (صفحه X-Z) و به ارتفاع 30 متر

جدول شماره (4) برای چند مقدار اختیاری سرعت باد در ارتفاع 10 متری، شامل $5, 8, 11$ و $15 \frac{m}{s^2}$ ، فاصله اولین نقطه تماس و مقدار حداکثر نسبت جرمی گاز SO₂ را برای دو ارتفاع دلخواه 2 و 5 متر از سطح زمین ارائه می دهد.

جدول 4- فاصله اولین تماس و حداکثر نسبت جرمی گاز SO₂ خارج شده از دودکشهای نیروگاه برای چند سرعت متفاوت

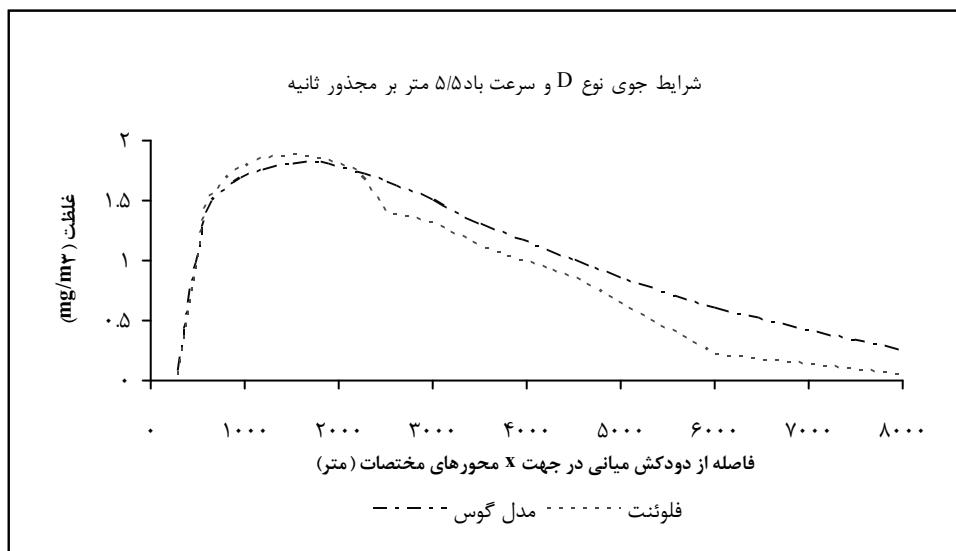
سرعت باد (m/s ²)	فاصله اولین تماس گاز SO ₂ با ارتفاع 2 متری از سطح زمین در غلظت 0/10mg/m ³	حداکثر غلظت گاز SO ₂ در ارتفاع 2 متری از سطح زمین (mg/m ³)	فاصله حداکثر غلظت گاز SO ₂ در ارتفاع 2 متری از دودکش میانی (m)	فاصله اولین تماس گاز SO ₂ با ارتفاع 5 متری از سطح زمین در غلظت 0/10mg/m ³	حداکثر غلظت گاز SO ₂ در ارتفاع 5 متری از سطح زمین (mg/m ³)	فاصله حداکثر غلظت گاز SO ₂ در ارتفاع 5 متری از دودکش میانی (m)
5	402/4	1/89	1584/7	375/0	1/90	1459/4
8	522/1	1/21	1655/2	464/9	1/27	1547/7
11	712/7	0/88	1804/5	637/2	0/93	1718/6
15	-	0/06	1819/4	-	0/07	1705/3

به منظور مشاهده نتایج در مدل گوس، میزان غلظت گاز SO₂ با توجه به شرایط جوی غالب مفروض (یک روز نیمه آفتابی در فصل زمستان و سرعت باد $5/5 \text{ m/s}^2$) و انتخاب ضرائب مناسب از جدول شماره (1) در چند نقطه از میدان محاسبه شده است. جدول شماره (5) غلظت این گاز را در ارتفاع 2 متری برای چند نقطه دلخواه در صفحه X-Y نشان می دهد.

جدول 4- غلظت گاز SO₂ برای شرایط جوی نوع D در سطح زمین و در فواصل مختلف از دودکش میانی (راستای محور X)

غلظت (mg/m ³)	σ_y	σ_z	فاصله (متر)
0/09	12	23	300
1/36	18	35	500
1/75	31	70	1000
1/82	36	82	1500
1/85	41	100	2000
1/69	45	120	2500
0/90	89	200	5000
0/03	103	540	10000

در نمودار شماره (3) مقایسه ای بین میزان غلظت پیش بینی شده حاصل از مدل گوس و نتایج فلوئنت با توجه به شرایط جوی نوع D و سرعت باد $5/5 \text{ m/s}^2$ صورت گرفته است. این مقایسه دقت قابل قبولی را بین نتایج حاصل از دو مدل تا فاصله حدود 2200 متری نشان می دهد که به تدریج و با فاصله گرفتن از دودکشها، تا حدی دچار واگرایی می شود. با توجه به فرضیات صورت گرفته در شبیه سازی به کمک فلوئنت از جمله پروفیل سرعت برای جریان باد، توجه به دیوارها، ساختمانها و موانع تاثیر گزار در مدل سازی جریان سیال و همچنین حل معادلات در تعداد قابل قبول گره و با تراکم بالا، میتوان اینگونه نتیجه گرفت که این مدل، دقت بالاتری را نسبت به مدل گوس از خود نشان داده و نتایج آن قابل اعتمادتر میباشد.



نمودار 3- غلظت پیش بینی شده حاصل از مدل گوس و نتایج فلوئنت در ارتفاع 2 متری از سطح زمین و در فواصل مختلف از دودکش میانی (راستای محور X)

7- نتیجه گیری

با توجه به نتایج مربوط به اندازه گیری غلظت گاز SO_2 توسط دو روش ارائه شده در این تحقیق شامل مدل سازی جریان سیال به کمک فلوئنت و استفاده از مدل گوس و مقایسه مقادیر اندازه گیری شده با شاخص کیفیت هوا می توان نتیجه گرفت که ساکنین مناطقی تا شعاع حدود 5 کیلومتری از نیروگاه در معرض آلودگی هوا قرار دارند. این آلودگی برای ساکنین شرقی نیروگاه به سبب باد غالب غربی تهران شدیدتر است و با توجه به سرعت میانگین باد، مناطقی که در کمربندی به شعاع 1 تا 3 کیلومتری از دودکشها واقع شده اند در معرض آلودگی شدیدتری تا غلظت $1/8 \text{ mg/m}^3$ قرار دارند. لازم به ذکر است که آلودگی ایجاد شده توسط گاز SO_2 بدلیل استفاده از سوخت مازوت در فصل زمستان بوده و در صورت تامین گاز مورد نیاز نیروگاه، آلودگی آن به شدت کاهش می یابد.

مراجع

- 1- FLUENT 6.1(2003). User Manual, Fluent.Inc.,
- 2- Stull R.B. (1997). An Introduction to Boundary Layer Meteorology. Dordrecht:Kluwer Atmos. Publ. 670 pp.
- 3- Britter R.E. & Hanna S.R. (2003). "Flow and dispersion in urban areas". Annu. Rev. Fluid Mech. 35:469-96.
- 4- Hamlyn, D. & Britter R.E. (2005). "A numerical study of the flow field and exchange processes within a canopy and urban-type roughness". Atmospheric Environment. In press.
- 5- Launder, B.E., Reece, G.J., Rodi, W. (1975). "Progress in the development of a Reynolds-Stress turbulence closure". J. Fluid Mech. Vol. 68, pp. 537-566.

6- Turner, D. B., "Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates", U.S. Environmental Protection Agency Report Ap-26, V.S. Government Printing Office, Washington DC, 1970.

7- شناسنامه نیروگاه بعثت.

8- www.tehranmet.ir

9- www.epa.gov

Archive of SID