



روش‌های مدل‌سازی کیفیت هوا

ایرج سعیدپناه^۱، حامد صمصامی خداداد^۲

۱- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

samsami@znu.ac.ir

خلاصه

در سال‌های اخیر به دلیل شدت یافتن مشکلات ناشی از استفاده از سوخت‌های فسیلی و تأثیرات مخرب آن‌ها بر روی آلودگی هوا تمایل به استفاده از انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر افزایش یافته است. علی‌رغم تأثیرات مثبت زیست محیطی و اقتصادی این گونه انرژی‌ها، استفاده از برخی از این نوع روش‌ها به ویژه پروژه‌های بزرگ مقیاس نیاز به سرمایه‌گذاری اولیه زیاد و برنامه‌ریزی‌های کلان و بلند مدت در سطح ملی و منطقه‌ای دارد. محدودیت منابع مالی و زمانی از یک سو و وضعیت بسیار خطرناک برخی مناطق نسبت به مناطق دیگر، اولویت‌بندی این پروژه‌ها را با رویکرد مناطق در معرض خطر بیشتر ضروری می‌نماید. مدل‌سازی کیفیت هوا در کنار پژوهش‌های آماری به منظور شناسایی وضعیت موجود آلاینده‌ها در مناطق مختلف و پیش‌بینی وضع آینده، می‌تواند گام مهمی جهت اولویت‌بندی این گونه پروژه‌ها باشد. علاوه بر این شبیه‌سازی و پیش‌بینی کیفیت هوا، آلودگی‌های محیطی و همچنین تعیین غلظت آلودگی به منظور طراحی تأسیسات سالم سازی، استفاده صحیح و بهینه از آب و هوا و بطور کلی تأسیسات حفاظت از محیط زیست امری ضروری است. لذا در این پژوهش به بحث پیرامون مدل‌سازی کیفیت هوا پرداخته می‌شود و روش‌های مختلف جهت مدل‌سازی آن دسته‌بندی و مورد بحث قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: کیفیت هوا، مدل‌سازی، محیط زیست، آلودگی.

۱. مقدمه

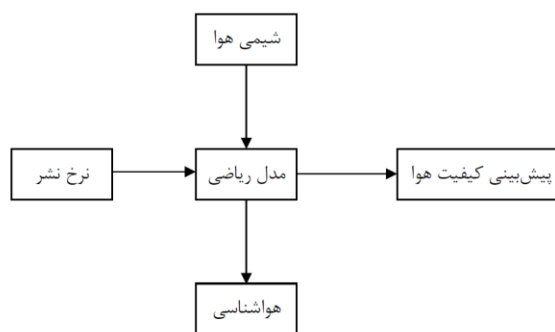
خوشبختانه در دهه اخیر لزوم جایگزینی منابع انرژی پاک و تجدیدپذیر بجای سوخت‌های فسیلی مورد توجه جدی کشور های پیشرفته دنیا قرار گرفته است. علاوه بر پروژه‌های کوچک که قابلیت استفاده در مناطق مختلف را دارا می‌باشند و با سرمایه‌گذاری کم بازدهی بالا دارند برخی از پروژه‌های بزرگ نیاز به سرمایه‌گذاری‌های هنگفت و بلند مدت دارند. همچنین جهت فراگیر شدن سیستم‌های کوچک و زودبازده در یک منطقه یا کشور نیاز به برنامه‌ریزی کلان، طرح‌های حمایتی و قوانین الزام آور می‌باشد. از آن‌جا که در بسیاری از کشورها (از جمله ایران) منابع مالی محدود بوده و همچنین زمان‌بر بودن برخی از این پروژه‌ها، اولویت‌بندی این پروژه‌ها بر اساس میزان آلاینده‌ها و شدت خطرات آن‌ها ضروری است. مدل‌سازی این پدیده‌ها یکی از ابزارهای در دسترس جهت تعیین تقدم و تاخر و شناسایی مناطق در معرض خطر بیشتر می‌باشد. همچنین مدل‌سازی امکان پیش‌بینی وضعیت در کوتاه مدت و درازمدت را فراهم می‌نماید. علاوه بر این مدل‌سازی کیفیت هوا در تصمیم‌گیری‌های طراحی تأسیسات حفاظت از محیط‌زیست و سیاست‌گذاری‌های مربوط به مدیریت و توسعه تأسیسات زیر بنایی و صنعتی استفاده می‌شود.

کیفیت هوا به عنوان یک آنالیز سیستم در شکل (۱) نشان داده شده است. علم مدل‌سازی کیفیت هوا و ترکیبات ویژه بی‌نهایت پیچیده می‌باشد، به ویژه زمانی که داده‌های ورودی مناسبی از ترکیبات شیمیایی، توپوگرافی و هواشناسی وجود نداشته باشد. با عنایت به این موضوع در این مقاله به بحث پیرامون مدل‌سازی کیفیت هوا پرداخته می‌شود و حداکثر کوشش به عمل آمده تا بطور شفاف و رسا مسائل مربوط به مدل‌سازی کیفیت هوا تجزیه و تحلیل گردد.

مدلهای گوناگونی به منظور شبیه سازی و پیش بینی کیفیت هوا ارائه شده‌اند [۱] که به توضیح پیرامون هر یک از آنها می‌پردازیم.

^۱ استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی، دانشگاه زنجان



شکل ۱- آنالیز سیستم هوا

۲. مدل‌های قطعی ساده

این مدل‌ها براساس داده‌های تجربی می‌باشند و به صورت عبارات جبری فرمول‌بندی می‌شوند و خود شامل دو نوع مدل‌سازی شاخص‌های آلودگی هوا و مدل‌های سطح منبع می‌باشند.

۲-۳ مدل‌سازی شاخص‌های آلودگی هوا

این نوع مدل‌سازی بر مبنای رابطه (۱) و محاسبه α می‌باشد؛ α عددی است که معرف کیفیت خوب، کیفیت قابل قبول، کیفیت معیوب و پرخطر می‌باشد. گاهی از این شاخص در آمریکا در یک سطح قابل درک بطور عمومی استفاده می‌شود و اصطلاحاً PSI شاخص استاندارد آلودگی نامیده می‌شود. α می‌تواند به پارامترهای ویژه‌ای نظیر CO، دود یا SO₂ یا هر پارامتر دیگری که در استانداردهای کیفیت هوا آمده است و یا مجموعه‌ای از این پارامترها بستگی داشته باشد. این شیوه مدل‌سازی، مقادیر وزنی هر یک از پارامترهای آلودگی را که در یک مکان اندازه گرفته شده‌اند را با آنچه که در مورد هر یک از این پارامترها در استانداردهای کیفیت هوا عنوان شده مقایسه می‌نماید. مزیت این روش بی‌بعد بودن α می‌باشد (نه برحسب ppm و نه برحسب mg/m³ می‌باشد) و ممکن است یک مقداری مثلاً ۴۰۰ برای کربن یا گوگرد را برای آنها خطرناک دانست. اگر چه ممکن است غلظت نظیر آن 400ppm برای کربن و 1ppm برای SO₂ باشد. همچنین α را می‌توان از روش درونیابی از رابطه زیر بدست آورد:

$$\alpha = \alpha_i + \frac{\alpha_{i+1} - \alpha_i}{C_{i+1} - C_i} (C - C_i) \quad (1)$$

α : شاخص استانداردهای آلودگی

C: غلظت آلوده کننده

α_i : شکست از نقطه‌ای به نقطه دیگر.

نحوه تعیین وضعیت حدود کیفیت هوا در جدول (۱) آورده شده است، مثلاً ۱۰۰ بین کیفیت قابل قبول و نامرغوب است. به عنوان کاربرد اگر غلظت 0.9 ppm را داشته باشیم شاخص استاندارد آلودگی SO₂ با استفاده از رابطه (۱) برابر با PSI = 450 می‌شود. به همین ترتیب، یک غلظت Co 45ppm به 450PSI برمی‌گردد.

جدول ۱- نحوه تعیین وضعیت حدود کیفیت هوا

PSI	وضعیت	غلظت (PPm)
<۵۰	کیفیت خوب	<۰/۰۷
۵۰	کیفیت قابل قبول	۰/۱۴
۱۰۰	کیفیت ناسالم	۰/۳
۲۰۰	اعلام خطر	۰/۳
۳۰۰	خطر	۰/۶
۴۰۰	خطرناک	۰/۸
۵۰۰	خیلی خطرناک	۱



۲-۲ مدل سطح منبع

یک مدل ساده سطح منبع مطابق به صورت زیر می باشد [۲]

$$C = \frac{C_i Q}{U} \quad (2)$$

C: غلظت آلودگی در متوسط زمان mg/L

Q: مقاومت منبع در واحد سطح kg/m²

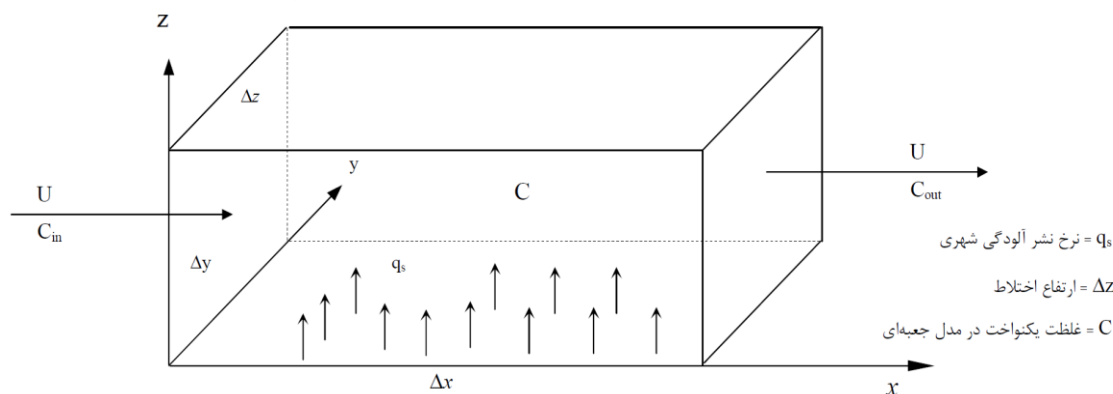
U: سرعت متوسط سالانه باد m/s

C_i: پارامتر متناسب با اندازه شهر و آلودگی ویژه

بعنوان مثال اگر در یک ایستگاه فرضی سوخت ذغال سنگ و مقادیر $C_i \cong 1$ و $Q \cong 1.1 \text{ kg/s}$ و $U \cong 5 \text{ m/s}$ را داشته باشیم و مساحت تحت تأثیر ایستگاه 100 km² در نظر گرفته شود، با استفاده از رابطه (۲) غلظت متوسط سالانه SO₂ حاصله از ایستگاه مذکور 2.2 g/m³ خواهد شد. حال در صورتیکه مساحت تحت تأثیر 10 km² باشد، غلظت تا 22 μg / m³ افزایش می یابد با توجه به اینکه حد استاندارد سالانه برای SO₂ تقریباً 60 μg / m³ می باشد.

۳. مدل های جعبه ای

این مدل بر مبنای بقای جرم یک آلوده کننده در یک جعبه می باشد. جعبه مرجع، اولری است. جعبه ثابت بجای جعبه لاگرانژی که با سرعت آلوده کننده جابجا می شود. جعبه یا حجم می تواند معرف یک شهر یا یک منطقه باشد. همانگونه که در شکل (۲) نشان داده شده است، سطح پلان یک شهر بوسیله ΔX ΔY نشان داده می شود و ΔZ بعد قائم آن می باشد. شرایطی را در نظر می گیریم که باد با سرعت U و غلظت C_{in} وارد می شود. فرض کنید که هیچ آلودگی از دیواره ها خارج نشود و داخل جعبه اختلاط کامل وجود داشته باشد. برای سادگی فرض می کنیم که آلوده کننده پایدار باشد.



شکل ۲- طرح کلی از یک مدل جعبه ای در هوا

نرخ تغییر آلودگی داخل جعبه طبق رابطه زیر بیان می گردد:

$$\Delta x \Delta y \Delta z \frac{\partial C}{\partial t} = \Delta x \Delta y q_s + \Delta y \Delta z U (C_{in} - C_{out}) + \Delta x \Delta y \Delta z r_g \quad (3)$$

که در این رابطه :

$\Delta x \Delta y \Delta z \frac{\partial C}{\partial t}$: نرخ تغییر آلودگی داخل جعبه

$\Delta x \Delta y q_s$: نرخ آلودگی ورودی

$\Delta y \Delta z U (C_{in} - C_{out})$: نرخ آلودگی خروجی

$\Delta x \Delta y \Delta z r_g$: نرخ آلودگی که تولید یا واپاشی می شود

در صورتیکه درون جعبه تولید نداشته باشیم، $r_g = 0$ و لذا داریم:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{q_s}{\Delta z} + \frac{U}{\Delta x} (C_{in} - C_{out}) \quad (4)$$

فرض می کنیم که غلظت در تمام نقاط جعبه ثابت باشد، در این صورت $C_{out} = C$ ، با حد گیری داریم:



$$\frac{dC}{dt} = \frac{q_s}{H} + \frac{U}{L}(C_{in} - C) \quad (5)$$

که در این رابطه:

$\Delta x = L$: طول جعبه

$\Delta Z = H$: ارتفاع اختلاط

برای حالت پایدار داریم:

$$C = \frac{q_s}{UH} + C_{in} \quad (6)$$

برای حالت ناپایدار داریم:

$$\frac{dC}{dt} + \left(\frac{U}{L}\right)C = \frac{q_s}{H} + \frac{U}{L}C_{in} \quad (7)$$

یا

$$\frac{l}{U} \frac{dC}{dt} + C = \frac{q_s L}{UH} + C_{in} \quad (8)$$

که حل تحلیلی آن به صورت رابطه (۹) می باشد.

$$C(t) = \left[\frac{q_s L}{UH} + C_{in} \right] \left[1 - e^{(-U_T)/L} \right] + C(0) e^{(-U_T)/L} \quad (9)$$

در صورتیکه تنها آلودگیهای ورودی به جعبه آلودگیهای شهری باشند و غلظت اولیه داخل جعبه صفر باشد، در این صورت معادله (۸) به صورت زیر ساده می شود:

$$C(t) = \frac{q_s L}{UH} (1 - e^{(-U_T)/L}) \quad (10)$$

غلظت Co یک منطقه شهری با مشخصات ذیل برابر 5.7 mg/m^3 می شود که بزرگتر از 30 mg/m^3 ، استاندارد WHO برای ۱ ساعت، می باشد.

جمعیت = ۱۵۰۰۰۰ نفر

تعداد وسایل نقلیه = ۵۰۰۰۰

سطح مورد تردد وسایل نقلیه = ۱۰۰ کیلومتر مربع

همچنین بطور متوسط هر وسیله نقلیه روزانه ۱۰ کیلومتر مربع از ساعت ۸ تا ۱۰ حرکت می کند و مقدار Co تولیدی توسط هر وسیله نقلیه 4 gr/Km می باشد.

۴. مدل های چند جعبه ای

مدلهای چند جعبه ای تکمیل مدل جعبه ای می باشد. فرض می شود که در هر جعبه هوا و آلودگی به خوبی مخلوط شده باشند و جعبه ها بهم متصل باشند. داخل هر جعبه، فرآیندهای دفع و واکنش مجاز می باشد. مدل های چند جعبه ای نسبت به مدل های جعبه ای نتیجه و تجزیه زمانی و مکانی بهتری می دهند. در تقاطع جعبه ها، اندرکنش های بین جعبه ای نظیر شرایط مرزی تعریف گشته است.

۵. مدل های Gaussian

مدل Gaussian برای یک یا چند منبع رایج ترین مدل های آلودگی هوا بشمار می آید. معادله (۱۱) غلظت سه بعدی تولید شده توسط منبع یا منابع نقطه ای را تحت شرایط اقلیمی و نرخ نشر ثابت نشان می دهد.

$$C(x, y, z) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (11)$$

که در این رابطه

C(x,y,z): غلظت آلوده کننده



Q: نرخ خروج یا نشر از لوله دودکش

σ_y, σ_z : انحراف استاندارد توزیع غلظت توده هوای آلوده در امتداد y یا z می‌باشد.

مستقیماً می‌توان این معادله را مدل نمود و آنرا به نرم‌افزارهای گرافیکی متصل کرد تا ترازهای غلظت را در فواصل مختلف از منبع یا منابع بدست آورد. در بسیاری از موارد، هدف تعیین غلظت در سطح زمین می‌باشد؛ بنابراین معادله بصورت زیر ساده می‌شود:

$$C(x, y, z = 0) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{y}{\sigma_y}\right)^2\right] \left\{ \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right\} \quad (12)$$

که در این رابطه H ارتفاع نرخ نشر است.

در صورتیکه نرخ نشر در منبع زمین باشد، برای غلظت معادله (۱۲) بصورت زیر ساده می‌شود:

$$C(x, y = 0, z = 0) = \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \quad (13)$$

پارامترهای σ_y, σ_z به کلاس پایداری اتمسفری و فاصله تا مخزن بستگی دارد. [۳] از آنجایی که این مدل بر اساس شرایط نرخ نشر و رسوب‌گذاری خشک، رسوبگذاری تر و تبدیلات شیمیایی می‌باشد می‌توان مدل‌های Gaussian را با ضرب معادله (۱۱) در عبارت نمایشی زیر بیان کرد.

$$\exp\left(-\frac{t}{T}\right) \quad (14)$$

که در آن

$$t = \frac{x}{u}$$

t: زمان سفر

T: اندازه - زمان

اندازه - زمان برای رسوبگذاری خشک را، می‌توان بصورت زیر بیان نمود [۳]:

$$T_d = \frac{\Delta h}{V_d} \quad (15)$$

Δh : ضخامت توده هوای آلوده قائم

V_d : سرعت رسوبگذاری

در رسوبگذاری خشک، بلافاصله در فاصله پایین دست باد امشین اتفاق نمی‌افتد. [۳] پیشنهاد نمود که معادله (۱۱) را در فاصله x_d پایین دست باد بکار ببریم:

$$x_d = \frac{H_e}{2\sigma_z} \quad (16)$$

که در آن

H_e : طول موثر توده هوای آلوده

بطور مشابه، اندازه - زمان برای رسوبگذاری تر بصورت زیر بیان می‌شود:

$$T_w = \frac{3.6 \times 10^6 P_L}{S_r P_R} \quad (17)$$

که در آن

P_L : ضخامت لایه بارش، ($\cong 4000$ m)

S_r : ($\cong 4.2 \times 10^5$)

P_R : نرخ بارش mm/h

اندازه - زمان برای تبدیل شیمیایی به نوع آلوده کننده (آلی است یا غیر آلی)، دما، حلالیت گازی بستگی دارد. مدلسازی کلی آلودگی هوا برای آلوده کننده‌های پایدار سودمند می‌باشد، اما بیشتر آلوده کننده‌های هوا واکنش‌زا هستند. اندازه - زمان برای تبدیل SO_2 حدوداً ۲۴ ساعت می‌باشد.



از مدل‌های Gaussian میتوان انتگرال مکانی گرفت تا تاثیرات جاده (ترافیک بزرگراه)، مساحت (ساختمانهای صنعتی) و منابع حجمی را شبیه‌سازی نمود. هر چند این انتگرال ممکن است بجای اینکه تحلیلی باشد عددی صورت گیرد. انتشار اضافی آلودگی ایجاد شده توسط ساختمانها در بسیاری از برنامه‌ها با تغییر σ_y , σ_z بصورت زیر گنجانده شده است:

$$\sigma_{yw} = \left(\sigma_y^2 + \frac{k_1 A}{\pi} \right)^{1/2} \quad (18)$$

$$\sigma_{zw} = \left(\sigma_z^2 + \frac{k_1 A}{\pi} \right)^{1/2} \quad (19)$$

مدل Gaussian را می‌توان طوری تعدیل نمود تا پروفیل‌های Fanning و Fumigation را شامل شود. [3] بنابراین Fanning یک انتشار قائم آهسته طی شرایط ثابت می‌باشد و بوسیله معادله (۱۱) همراه با یک دستگاه گیرنده در سطح زمین نشان داده می‌شود بنابراین $\sigma_z \gg \sigma_y$. همچنین Fumigation اختلاط شتابدار پایین رو یک توده هوای آلوده است که در بالا بوسیله اینورژن پایدار ارتفاع h_i محدود شده باشد. از معادله (۱۱) روی ارتفاع Z انتگرال می‌گیریم و توده هوای آلوده بطور یکنواخت روی این ارتفاع h_i توزیع می‌شود.

$$C = \frac{Q}{(2\pi)^{1/2} u h_i Q_y} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \quad (20)$$

۶. مدل‌های فتوشیمیایی

آلودگی فتوشیمیایی در نتیجه اندرکنش بین روشنایی خورشید هواشناسی و نرخ نشر اولیه اکسیدهای نیتروژن و هیدروکربنهای واکنش‌زا بوجود می‌آید. از مدل‌های فتوشیمیایی در مناطق شهری دود گرفته استفاده می‌شود. این مدلها باید مبین واکنشهای شیمیایی شامل تخلیه آب شیمیایی و رسوبگذاری باشد. این پیچیدگی مضاعف با آزمایش معادله انتشار اتمسفری با وسایلی جهت واکنشها، منابع و مصارف نشان داده می‌شود. مدل‌های جعبه‌ای و مدل‌های Gaussian با وجود اینکه قادر به بیان یک دامنه وسیع از هندسه منابع و شرایط مرزی می‌باشد. اما از نظر کاربرد با توجه به آلوده کننده های غیر پایدار و فتوشیمیایی محدود می‌باشند. انتشار اتمسفری بصورت معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی (۲۱) بیان می‌گردد. [۴]

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = \nabla \cdot (\bar{u} C_i) = -\nabla \bar{q}_i + R_i + S_i \quad (21)$$

که در آن

C_i : غلظت متوسط زمانی ماده شیمیایی نوع i ام

\bar{u} : سرعت برداری باد

R_i : نرخ تولید شیمیایی یا تخلیه آب نوع i ام

S_i : نرخ نرخ نشر نوع i ام از منابع

q_i : شار جرمی نوع i ام بخاطر انتشار گردابی

i : تعداد انواع ماده شیمیایی

بسط معادله (۲۱) بصورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} + u \frac{\partial C_i}{\partial x} + v \frac{\partial C_i}{\partial y} + w \frac{\partial C_i}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(K_x \frac{\partial C_i}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(K_y \frac{\partial C_i}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(K_z \frac{\partial C_i}{\partial z} \right) + R(C_1, C_2, C_3, \dots, C) + S_i \quad (22)$$



بناری با استفاده از معادله (۲۲) یک مدل ریاضی آلودگی فتوشیمیایی ارائه داد و آنرا بصورت عددی حل کرد. [2] برای این منظور ابتدا منطقه مورد نظر را بصورت شبکه‌ای که دارای بعد Δx ، Δy و Δz می‌باشد، تقسیم کرد. او از این مدل برای لس آنجلس (با مساحت شبکه 100×400 km) با تقسیم شبکه به صورت $10\text{km} \times 10\text{km}$ استفاده نمود. مدلی که او ارائه داد بر مبنای موارد زیر بود:

- معادله پیوستگی
- انتقال ماده آلوده
- انتشار ماده آلوده بصورت آشفته صورت می‌گیرد
- واکنشهای شیمیایی
- نرخ نشر منبع
- فرایندهای برداشت سطحی
- سه بعدی بودن
- مسیر لاگرانژی

این مدل تراز ازن و دی‌اکسید کربن را برای یک بازه زمانی در منطقه جنوب کالیفرنیا بطور مناسب پیش‌بینی کرد. همچنین یادآور می‌شویم که در این مدل واکنشهای شیمیایی در مدل‌های فتوشیمیایی توسط مکانیسم سینتیک بیان می‌شود. در اتمسفر یک شهر، صدها هیدروکربن مختلف وجود دارد از این رو برای یک مدل سینتیک کامل لازم است که n نوع فاز مجزا $(R_i, i = 1, 2, 3, \dots, n)$ را بطور همزمان در m گام واکنش اولیه دخالت دهند. [5]

۷. مدل‌های USEPA

مدل‌های کیفیت هوا که از نظر USEPA (سرویس اطلاعات صنعتی آمریکا) مقدم‌ترند، مدل ISC، مدل Calino و مدل UAM می‌باشند.

۱-۲ مدل ISC

مدل ISC یک مدل توده هوای آلوده Gaussian پایدار می‌باشد، که مدلی پیچیده برای منبع صنعتی به حساب می‌آید که برای ارزیابی غلظت آلوده کننده‌های پایدار از منابع مختلف وابسته به منابع صنعتی استفاده می‌شود. این مدل می‌تواند مبین ته‌نشینی و رسوبگذاری خشک ذرات، منابع خطی، سطحی و حجمی، منابع مجزای نقطه‌ای و اختلاف توپوگرافی زمین باشد. این مدل برای فواصل کمتر از 50km مناسب می‌باشد.

۲-۲ مدل Calino

مدل Calino بعنوان مدلی برای تعیین غلظت آلوده کننده‌های پایدار حاصل از ترافیک بزرگراهها بکار می‌رود. مدل Calino مدل پایدار Gaussian می‌باشد که برای توپوگرافی‌های غیر پیچیده بکار می‌رود. باد با هر جهتی که بوزد، جهت‌یابی بزرگراه یا گیرنده موقعیت، ممکن می‌باشد. غلظت‌های ذره‌ای نیز می‌تواند با متوسط زمانی ۱ تا ۲۴ ساعت مدل می‌شوند.

۳-۲ مدل UAM

این مدل یک مدل سه‌بعدی می‌باشد که آن را برای تجزیه و تحلیل آلودگی و تعیین غلظت آلودگی در شهرها بصورت عددی با توجه به شرایط اولیه و شرایط مرزی، بکار می‌برند که در واقع همان حل عددی معادلات انتشار و انتقال غلظت آلودگی در شهرها می‌باشد به همین علت به مدل شهری معروف می‌باشد. مدل این قابلیت را دارد که سینتیک فتوشیمیایی آلوده کننده‌های واکنش‌زا نظیر SO_2 ، NO_2 ، NO_3 را مدلسازی نماید. این مدل برای مناطق شهری مجزا و زمانهای متوسط یک ساعته مناسب می‌باشد.

۸. نتیجه‌گیری

موضوع کیفیت هوا و آثار جبران‌ناپذیر ناشی از آلودگی وحشتناک آن به ویژه در شهرهای بزرگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. آسیب‌ها و بیماری‌های بوجود آمده از آلاینده‌های هوا منجر به صرف هزینه‌های سنگین درمانی و مرگ و میر می‌گردد و آثار زیان‌بار اقتصادی در پی دارد که موجب هدر رفتن سرمایه‌های ملی می‌شود. از این رو اجرای برنامه‌های کاهش آلودگی هوا از طریق جایگزینی با انرژی‌های پاک و تجدید پذیر و اولویت‌بندی اجرای این طرح‌ها بر حسب مناطق پرخطر ضروری است.

با توجه به آلودگی شدید هوای شهرهای بزرگ ایران و آثار و مشکلات جبران‌ناپذیر ناشی از آن و اهمیت ویژه‌ای که این موضوع در سطح ملی دارد، متأسفانه هنوز هیچ کار علمی و کاربردی، دقیق، سنجیده و جدی در جهت طراحی و اجرای روش‌های دقیق مدلسازی هوا انجام نگرفته است. این در حالی است که در بسیاری از مناطق شهری دنیا نظیر لس‌آنجلس، دارای ظرفیت‌های مدلسازی دقیق هوا می‌باشند. لذا شایسته است سازمان محیط



زیست و سایر متولیان امر در کنار برنامه‌ریزی‌ها و سیاست‌های فعلی و با مدنظر قرار دادن اقدامات جدی و سریع پیشگیری از آلودگی بیشتر هوا، به اعمال دانش مدلسازی کیفیت هوا در پروژه‌ها با توجه به آخرین پیشرفت‌ها و تجربیات مراکز تحقیقاتی کشورهای متری به طور جدی اهتمام ورزند.

۷. مراجع

1. Szepesi, D.J. (1989) *Compendium of Regulatory Air Simulation Models*, Academic Kiado, Budapest.
2. Gifford, E.A. S.R. Hanna (1974). *Modeling urban air pollution*, Atmospheric Environment, 8, 870-871.
3. Zenetti, P.(1990) *Air pollution Modeling. Theories, Computational Methods and Available software*, Van Nostrand Reinhold, New York.
4. Bibbero, R. and J.S. Young (1974) *Systems Approach to Air pollution Modeling*, John wiley, New York.
5. Tanji, K.K. (1994) *Hydro chemical modeling, Class Notes, Land Air and water Resources*, University of California at Davis.