

# بررسی دقت مدل‌های گوسی و مطالعه حساسیت آنها در پیش‌بینی آلودگی هوا

پژوهش نفت

سال هفدهم  
شماره ۱-۵۶  
صفحه ۶۴-۷۱

ترانه جعفری بهبهانی\* و کاظم کاشفی

پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده پالایش نفت

jafarit@ripi.ir

واژه‌های کلیدی: مدل گوس، آلودگی هوا، حساسیت، دقت مدل گوس

## مقدمه

مدل‌های پیش‌بینی آلودگی هوا از سال ۱۹۳۰ به تدریج مورد استفاده قرار گرفت و در طی ۲۰ تا ۳۰ سال گذشته، سختگیری‌های زیست محیطی و دسترسی به رایانه‌های شخصی باعث رشد قابل توجهی در استفاده از مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی آلودگی هوا شده است. برخی از استفاده کنندگان چنین مدل‌هایی از فرضیات ساده کننده مدل و در نتیجه محدودیت‌های آنها آگاه نبوده و به اشتباه، دقت محاسبات کامپیوتری را معادل صحت نتایج فرض می‌کنند. در این مقاله تأثیر خطاهای کوچک در پارامترهای ورودی مدل گوس بر نتایج حاصله از مدل بررسی خواهد شد.

## مدل گوس

اولین روش برای محاسبه غلظت ناشی از یک منبع آلاینده نقطه‌ای دائمی در حالت پایدار در پائین دست جریان باد، توسط Sutton ارائه شده است [۱]. این روش توسط Pasquill و Gifford تکمیل شد و مدل حاصل به نام مدل

## چکیده

مدل ستونی گوس به‌طور وسیعی برای پیش‌بینی میزان آلودگی هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تدوین این مدل، فرضیات ساده کننده زیادی لحاظ شده است که این فرضیات دقت و صحت نتایج مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اطلاع از این فرضیات در آنالیز نتایج حاصله اهمیت زیادی دارد. همچنین حساسیت مدل به گونه‌ای است که خطای اندک در برخی پارامترهای اصلی مدل منجر به خطای قابل توجه، به‌خصوص در فواصل نزدیک به منبع انتشار، در نتایج حاصله خواهد شد. در این مقاله فرضیات مدل ستونی گوس که منجر به محدودیت کاربرد مدل می‌شود و همچنین حساسیت مدل نیز مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به حساسیت بالای مدل ستونی گوس به ضریب پخش عمودی ( $\sigma_z$ ) به‌خصوص در نزدیکی منبع انتشار، در مواردی که محاسبه حداکثر غلظت در سطح زمین مد نظر است و یا زمانی که غلظت‌های محاسبه شده به استانداردهای زیست محیطی نزدیک است ترجیحاً باید محدوده‌ای از ضریب پخش عمودی که منجر به تغییرات شدید غلظت می‌شود، مورد بررسی قرار گیرد. میزان خطای مثبت در حالتی که خطاهایی در حدود ۲۰ درصد در برخی از پارامترهای ورودی مدل داده شده، بیش از ۳۰ برابر مدل مبنا شده است.

فرض حالت یکنواخت باعث می‌شود معادله گوس فقط برای مسافت‌های نسبتاً کوتاه (در حدود ۱۰ کیلومتر) و در نتیجه مدت زمان کوتاه (حدود ۲ ساعت) قابل کاربرد باشد. در مدل ستونی گوس همچنین فرض بر این است که نحوه انتشار و پخش ستون دود مخروطی است در حالی که الگوی مخروطی فقط یکی از چندین حالتی است که ستون دود در حالت واقعی می‌تواند داشته باشد. علاوه بر این با توجه به اینکه از نفوذ توربولنت در جهت بردار باد صرف نظر شده است، سرعت متوسط باد مورد استفاده در مدل گوس نباید کمتر از ۱ متر بر ثانیه باشد. علاوه بر فرضیات مذکور که منجر به مدل گوس شده است، روش‌هایی نیز که برای محاسبه پارامترهای مورد استفاده در مدل به کار رفته است، فرضیات و محدودیت‌های زیادی را به همراه دارند که مهمترین آن‌ها عبارتند از:

#### روش تعیین کلاس پایداری اتمسفر<sup>۲</sup>

کلاس پایداری اتمسفر معیاری برای بیان میزان توربولنسی اتمسفر، به خصوص در جهت عمودی است. این پارامتر تأثیر قابل توجهی در نحوه پخش آلاینده‌های رها شده به اتمسفر خواهد داشت. جایگزینی روش متداول، تعیین پایداری اتمسفر با فلاکس حرارتی در سطح زمین در مدل گوس در برخی موارد باعث افزایش دقت نتایج مدل خواهد شد [۳].

روش تعیین سرعت باد در ارتفاع بالا (مثلاً در ارتفاع دودکش) در مدل‌های اصلاح شده به جای استفاده از یک سرعت در مدل، از پروفیل سرعت باد نسبت به ارتفاع استفاده شده است که منجر به افزایش دقت مدل شده است [۴].

روش تبدیل متوسط غلظت کوتاه مدت در سطح زمین به

#### متوسط زمانی طولانی‌تر

مراجع زیادی نقاط ضعف و قوت مدل‌هایی که بر مبنای معادله گوس استوار هستند را مورد تحقیق و بحث قرار داده‌اند [۵-۱۱].

برخلاف نتایج تحقیقات و بررسی‌های انجام شده معمولاً اعتقاد بر این است که مدل گوس، غلظت ناشی از یک منبع آلاینده مرتفع و دائمی را با خطای ۲ تا ۳ برابر غلظت واقعی

ستونی گوس شناخته می‌شود. در این مدل توزیع غلظت در جهت عمود بر محور ستون گاز، نرمال (گوسی) در نظر گرفته شده است، محور ستون گاز در جهت سرعت متوسط باد (u) می‌باشد و میزان توسعه ستون گاز توسط ضرایب پخش<sup>۱</sup> به صورت تابعی از مسافت یا زمان داده شده است. شکل استاندارد مدل گوس به صورت زیر است:

$$C(x, y, z; H_{eff}) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-0.5\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-0.5\left(\frac{z-H_{eff}}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-0.5\left(\frac{z+H_{eff}}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\}$$

آخرین عبارت سمت راست معادله فوق (عبارت داخل آکولاد) برای در نظر گرفتن تأثیر سطح زمین است، هنگامی که ستون گاز به سطح زمین می‌رسد. برای به حساب آوردن این تأثیر، هنگام حل معادله نفوذ یک منبع فرضی به ارتفاع  $(-H_{eff})$ ، تصویر آینه‌ای منبع اصلی نسبت به زمین، در نظر گرفته می‌شود که یکی از شرایط مرزی مسئله را به وجود می‌آورد [۲].

#### فرضیات و محدودیت‌ها

فرضیات ساده کننده‌ای که منجر به حل معادله نفوذ و رسیدن به مدل استاندارد ستونی گوس شده است را به صورت زیر می‌توان خلاصه کرد.

- شرایط پایدار<sup>۲</sup> برقرار است.
- میدان باد همگن است.
- واکنش شیمیایی بین اجزاء آلاینده مورد بررسی وجود ندارد.
- در سطح زمین جذب و یا واکنش شیمیایی صورت نمی‌گیرد.
- نفوذ توربولنت در جهت x در مقایسه با انتقال در اثر جابجایی قابل صرف نظر کردن است.
- محور x در جهت باد است و متوسط نوسانات جهت باد در امتداد y و z صفر است.
- منطقه مورد بررسی مسطح است.
- تمامی متغیرها در یک محدوده زمانی کوتاه (به عنوان مثال ۱۰ دقیقه) متوسط گیری می‌شوند.

1. Dispersion  
2. Steady State Condition  
3. Atmospheric Stability

امریکا اجباری شده است، محدوده زمانی متوسط گیری غلظت را در مدل گوس به جای ۱۰ دقیقه ۱ ساعت فرض می‌کنند که می‌تواند خطای مثبتی در حدود ۲۵۰ درصد در نتایج مدل ایجاد کند [۱]. در آخرین تحقیق به عمل آمده توسط Fritz، مدت زمان متوسط گیری ۳ تا ۲۰ دقیقه پیشنهاد شده است [۱۵].

### مطالعه حساسیت

در این قسمت حساسیت مدل گوس نسبت به خطاهای منطقی در برخی از پارامترهای اصلی مدل و نتیجه آن بر انحراف نتایج در محاسبه غلظت در سطح زمین مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور یک مدل مبنا و چند مدل تغییر یافته به صورت زیر تعریف شد و نتایج آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است:

مدل مبنا (A): در این مدل از معادله Brigs برای محاسبه میزان صعود ستون دود، معادله توانی برای محاسبه سرعت باد در ارتفاع انتشار [۱]، ضرایب پخش Pasquill-Gifford که توسط Martin به صورت معادله ارائه شده [۱۲]. سرعت باد ۳ متر بر ثانیه، کلاس پایداری اتمسفر C و متوسط غلظت محاسبه شده طبق توصیه سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا ۱ ساعت در نظر گرفته می‌شود.

مدل تغییر یافته B1: مانند مدل A می‌باشد با این تفاوت که به طور مصنوعی میزان صعود ستون دود ۲۰ درصد افزایش داده شده است.

مدل تغییر یافته B2: مانند مدل A می‌باشد با این تفاوت که به طور مصنوعی میزان ضریب پخش عمودی ۲۵ درصد کاهش داده شده است.

مدل تغییر یافته B: مانند مدل A می‌باشد با این تفاوت که به طور مصنوعی میزان صعود ستون دود ۲۰ درصد افزایش و ضریب پخش عمودی ۲۵ درصد کاهش داده شده است. در این مدل، به خصوص در فواصل نزدیک به منبع انتشار، خطاها یکدیگر را تقویت می‌کنند و در نتیجه خطای منفی بزرگتر خواهد بود.

مدل تغییر یافته BB: مانند مدل A می‌باشد ولی به طور

پیش‌بینی می‌کند [۷]. یکی از فرضیات در تدوین معادله گوس، شرایط پایدار و همگن بودن میدان باد از نقطه انتشار تا نقطه‌ای که محاسبه غلظت در آن مدنظر است، می‌باشد، در صورتی که نمی‌توان با دقت لازم، سرعت باد و کلاس پایداری اتمسفر را در مرکز ستون دود تخمین زد و حتی نمی‌توان مطمئن بود که این پارامترها در طول مسیر حرکت آلاینده ثابت باشند. در عمل، شرایط ثابت و یکنواخت، به خصوص برای مسافت طولانی، به ندرت اتفاق می‌افتد. همچنین سرعت دقیق باد و کلاس پایداری اتمسفر، مستلزم پیش‌بینی دقیق میزان صعود ستون آلاینده خروجی از منبع انتشار و اطلاع از رابطه دقیق سرعت باد با ارتفاع می‌باشد که عملاً امکان‌پذیر نخواهد بود.

### عدم قطعیت در محاسبه صعود ستون دود

اکثر مدل‌های گوس برای محاسبه میزان صعود ستون دود از معادله Brigs که توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا نیز توصیه شده است، استفاده می‌کنند [۱۲]. خطای این معادله در محاسبه میزان صعود ستون دود حداقل ۲۰± درصد می‌باشد. خطا در این معادلات اجتناب‌ناپذیر است [۱۳].

### ضرایب پخش

بسیاری از مدل‌های گوس از ضرایب پخش تجربی اصلاح شده توسط Pasquill که در مناطق روستایی و در مسافت‌های متوسط (حدود ۱۰ کیلومتر) به دست آمده است، استفاده می‌کنند [۱۲ و ۱۴]. تعداد اندکی از کاربران مطلع مدل گوس وجود دارند که خطای ۲۵± درصدی این ضرایب را در مناطق غیر مسطح و مسافت‌های طولانی (حدود ۵۰ کیلومتر) قبول نداشته باشند [۱۵].

### زمان متوسط گیری

چنانچه ذکر شد هنگام استفاده از مدل ستونی گوس این سوال مطرح است که غلظت متوسط محاسبه شده در سطح زمین در چه محدوده زمانی است؟ Turner این محدوده زمانی را ۳ تا ۱۵ دقیقه پیشنهاد کرده است [۱۶]. TVA<sup>۱</sup> این محدوده زمانی را ۵، [۱۷] و API<sup>۲</sup> آن را ۱۰ دقیقه پیشنهاد داده است [۱۸].

صرف‌نظر از نتایج تحقیقات فوق، بسیاری از مدل‌های ستونی گوس که استفاده از آن‌ها توسط سازمان‌های قانون‌گذاری معتبر، از جمله سازمان حفاظت محیط زیست

1. Tennessee Valley Authority

2. American Petroleum Institute

فاصله از منبع به میزان قابل توجهی کاهش یافته و در فاصله ۲، ۳ و ۴ کیلومتری به ترتیب ۲۰، ۱۰ و صفر درصد افزایش را نشان می‌دهد، لذا خطای اندک در ارتفاع مؤثر دودکش، چنانچه در قسمت بعد هم بحث خواهد شد، در فواصل نزدیک منبع، باعث خطاهای قابل توجه در غلظت نتایج محاسبه خواهد شد، در صورتی که در فواصل دورتر از منبع، این خطا به میزان قابل قبولی کاهش می‌یابد.

خطای حاصل از کاهش ۲۵ درصدی ضریب پخش عمودی (مدل B2) نیز مانند حالت قبل تأثیر قابل توجهی در غلظت‌های محاسبه شده در نزدیکی منبع انتشار را نشان می‌دهد و با فاصله گرفتن از منبع، این خطا به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد به‌طوری‌که در فاصله ۵ کیلومتری، این اختلاف به منهای ۱۰ درصد می‌رسد. ترکیب دو خطای فوق باعث تقویت خطای حاصله، به خصوص در نزدیکی منبع انتشار می‌شود (مدل B). چنانچه در جدول ۱ مشخص است، نسبت غلظت محاسبه شده توسط مدل A نسبت به مدل B در فاصله ۱ کیلومتری به بیش از ۱۸۳ رسیده است. این نسبت با افزایش فاصله به شدت کاهش یافته و در فاصله ۳ و ۴ کیلومتری به ۱/۳ و ۱ می‌رسد.

درحالی‌که خطای محاسبه ارتفاع مؤثر ۲۰ درصد مثبت و خطای محاسبه ضریب پخش عمودی ۲۵ درصد مثبت باشد (مدل BB)، خطاها یکدیگر را خنثی و نسبت غلظت مدل مبنا نسبت به مدل اخیر (مدل BB) در کل فواصل، به خصوص در فاصله بیش از ۲ کیلومتری، قابل قبول خواهد

مصنوعی میزان صعود ستون دود ۲۰ و ضریب پخش عمودی ۲۵ درصد افزایش داده شده است. در این مدل خطاها یکدیگر را جبران می‌کنند و نتیجه دارای خطای کمتری خواهد بود.

مدل تغییر یافته C: مانند مدل B است با این تفاوت که جهت باد ۱۰ درجه نسبت به محور x انحراف داده شده است.

مدل تغییر یافته CC: مانند مدل BB است با این تفاوت که جهت باد ۱۰ درجه نسبت به محور x انحراف داده شده است.

مدل تغییر یافته D: مانند مدل C است با این تفاوت که فاکتور تصحیح متوسط گیری غلظت، (۲/۵)، در معادله وارد شده است.

مدل تغییر یافته DD: مانند مدل CC است با این تفاوت که فاکتور تصحیح متوسط گیری غلظت، (۲/۵)، در معادله وارد شده است.

در جدول ۱، نتایج غلظت محاسبه شده توسط مدل‌های فوق در فواصل مختلف از منبع انتشار خلاصه شده است (منبع انتشار، دودکشی به ارتفاع ۱۰۰ متر، قطر دهانه ۲ متر، دمای گاز خروجی ۲۵۰°C، سرعت گاز خروجی ۱۰ m/s و میزان انتشار آلاینده ۱۰۰ g/s است). چنانچه ملاحظه می‌شود غلظت‌های محاسبه شده توسط مدل مبنا (A) نسبت به مدل B1، که در آن خطای مثبت ۲۰ درصدی از ارتفاع مؤثر دودکش وجود دارد، در نزدیکی منبع انتشار حداکثر و حدود ۲/۳ برابر شده است، این میزان با افزایش

جدول ۱- نتایج غلظت محاسبه شده توسط مدل‌های مبنا و تغییر یافته برحسب  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

مقایسه نتایج مدل‌ها نسبت به مدل مبنا (A)								مدل‌های تغییر یافته با اعمال خطا در پارامترهای ورودی $\mu\text{g}/\text{m}^3$								مدل (A)	فاصله از منبع (km)
A/DD	A/D	A/CC	A/C	A/BB	A/B	A/B2	A/B1	DD	D	CC	C	BB	B	B2	B1		
۵/۸	>۴۵۸	۲/۳	>۱۸۳	۰/۵	>۱۸۳	۷/۰	۲/۳	۳/۱	۰/۰۴>	۷/۹	۰/۱>	۳۶/۶	۰/۱>	۲/۶	۷/۹	۱۸۳	۱
۱۲/۹	۳۰/۰	۵/۱	۱۲/۰	۰/۹	۲/۱	۱/۶	۱/۲	۷/۳	۳/۱	۱۸۳	۷/۹	۱۰۲/۱	۴۴/۵	۶۰/۲	۷۵/۹	۹۴/۲	۲
۱۶/۰	۲۰/۰	۶/۴	۸/۰	۱/۱	۱/۳	۱/۱	۱/۱	۵/۲	۴/۲	۱۳/۱	۱۰/۵	۷۸/۵	۶۵/۴	۷۵/۹	۷۵/۹	۸۳/۸	۳
۲۰/۰	۲۰/۰	۸/۰	۸/۰	۱/۱	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۳/۱	۳/۱	۷/۹	۷/۹	۵۵/۰	۶۰/۲	۶۵/۴	۶۰/۲	۶۲/۸	۴
۲۲/۵	۱۵/۰	۹/۰	۶/۰	۱/۲	۰/۹	۰/۹	۱/۱	۲/۱	۳/۱	۵/۲	۷/۹	۳۹/۳	۴۹/۷	۵۲/۴	۴۴/۵	۴۷/۱	۵
۳۵/۰	۱۷/۵	۱۴/۰	۷/۰	۱/۳	۰/۹	۰/۹	۱/۱	۱/۰	۲/۱	۲/۶	۵/۲	۲۸/۸	۳۹/۳	۴۱/۹	۳۴/۰	۳۶/۶	۶
۲۷/۵	۲۷/۵	۱۱/۰	۱۱/۰	۱/۲	۰/۹	۰/۸	۱/۰	۱/۰	۱/۰	۲/۶	۲/۶	۲۳/۶	۳۱/۴	۳۴/۰	۲۸/۸	۲۸/۸	۷

$$\frac{\sigma_z}{H} = \exp[-0.5(H/\sigma_z)^2] / (\sigma_z/H)$$

در صورتی که  $\psi = \sigma_z/H$  برقرار باشد، آنگاه:

$$f(\psi) = \exp(-0.5\psi^{-2}) / \psi$$

منحنی  $f(\psi)$  برحسب  $\psi$  حداکثری را در  $\psi=1$  نشان می‌دهد (شکل ۲). لذا برای تعیین محدوده  $f$  ابتدا باید مشخص کرد که آیا در شرایط واقعی  $\psi=1$  خواهد شد یا نه. اگر نه، آنگاه میزان حداکثر  $f$  در نقاط ابتدایی و یا انتهایی محدوده  $\psi$  قرار خواهد داشت.

ولی اگر  $\psi=1$  وجود داشته باشد آنگاه حداکثر غلظت از رابطه زیر به دست خواهد آمد:

$$c(x) = \frac{Q}{\pi\sigma_y u H} \exp(-0.5)$$

شیب منحنی  $f(\psi)$  در نقاط نزدیک به صفر بسیار کم و شیب آن در محدوده  $0.1$  تا  $0.4$  بسیار زیاد است به طوری که  $10\%$  درصد تغییر در  $\psi$  ممکن است  $534000\%$  درصد در  $f(\psi)$  (و یا  $C$ ) تغییر حاصل کند ( $f(0.1) = 1/9287 \times 10^{-11}$ ) و  $f(0.11) = 1/0.293 \times 10^{-17}$ .

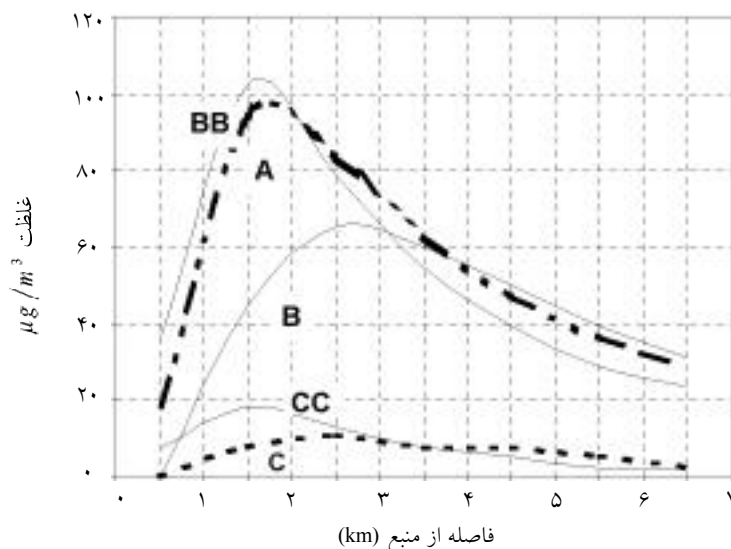
این تغییرات برای حالتی که ارتفاع مؤثر دودکش بسیار زیاد و نقطه محاسبه غلظت نزدیک به منبع انتشار ( $\sigma_z$  کوچک) باشد (در این حالت  $\psi$  به سمت صفر میل می‌کند) زیادتر خواهد بود. به عنوان مثال در صورتی که ارتفاع مؤثر یک

بود. مطابق نتایج جدول ۱ بیشترین میزان خطای محاسبه غلظت ناشی از تأثیر تغییر جهت باد و مدت زمان متوسط‌گیری است.

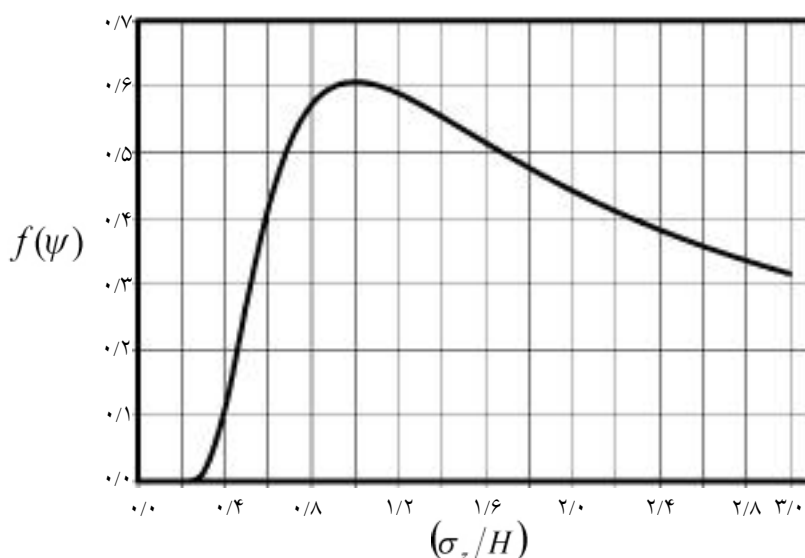
برای درک بهتر از بحث، تغییرات غلظت مدل‌های A، BB، C و CC نسبت به فاصله از منبع، در شکل ۱ رسم شده است. خنثی شدن خطاها توسط یکدیگر در مدل BB باعث شده تا هماهنگی خوبی بین نتایج این مدل با مدل مبنا وجود داشته باشد. در صورتی که در مدل B که خطاها یکدیگر را تقویت می‌کنند، اختلاف زیادی بین نتایج ایجاد شده و همچنین محل نقطه حداکثر نیز جابجا شده و از حدود ۲ کیلومتر به حدود ۳ کیلومتر منتقل شده است. تأثیر خطای جهت باد بسیار زیاد و در مدل‌های C و CC ظاهر شده است. کاهش قابل توجه اختلاف نتایج مدل‌های A و B در فواصل بیشتر از ۳ کیلومتر از منبع در شکل ۱ واضح است.

البته هدف از بحث فوق در واقع نشان دادن احتمال بروز خطاهای قابل توجه در نتایج مدل‌های گوسی، به خصوص حساسیت این مدل به ارتفاع مؤثر دودکش و ضریب پخش عمودی در فواصل نزدیک به منبع انتشار است که در زیر، مبنای نظری آن بررسی می‌شود.

برای یافتن محدوده‌ای از  $\sigma_z$  که منجر به تغییرات ناگهانی غلظت می‌شود، معادله گوس را می‌توان به صورت زیر برای محاسبه غلظت در سطح زمین بازنویسی کرد:



شکل ۱- تغییرات غلظت مدل‌های تغییر یافته نسبت به فاصله از منبع



شکل ۲- تغییرات غلظت بدون بعد بر حسب نسبت  $(\sigma_z/H)$

به آن‌ها اطمینان کامل داشت. در واقع مدل‌ها ابزار بسیار مناسبی در پیش‌بینی کیفی و شبیه‌سازی تأثیر واحدهای صنعتی در زمان احداث، تغییر سوخت و یا توسعه آن بر هوای محیط خواهد بود. چنین مدل‌هایی همچنین ابزاری بسیار مفید در انتخاب روش‌های کنترلی مناسب می‌باشند [۱۹]. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که در عمل، رسیدن به خطای کمتر از ۲۰۰ تا ۳۰۰ درصد مستلزم ایجاد شرایط کنترل شده، دقیق و همچنین کالیبراسیون مدل برای منطقه مورد بررسی خواهد بود.

در واقع استفاده از مدل گوس برای محاسبه غلظت واقعی، بدون در نظر گرفتن محدودیت‌ها، عوامل خطاساز در مدل و کنترل دقیق پارامترهای ورودی مدل، منجر به نتایج بسیار دور از واقعیت خواهد شد. در چنین شرایطی اعتماد به مدل، قابل پذیرش نخواهد بود.

در شرایطی که غلظت‌های محاسبه شده نزدیک به استانداردهای زیست محیطی باشد و یا در مورد دودکش‌های خیلی بلند، استفاده از یک محدوده برای  $\sigma_z$  جهت محاسبه حداکثر غلظت ممکن توصیه می‌شود. در شرایط کنترل شده و در صورت کالیبراسیون مدل با نتایج تجربی و یا مقایسه با مدل‌های پیچیده‌تر مدل ستونی گوس در عین سادگی ابزاری مؤثر و مناسب جهت مطالعات زیست محیطی خواهد بود [۱۰، ۱۱ و ۲۰].

دودکش ۵۰۰ متر و کلاس پایداری اتمسفر  $D$  باشد در مسافت ۶ کیلومتری از منبع، تغییر  $\psi$  از ۰/۱ تا ۰/۴ منجر به تغییر غلظتی در حدود ۲۰ برابر می‌شود.

### نتیجه‌گیری

مدل گوس فرض را بر یک شرایط ایده‌آل و ثابت جوی برای مسافت نسبتاً طولانی، شکل هندسی ایده‌آل برای ستون دود، زمین مسطح، بقای جرم کامل (عدم وجود واکنش شیمیایی) و توزیع دقیق گوسی قرار داده که در عمل به ندرت اتفاق می‌افتد.

بر اساس گزارشی که در سال ۲۰۰۰ توسط مرکز تحقیقاتی ملی Amarillo آمریکا منتشر شده است، مدل گوس ISCST<sup>۱</sup> که به‌طور وسیعی توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد، خطای مثبتی در حدود ۱۰ برابر (و حتی بیشتر) غلظت واقعی ایجاد می‌کند. لذا اطلاع از خصوصیات مدل مذکور به خصوص حساسیت مدل نسبت به پارامترهای مختلف و شرایط کاربرد مدل توسط کاربر در دستیابی به نتایج نزدیک به واقعیت و همچنین تفسیر نتایج حاصله از اهمیت بسزایی برخوردار است.

هدف این مطالعه انکار اهمیت و مفید بودن مدل‌هایی با مبنای گوسی نیست بلکه یادآوری و به ذهن سپاری این نکته است که این مدل‌ها فقط وسیله بوده و نمی‌توان به

## علائم و نشانه‌ها

C: غلظت آلاینده ( $\text{g/m}^3$ )Q: میزان انتشار ( $\text{g/s}$ ) $x, y, z$ : مختصات نقطه موردنظر جهت محاسبه غلظت (m)u: سرعت باد افقی ( $\text{m/s}$ ) $H_{\text{eff}}$ : ارتفاع مؤثر دودکش (m) $\sigma_z, \sigma_y$ : ضرایب پخش افقی و عمودی (m)

## منابع

- [1] Stern A.C., *Air Pollution*, Vol. 1, 3<sup>th</sup> Ed, Academic press, 1976.
- [2] Neoporozhny P.S., *Thermal power plants and environmental control*, Moscow, Mir Publishers., 1984.
- [3] Kaasik M., *International journal of environment and pollution*, Vol. 20, No. 1-6, pp. 114-120, 2003.
- [4] Walcek C.J., Accounting for wind shear in Gaussian dispersion models, 16<sup>th</sup> symposium on Boundary Layers and Turbulence., Port land, ME, United States, 2004.
- [5] Ellis H.M., "Comparison of Predicted and Measured concentrations for 58 alternative models of Plume transport in complex terrain", *JAPCA*, Vol. 30, No. 6, pp. 670-675, 1980.
- [6] Frits B.K., "Atmospheric dispersion modeling", a critical review, *JAPCA*, 1979.
- [7] Karl B., Schnelle Jr. & Partha R.Dey, *Atmospheric Dispersion Modeling Compliance Guide*, McGraw-Hill, PP 6-23, 1999.
- [8] Sabah A., "Evaluation of the industrial source complex short-term model: Dispersion over Terrain", *AWMA*, Vol. 54, pp. 396-408, 2004.
- [9] Robins A.G. & Hayden P., "Dispersion from elevated sources above obstacle arrays: Modeling requirements", *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 14, No. 1-6, pp. 186-197, 2000.
- [10] Mehdizadeh F. & Rifai H., "Modeling Point Source Plumes at high altitudes using a modified Gaussian model", *Atmospheric Environment*, Vol. 38, No. 6, pp. 821-831, 2004.
- [11] Lutman E.R., *Journal of Environmental Radioactivity*, Vol. 75, pp. 339-355, 2004.
- [12] Masters G.M, *Introduction to Environmental Engineering and Science*, Prentice Hall, 1991.
- [13] Wellens A., "Comparison of the inherent data error in plume rise models", *International Journal of Environment and Pollution*, Vol. 16, No. 1-6, pp. 274-284, 2001.

- [14] Cheremisinoff P.N., Encyclopedia of Environmental Control Technology, Vol. 2, Gulf Publishing Company, 1989.
- [15] Fritz B.K., Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, Vol. 48, No. 3, pp. 1185-1196, 2005.
- [16] Turner D.B, Workbook of atmospheric dispersion estimates, U.S.EPA Publication, Public Health service Publication No.999 –AP-26, 1970.
- [17] Montgomery T.L., Colema J.H., "Empirical Relationships Between Time-Averaged SO<sub>2</sub> Concentrations", Environmental science & Technology, Vol. 9, No. 10, 1975.
- [18] American Petroleum Institute., Manual on Disposal of Refinery wastes-volume on Atmospheric Emissions, 1974.
- [19] Beychok M. & Fundamentals R. of Stack Gas Dispersion, 3<sup>th</sup> Ed., Self published, USA, 1995.
- [20] Krishna R., Impact of an industrial complex on the ambient air quality:Case study using a dispersion model, Atmospheric Environment, Issue 29, pp. 5395-5407, 2005.