



بررسی مدل مناسب مدلسازی پراکنش آلودگی هوا در راستای دستیابی به توسعه پایدار

سید عباس جزایری^۱، محمدجواد براتی^۲، فاطمه فلاحتی^۳

۱- رئیس پژوهشکده و مرکز جامع علمی کاربردی سوانح طبیعی

۲- کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS دانشگاه شهید بهشتی

۳- کارشناس ارشد اقلیم شناسی دانشگاه تربیت معلم

barati_pm@yahoo.com

چکیده

نخستین گام برای دست یابی به اهداف توسعه صنعتی و غیر صنعتی سالم و پایدار، شناسایی پیامدهای گوناگون اینگونه فعالیتها از جمله آلودگی هوا می باشد. آنچه اهمیت آلودگی هوا را بیشتر می سازد، نقش هوا به عنوان حیاتی ترین ماده برای ادامه زندگی انسان، آثار گوناگون و غالباً جبران ناپذیر آلاینده ها بر سلامت انسان و محدود بودن توانایی بشر برای کاهش و کنترل آلودگیهای هوا است. به منظور بررسی اثر کارخانه های صنعتی بر کیفیت هوا و در نتیجه سلامتی افراد ساکن در محیطهای شهری و روستایی اطراف آنها لازم است که چگونگی انتشار آلودگیهای ناشی از گاز و ذرات معلق از این صنایع بررسی شود.

ابزار لازم جهت چنین مطالعه ای شامل اندازه گیری های متعدد و همچنین استفاده از ابزاری تحلیلی برای تعمیم این اندازه گیری ها به کل منطقه می باشد. لذا مدل سازی ریاضی برای پیش بینی نحوه انتشار آلاینده ها لازم و ضروری است. هدف از این پژوهش بررسی و انتخاب بهترین روش مدل سازی و نرم افزار متناسب با هدف بررسی انتشار گاز از یک یا چند دودکش کارخانجات با توجه به اطلاعات اندازه گیری شده می باشد. در نهایت پس از بررسی دو مدل ADMS و ISC/AERMOD به عنوان دو مدل برتر پیشنهاد می شوند.

کلمات کلیدی: مدل پراکنش، شبیه سازی دینامیک، مدل های آزمایشی

۱. مقدمه

به منظور بررسی اثر کارخانه های صنعتی بر کیفیت هوا و در نتیجه سلامتی افراد ساکن در محیطهای شهری و روستایی اطراف آنها لازم است که چگونگی انتشار آلودگیهای ناشی از گاز و ذرات معلق از این صنایع بررسی شود. ابزار لازم جهت چنین مطالعه ای شامل اندازه گیری های متعدد و همچنین استفاده از ابزاری تحلیلی، برای تعمیم این اندازه گیری ها به کل منطقه می باشد. لذا مدل سازی ریاضی برای پیش بینی نحوه انتشار آلاینده ها لازم و ضروری است.

هدف از این پژوهش بررسی و انتخاب بهترین روش مدل سازی و نرم افزار متناسب با هدف بررسی انتشار گاز از یک یا چند دودکش کارخانجات با توجه به اطلاعات اندازه گیری شده می باشد. در مدل های پراکنش، از معادلات ریاضی توصیف کننده اتمسفر، پراکنش و فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی موجود در دود برای محاسبه غلظت در نقاط مختلف استفاده می گردد. متأسفانه فقط در تعداد اندکی از مطالعات انجام شده، اندازه گیری غلظت ذرات و گازها بطور همزمان انجام شده است. مدل های مربوط به شبیه سازی غلظت ذرات، از تلفیق ماژولهای دینامیک آئروسولها با مدل های پراکنش بدست می آیند. با اینکه بسیاری از مدلها مدعی مدلسازی پراکنش ذرات هستند، ولی بدلیل عدم تلقی مناسب از دینامیک ذره، نتایج آنها محدود به محاسبه جرم ذره (معمولاً PM_{2.5} و PM₁₀) بوده و قادر به محاسبه غلظت تعداد ذرات نمی باشند. تعدادی از مدل های محلی و منطقه ای وجود دارند که در آنها توجه گسترده ای به دینامیک آئروسولها شده است. بسیاری از این مدلها بصورت بسته های غیرتجاری بوده و با مدل های پراکنش موجود تلفیق شده اند تا قادر به مدلسازی تغییرات غلظت تعداد ذرات با اندازه های مختلف باشند.

^۱ رئیس پژوهشکده و مرکز جامع علمی کاربردی سوانح طبیعی

^۲ مدرس پژوهشکده سوانح طبیعی

^۳ مدرس پژوهشکده سوانح طبیعی



۲. مروری بر مدل‌های پراکنش در مقیاس شهری و منطقه ای

مدل پراکنش شامل یک برنامه کامپیوتری است که با پیاده سازی معادلات ریاضی ذکر شده در فصول قبل، چگونگی پخش و غلظت آلاینده های مختلف را در جو تعیین می کند. در اختیار داشتن چنین مدل‌هایی به سازمانهای دولتی دست اندر کار کنترل آلودگی هوا کمک می کند تا سیاستهای مدیریتی مناسبی را در آینده اتخاذ کنند. همچنین با استفاده از چنین مدل‌هایی می توان در مورد صنایعی که در حال حاضر کار می کنند یا قرار است در آینده ساخته شوند مشخص کرد که آیا استانداردهای زیست محیطی مرتبط با آلودگی هوا را رعایت می کنند یا خیر.

ورودی مدل‌های پراکنش ذرات شامل موارد زیر است:

- اطلاعات هواشناسی شامل سرعت و جهت باد، میزان تلاطم در جو (کلاسهای پایداری)، دمای هوا و ارتفاع لایه های اختلاط و غیره

- پارامترهای گسیلی از منبع انتشار شامل: موقعیت مکانی، ارتفاع، قطر دودکشها و سرعت خروج گاز از دودکش، دمای خروجی گاز و شار مواد.

- پستی و بلندیهای اطراف منبع انتشار

- موقعیت و ارتفاع و طول موانع و ساختمانهای در مسیر دود

مدل‌های پراکنش متعددی در مقیاس بزرگ وجود دارند که به منظور شبیه سازی دینامیک آئروسول در فضای شهری و مقیاس منطقه ای طراحی شده اند که دارای قابلیتها و محیطهای متفاوتی هستند. در ادامه تنها مدل‌هایی که توسط آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا ۱ تایید و استفاده شده اند به اختصار ذکر گردیده و در نهایت بهترین مدلها معرفی شده اند.

AERMOD: مدلی بر مبنای ساختار اغتشاش در لایه های مرزی اتمسفر و تغییرات در لایه های سطح زمین برای بررسی منابع انتشار نقطه ای، خطی و حجمی می باشد. این مدل وضعیت شهری و روستای و عوارض زمینی ساده یا پیچیده و اثر فروشویی ساختمانها و همچنین اثر نفوذ دود در لایه های بالایی جو و لایه اینورژن را در نظر می گیرد. این مدل از معادلات پراکنش گوسی برای شرایط جوی پایدار (اغتشاش کم) و معادلات غیر گوسی برای شرایط جوی غیر پایدار استفاده می کند. همچنین الگوریتمهای مربوط به ته نشینی خشک و تر در این مدل گنجانده شده اند.

ADMS-3: مدلی پیشرفته برای محاسبه غلظت آلاینده های منتشر شده از منابع نقطه ای، خطی و سطحی می باشد.

CALPUFF: مدلی برای بررسی پراکنش آلاینده ها در حالت غیر پایدار می باشد و اثر تغییرات فضایی-زمانی مربوط به پارامترهای هواشناسی در انتقال و تبدیلات شیمیایی آلاینده ها را اعمال می کند. این مدل را می توان برای مسافتهای دور از منبع آلاینده و همچنین عوارض زمینی پیچیده بکار برد.

BLP: مدلی پراکنش گوسی برای مدلسازی منابع انتشار صنعتی (خصوصاً آلومینیوم) که در آنها بالا رفتن دود و اثر فروشویی از منابع خطی مهم می باشد. این مدل در محیط MS-DOS اجرا می شود و بصورت مجانی می توان آن را تهیه کرد.

CTDMPLUS: مدلی برای عوارض پیچیده زمینی و شرایط غیر پایدار. مدل شامل الگوریتم اصلاح شده معادله گوسی پراکنش برای محاسبات مربوط به تمامی حالت‌های پایداری می باشد.

OCD: مدلی برای بررسی پراکنش آلودگی در مناطق ساحلی می باشد.

ADAM: این مدل شامل الگوریتم اصلاح شده از مدل ریاضی گوسی و جعبه ای می باشد و اثرات ترمودینامیکی، شیمیایی، انتقال حرارت و چگالش گاز را نیز بررسی می کند.

AFTOX: مدل پراکنش گوسی می باشد که برای حالت‌های پیوسته، پاف، مایع و گاز یا منابع نقطه ای و سطحی بکار می رود. این مدل در محیط MS-DOS اجرا می شود و بصورت مجانی می توان آنرا تهیه کرد.

ISC3: مدلی بر مبنای معادله گوس برای تعیین غلظت آلاینده ها در طیف وسیعی از آلاینده های موجود در یک مجتمع صنعتی می باشد. در این مدل می توان آلاینده های گسیلی از چندین منبع مختلف نقطه ای، سطحی و حجمی برای ته نشینی ذرات و اثر فروشویی را بررسی نمود.

ISC-AERMOD: مدلی بسیار پیشرفته با قابلیت‌های بالا که از تلفیق دو مدل ISC و AERMOD توسعه داده شده است.

SDM: مدل گوسی از پراکنش ذرات است که برای تعیین غلظت آلودگی منتشر شده از منابع نقطه ای نزدیک ساحل و در نزدیک سطح زمین استفاده می شود.

¹ (EPA)



۳. مدل‌های آزمایشی^۱

این مدل‌ها معمولاً پیش از اعمال یک مدل دقیق کیفیت هوا بکار می‌روند تا مشخص شود که آیا انجام مدل سازی دقیق لازم است یا خیر. در زیر تعدادی از این مدل‌ها آورده شده‌اند.

AERSCREEN: نسخه آزمایشی از AERMOD می‌باشد. این مدل غلظت را بدون نیاز به اطلاعات هواشناسی تخمین می‌زند که ممکن است از مقدار بدست آمده از AERMOD بیشتر یا برابر با آن باشد.

CTSCREEN: نسخه آزمایشی از CTDMPPLUS می‌باشد.

SCREEN3: نسخه آزمایشی از ISC3 می‌باشد. این مدل حداکثر غلظت را در لایه هوای روی سطح زمین محاسبه می‌کند.

SCREEN View: نسخه تحت Windows مدل SCREEN 3.

VALLEY: مدلی آزمایشی برای تخمین گسیل آلاینده‌ها از ۵۰ منبع نقطه‌ای و سطحی است که در بازه زمانی ۲۴ ساعته یا یک ساله در حالتی که عوارض زمینی پیچیده باشند بکار می‌رود.

RTDM3.2: مدلی گوسی برای تخمین غلظت آلاینده‌ها در لایه هوای روی سطح است.

ADMS SCREEN: نسخه آزمایشی ADMS-3 است.

در میان مدل‌های فوق تنها آنهایی که پس از سال ۲۰۰۰ معرفی شده‌اند و قابلیت کار در سیستم عامل Windows را دارا هستند به عنوان گزینه‌های منتخب معرفی شده‌اند و برخی از قابلیت‌های آنها بیشتر معرفی می‌گردد.

۴. مدل‌های منتخب

CALPUFF Pro: یک مدل چند لایه حالت ناپایدار برای پراکنش توده دود^۲ است که به منظور شبیه‌سازی پراکنش گازها و ذرات با استفاده از داده‌های هواشناسی متغیر (از لحاظ زمانی و مکانی) بر مبنای معادلات تشابه، تلاطم، قدرت انتشار، تبدیل و حذف، طراحی گردیده است. این مدل قادر به شبیه‌سازی چهار نوع منبع مختلف می‌باشد: نقطه‌ای، خطی، حجمی و سطحی. شبیه‌سازی با استفاده از فرمول‌بندی جامعی از توده دود و در نظر داشتن اثرات صعود دود، نفوذ جزئی، نیروی شناورسازی و مومنتم در صعود دود، اثر دودکش و اثر ساختمان به کمک هر دو روش Schulman-Scire (همکاران، ۲۰۰۰) و Huber-Snyder انجام می‌گیرد. این مدل، ته‌نشست خشک را به کمک روش مقاومت با استفاده از ورودیهایی برای سرعت‌های ته‌نشینی و ته‌نشست تر را با استفاده از روش ضریب تنظیم^۳ بصورت تابعی از شدت و نوع بارش، محاسبه می‌کند. تبدیلات شیمیایی درون دود بر پایه روش MESOPUFF استوارند. این شیوه، یک مکانیزم شیمیایی کاذب مرتبه اول برای SO₂ بوده و توانایی در بر داشتن سیکل‌های روزانه نرخ‌های تبدیل تعریف شده توسط کاربر را داراست. بر اساس نتایج بدست آمده، مدل CALPUFF برای تخمین اثرات NO_x و SO₂ بر تشکیل PM ثانویه در فواصل کمتر از ۱۰ کیلومتر از منبع توصیه نمی‌شود. این مدل هیچگونه دینامیک ذره‌ای را شبیه‌سازی نمی‌نماید. این مدل محاسبات ساعتی غلظت گاز و ذره از منابع نشر چندگانه برحسب جرم ذره ارائه می‌کند ولی تراکم تعداد ذرات یا توزیع اندازه را نمی‌آزماید.

CALPUFF View: کلیه ویژگی‌های CALPUFF Pro را دارد علاوه بر اینکه از نظر ارتباط با کاربر قابلیت‌های بیشتر است. ویژگی‌های

این مدل شامل موارد زیر است:

- قابلیت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای ابرها

- کاربرد بسیار ساده‌تر از نسخه قدیمی CALPUFF

- استخراج خودکار اطلاعات و نقشه‌های مربوط به عوارض زمینی هر منطقه دلخواه از اینترنت

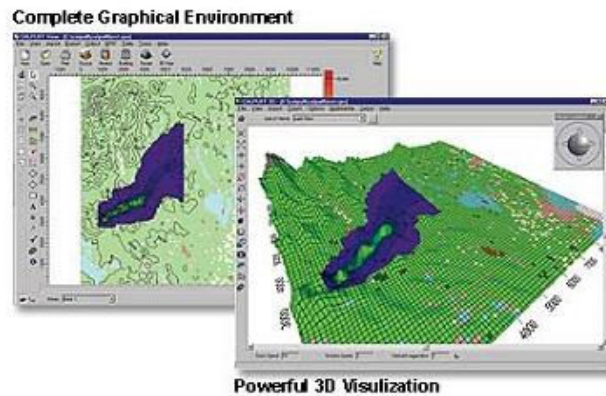
- مشاهده نتایج بصورت گرافیکی و انیمیشن با قابلیت زوم، چرخش و پرینت

- قابلیت اتصال به GIS

¹ (Screening models)

² Puff

³ Scavenging



شکل (۴-۱): نتایج و تصاویر دوبعدی و سه بعدی در CALPUFF View

CALPUFF: در یک سری از مطالعات جهت بررسی پراکنش گاز بکار برده شده است (US EPA، ۱۹۹۸؛ Elbir، ۲۰۰۳) و اخیراً نیز جهت شبیه سازی یک حادثه آلودگی ذره ای که در طی زمستان در Christchurch رخ داد استفاده گردید (Barna و Gimson، ۲۰۰۲). اعتبار سنجی های انجام شده در دو مطالعه، همبستگی خوبی را نشان دادند. همچنین غلظتهای ساعتی پیش بینی شده PM10 توافق مناسبی با غلظتهای اندازه گیری شده در طی یک هفته از زمستان در Christchurch داشتند (شاخص توافق در محدوده ۰/۶۷ تا ۰/۸۷). در مطالعه ای مربوط به غبار ناشی از منابع فرسایش در حوزه آبریز Mexico City سطوح متفاوتی از توافق میان داده های اندازه گیری و مدلسازی شده مشاهده گردید (Villasenor و همکاران، ۲۰۰۳). در مطالعات دیگری مدل CALPUFF برای پیش بینی غلظتهای SO2 منتشر شده از نیروگاهها استفاده شد و توافق قابل قبولی با غلظتهای آلاینده در مطالعات اعتبارسنجی نشان داد و اختلافات نیز در نتیجه منابع ناشناخته بوجود آمد. به هر حال بدلیل محدودیتهای ذاتی، مدل CALPUFF برای محاسبه بازه های زمانی کمتر از یک ساعت یا در جایی که پراکنش به میزان زیادی متأثر از تلاطم باشد (مثلاً در یک محیط شهری) توصیه نمی شود.

AERMOD: یک مدل دود گوسی برای حالت پایدار نزدیک به سایت ۱ است که بر مبنای ساختار و مفاهیم تلاطم لایه مرزی سیاره ای ۲ استوار می باشد. این مدل قادر به شبیه سازی منابع چندگانه آلاینده از انواع مختلف نقطه ای، سطحی و حجمی می باشد. در لایه مرزی ثابت، توزیع در هر دو جهت افقی و عمودی، گوسی فرض می شود. اگرچه در لایه مرزی منتقل شونده (CBL^۳)، توزیع عمودی به کمک یک تابع چگالی احتمال دوگوسی توصیف می گردد، ولی در توزیع افقی دوباره گوسی در نظر گرفته می شود. AERMOD قادر است دودهای شناور را شبیه سازی نماید. بطور کلی مدل های گوسی، محدود به جریانهای عبوری از سطوح ساده اند، اما AERMOD روش ساده ای جهت تقریب زدن جریانهای عبوری از سطوح دارای پستی و بلندی بکار می برد (Snyder و همکاران، ۱۹۸۵).

اتمسفر توسط یک سری روابط سنجش تشابه ۴ و فقط با استفاده از یک اندازه گیری از سرعت باد سطحی، جهت باد و دما برای پیش بینی پروفیل های عمودی سرعت و جهت باد، دما، تلاطم و گرادیان دما، توصیف می گردد. این مدل تنشست خشک یا تر گازها را در بر نمی گیرد و فقط رفتار ساده تنشست خشک را با استفاده از یک الگوریتم بازتاب در نظر می گیرد.

با اینکه AERMOD برای شبیه سازی پراکنش ذره ای طراحی شده است، ولی در حال حاضر فقط برای تحقیقات پراکنش فاز گازی استفاده می شود. در یک مطالعه فاز گازی، توانایی این مدل در شبیه سازی پراکنش یک ردیاب خنثی در یک محیط شهری بررسی شده است. Venkatram میزان نشر از یک منبع که بر بالای یک ساختمان واقع بود را مدلسازی نمود (Venkatram، ۲۰۰۳). او مشاهده کرد که میزان غلظت شبیه سازی شده در مقایسه با بیشترین مقدار غلظت اندازه گیری شده، بزرگتر و در مقایسه با کمترین میزان غلظت اندازه گیری شده، کوچکتر بود. ولی در مقایسه با مقادیر میانی، توافق خوبی نشان داد. همچنین میزان توافق خروجیهای مدل با مقادیر اندازه گیری شده، برای گیرنده های نزدیک به منبع، ضعیف و در نقاط دورتر مناسب تر بود. سایر مشخصات و قابلیت های AERMOD عبارتند از:

- شبیه سازی نشر آلاینده از منابع صنعتی ثابت تا فواصل حدود ۵۰ کیلومتر

¹ Near field

² Planetary boundary layer

³ Convective boundary layer

⁴ Similarity scaling



اولین کنفرانس ملی راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار در بخشهای کشاورزی، منابع طبیعی و محیط زیست

-نوع رها سازی از منبع: سطحی، نزدیک به سطح، منابع مرتفع

-موقعیت منبع: شهری یا روستایی

-نوع دود: پیوسته، دودهای شناور

-اثرات ساختمانها: توسط الگوریتمهای فروشویی PRIME

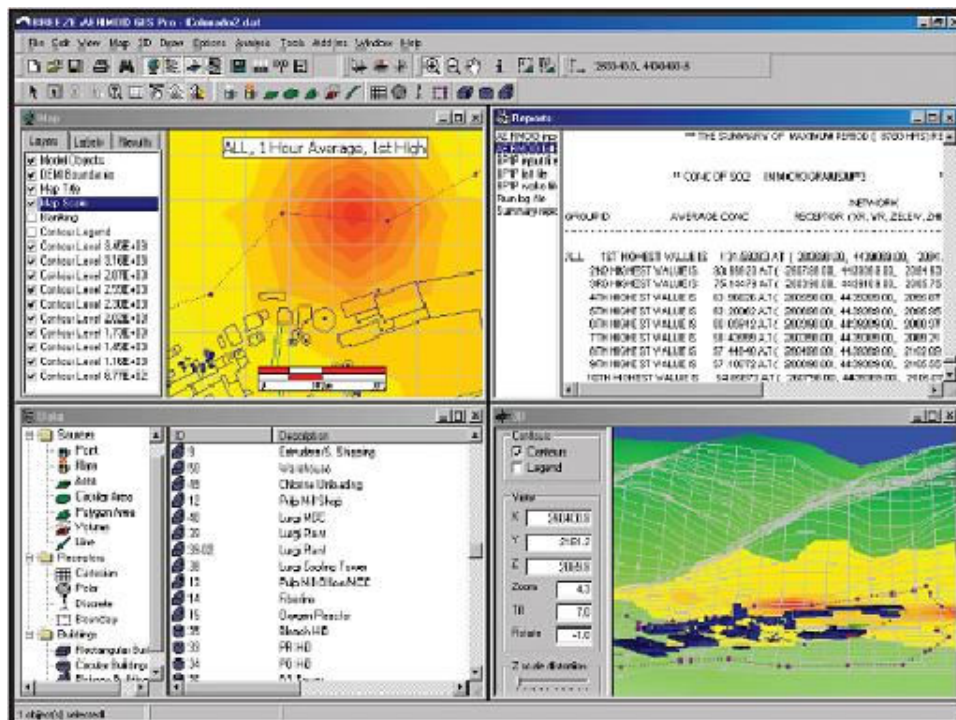
-سطوح ارتفاعی داده‌های هواشناسی: این داده‌ها را از ارتفاعهای چندگانه نیز دریافت می‌نماید

-این مدل تحت محیط MS-DOS بوده و قابلیت‌های گرافیکی بالایی ندارد.

مدل AERMOD/ISC جهت ارزیابی اثرات نشر از منابع صنعتی گوناگون بکار برده می‌شود و حاوی نسخه‌های پیشرفته AERMOD (بهمراه امکانات PRIME مربوط به فروشویی ساختمانها) و مدل پراکنش ISC می‌باشد. این مدل غلظت‌های آلاینده نقطه‌ای، خطی، سطحی، حجمی و منابع شعله‌ای^۱ با مقادیر انتشار مختلف و در انواع رژیم‌های عوارضی زمین، شبیه‌سازی می‌نماید این مدل دارای نسخه‌های مختلفی به شرح زیر می‌باشد:

AERMOD/ISC View: یک سیستم شبیه‌سازی کارآمد برای متخصصینی است که به توانایی پردازش داده‌های خام احتیاج دارند. این نسخه بطور کامل نرم‌افزارهای ISC و AERMOD را (با یا بدون مدل PRIME) در بر دارد. این نرم افزار همچنین می تواند اطلاعات مربوط به ساختمانها را از GIS یا CAD فراخوانی کند.

AERMOD/ISC GIS Pro: برای متخصصینی طراحی شده که نیاز به انعطاف‌پذیری مدل در ارتباط با کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، سیستم تصویر نقشه‌ها و انواع نقشه‌ها دارند. این مدل دربردارنده کلیه ویژگیهای سیستم AERMOD/ISC View به اضافه قابلیت اتصال با GIS، قابلیت تحلیل جمعیتی، روالهای چندگانه کانتوربندی به کمک نرم‌افزار Surfer، امکان وارد کردن فایل‌های Arc View و قابلیت‌های عملیات گرافیکی روی عناصر موجود است.



شکل (۴-۲): داده‌های ورودی، نتایج و تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی AERMOD/ISC GIS Pro

¹ Flare

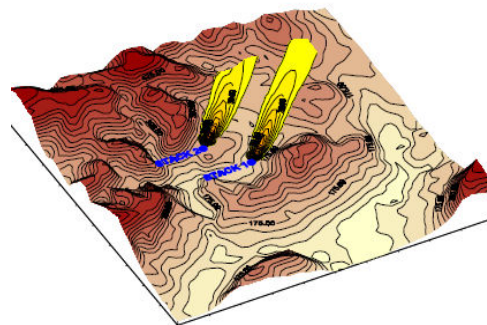
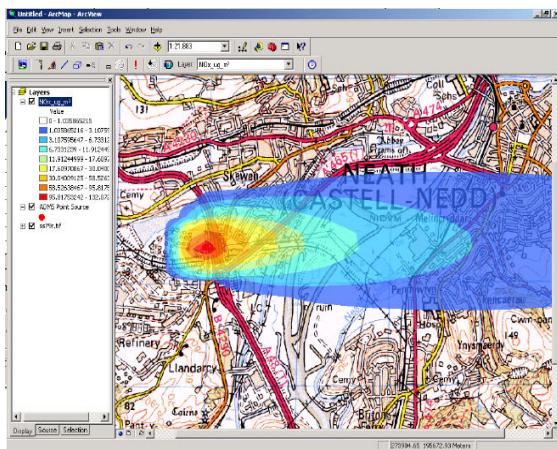


سایر ویژگیهای مدل عبارتند از:

- یک پردازنده پیشرفته برای اطلاعات هواشناسی جهت محاسبه پارامترهای لایه مرزی سیاره‌ای (PBL)
- فرمول‌بندی توسعه یافته پراکنش که PBL و متغیرهای وارونگی و پایدار را در نظر می‌گیرد.
- در نظر گرفتن صعود و نفوذ دود در وارونگیهای مرتفع و در نظر گرفتن اثرات updraft و downdraft که در شرایط ناپایدار رخ می‌دهد.
- محاسبه پیشرفته پروفیل‌های عمودی باد، تلاطم و دما

ADMS: یک مدل توسعه‌یافته جهت شبیه‌سازی پراکنش ذرات و گازهای شناور می‌باشد (Carruthers و همکاران، ۱۹۹۴). این مدل ساختار لایه مرزی را به کمک روش سنجش تشابه، همانند روش Berkowicz و همکاران (۱۹۸۶) پیش‌بینی می‌نماید. این مدل از یک روش گوسی با توزیع گوسی نرمال در شرایط پایدار و خنثی استفاده می‌نماید، ضمن اینکه پراکنش عمودی توسط دو توزیع گوسی متفاوت تقریب زده می‌شود. نوع نگرش به انعکاس دود از سطح زمین شبیه به سایر مدل‌های گوسی می‌باشد. ADMS صعود دود را بر اساس اختلافات دمایی بین اتمسفر و دود انتشار یافته و جریان مونتگم افقی و عمودی و همچنین امکان کشتش دود و رهایی از میان شرایط وارونگی در بالای لایه مرزی، محاسبه می‌نماید. تنشست خشک ذرات بصورت تابعی از تنشینی ثقلی و سرعت تنشینی با توجه به آئرودینامیک، لایه تحتانی و مقاومت‌های سطحی شبیه‌سازی می‌گردد. تنشست تر با استفاده از یک ضریب فروشویی بدست آمده از نرخ بارش، تقریب زده می‌شود. سایر ویژگیهای این مدل عبارتند از:

- انجام محاسبات مربوط به واکنشهای شیمیایی NOx و O3.
- رابط گرافیکی با کاربری آسان
- قابلیت اتصال به GIS
- قابلیت ارزیابی ریسک
- قابلیت نمایش خروجی بصورت ۲ و ۳ بعدی بر روی نقشه
- اثر انتشار هر نوع آلودگی از هر تعداد منابع نقطه‌ای، سطحی و حجمی



شکل (۴-۳): نتایج و تصاویر دوبعدی و سه‌بعدی در ADMS3

۴. نتیجه‌گیری

معیارهای انتخاب مدل مناسب جهت شبیه‌سازی شامل توانایی مدل در نحوه پخش ذرات از چند منبع نقطه‌ای با در نظر گرفتن ارتفاع، موقعیت جغرافیایی، مشخصات منابع انتشار دهنده از قبیل شکل، قطر و ارتفاع، سرعت خروج، دمای خروج و غیره و همچنین اطلاعات هواشناسی مانند جهت و سرعت باد، ضرایب پخش، کلاسه‌های پایداری و سایر پارامترهای جوی در مدل می‌باشد. این مدل می‌بایست قادر باشد نحوه انتشار آلاینده‌ها را با لحاظ نمودن تاثیرات ناشی از وجود موانع و ساختمان‌های موجود بر منابع پایین دست پیش‌بینی نماید، خطاهای کاربر در هنگام ورود اطلاعات را تشخیص دهد و به کاربر اعلام نماید، دارای قابلیت‌های گرافیکی جهت نمایش خروجی‌ها بوده و به نرم‌افزارهای GIS مرتبط شود. در بین این مدل‌های معرفی شده دو مدل ADMS و ISC/AERMOD به دلیل داشتن تمامی ویژگیهای فوق جهت مدل‌سازی آلودگی منتشر شده از کارخانجات پیشنهاد می‌گردند.



۵. مراجع

۱. Barna, M.G., Gimson, N.R., 2002. Dispersion modelling of a wintertime particulate pollution episode in Christchurch, New Zealand. *Atmospheric Environment* 36 (21), 3531–3544.
۲. Berkowicz, R., Olesen, J.R., et al., 1986. The Danish Gaussian air pollution model (OLM): Description, test and sensitivity analysis, in view of regulatory applications. In: De Wispelaire, V.C., Schiermeier, F.A., Gillani, N.V. (Eds.), *Air Pollution*
۳. Carruthers, D.J., Holroy, D.R.J., et al., 1994. UK-Adms—a new approach to modeling dispersion in the earths atmospheric boundary-layer. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 52 (1-3), 139–153
۴. Elbir, T., 2003. Comparison of model predictions with the data of an urban air quality monitoring network in Izmir, Turkey. *Atmospheric Environment* 37 (15), 2149–2157.
۵. Kaasik, M., Kimmel, V., 2003. Validation of the improved AEROPOL model against the Copenhagen data set. *International Journal of Environment and Pollution* 20 (1-6), 114–120
۶. Kumar A., Bellam K., Sud A., 1999. Performance of an Industrial Source Complex Model : Predicting long-term concentrations in an urban area, *Environmental Progress*, Vol. 18, No. 2.
۷. *Modeling and Its Application*. Plenum, New York, pp. 453–481.
۸. Schulman, L.L., Strimaitis, D.G., et al., 2000. Development and evaluation of the PRIME plume rise and building downwash model. *Journal of Air and Waste Management Association* 50, 378–390.
۹. Sharan, M., Yadav, A.K., et al., 1996. Plume dispersion simulation in low-wind conditions using coupled plume segment and Gaussian puff approaches. *Journal of Applied Meteorology* 35 (10), 1625–1631.
۱۰. Snyder, W.H., Thompson, R.S., et al., 1985. The structure of the strongly stratified flow over hills: dividing streamline concept. *Journal of Fluid Mechanics* 152, 249–288.
۱۱. Thomson, D.J., Manning, A.J., 2001. Along-wind dispersion in light wind conditions. *Boundary-Layer Meteorology* 98 (2), 341–358.
۱۲. US EPA, 1998. A Comparison of Calpuff Modeling Results to Two Tracer Field Experiments, <http://www.epa.gov/scram001/7thconf/calpuff/tracer.pdf>.
۱۳. Villasenor, R., Lopez-Villegas, M.T., et al., 2003a. A mesoscale modeling study of wind blown dust on the Mexico City Basin. *Atmospheric Environment* 37 (18), 2451–2462.
۱۴. Venkatram, A., 2003. Validation of Concentrations estimated from air dispersion modeling for source-receptor distances of less than 100 meters. Sacramento, California, California Air Resources Board, Research Division.