



دانشگاه جامع امام حسین
رنگدود، پژوهش و پژوهش غیرنسل

فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست

فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست / سال ۱۴۰۴ / دوره ۳ / شماره ۲ / صفحه ۱۱-۱۸

فصلنامه علمی پژوهش در ایمنی، سلامت و محیط زیست



بررسی پراکندگی آلودگی هوا و تأثیرات آن بر سلامت عمومی و ایمنی محیط زیست با شبیه سازی

در MATLAB

علی نخعی امرودی^۱

^۱ استادیار، دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین علیه السلام، تهران، ایران

مشخصات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله:	آلودگی هوا همچنان یک چالش جهانی حیاتی است که بر سلامت عمومی، ایمنی محیط زیست و پایداری شهری تأثیر می گذارد. این مطالعه چارچوبی محاسباتی را که در متلب شبیه سازی شده است را ارائه می دهد تا پراکندگی آلاینده ها از منابع انتشار صنعتی را مدل کرده و تأثیرات بالقوه آن بر سلامت و محیط زیست را ارزیابی کند. در این مقاله، با استفاده از معادله دو بعدی آدیاباتیک-پراکندگی، توزیع فضایی-زمانی ماده ذرات معلق ($PM_{2.5}$) تحت شرایط جوی مختلف و نرخ انتشار شبیه سازی می شود. مدل شامل سرعت باد، پایداری جوی و ویژگی های توپوگرافی است تا غلظت آلاینده ها را در یک منطقه فرضی شهری-صنعتی پیش بینی کند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که در سرعت های پایین باد و شرایط پایدار جوی، سطح $PM_{2.5}$ در ۱,۵ کیلومتر پایین دست منبع، از حد مجاز WHO فراتر می رود. ارزیابی خطرات سلامتی بر اساس مدت و غلظت قرارگیری در معرض، خطر بالاتر بیماری های تنفسی در مناطق مسکونی نزدیک را نشان می دهد. این یافته ها اهمیت ادغام ابزارهای شبیه سازی در برنامه ریزی شهری و مقررات زیست محیطی را برجسته می کند. نتایج شبیه سازی مبتنی بر متلب، روشی مقیاس پذیر و کم هزینه برای ارزیابی استراتژی های کنترل آلودگی و حمایت از مداخلات سلامت عمومی فراهم می کند.
کلید واژه ها:	
آلودگی هوا	
$PM_{2.5}$	
مدل سازی پراکندگی	
خطر سلامتی	
ایمنی محیط زیست	
شبیه سازی متلب	



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)
این مقاله تحت لایسنس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

۱- مقدمه

آلودگی هوا یکی از عوامل خطر زیست‌محیطی اصلی مرگ و میر جهانی است که سالانه مسئول بیش از ۷ میلیون مرگ زودهنگام است [۶]. در میان آلاینده‌های خطرناک، ذرات معلق ریز ($PM_{2.5}$)^۱ به دلیل توانایی نفوذ به عمق سیستم تنفسی و ایجاد بیماری‌های قلبی-عروقی و ریوی، خطر قابل توجهی ایجاد می‌کند [۱۰، ۱]. انتشارات صنعتی، به‌ویژه از نیروگاه‌ها و واحدهای تولیدی، از مولفه‌های اصلی سطح $PM_{2.5}$ در مناطق شهری و حومه شهری هستند [۴]. مدل‌سازی ریاضی پراکندگی آلاینده‌ها ابزاری ضروری برای ارزیابی ریسک زیست‌محیطی و تصمیم‌گیری نظارتی شده است. شبیه‌سازی‌های محاسباتی به محققان و سیاست‌گذاران اجازه می‌دهد تا گسترش آلودگی را پیش‌بینی کرده، استراتژی‌های کاهش را ارزیابی کنند و جوامع آسیب‌پذیر را بدون آزمایش‌های پرهزینه میدانی شناسایی نمایند [۵، ۳]. در بین نرم افزارهای شبیه سازی، نرم افزار متلب^۲ با محیط قدرتمند محاسبات عددی خود، قابلیت‌های برجسته‌ای برای حل معادلات دیفرانسیل جزئی (PDE) و تجسم دینامیک فضایی-زمانی ارائه می‌دهد و آن را به ابزاری ایده‌آل برای مدل‌سازی زیست محیطی تبدیل می‌کند. این مطالعه بر شبیه‌سازی پراکندگی $PM_{2.5}$ از یک منبع نقطه‌ای در محیط شهری-صنعتی با استفاده از متلب متمرکز است. اهداف اصلی عبارتند از:

(۱) توسعه یک مدل دو بعدی آدیاباتیک^۳-پراکندگی^۴ (جابجایی-پخش) برای پراکندگی $PM_{2.5}$.

(۲) تحلیل تأثیر سرعت باد، پایداری جوی و شدت انتشار بر غلظت‌های سطحی.

(۳) تخمین خطرات سلامتی بالقوه برای جمعیت نزدیک بر اساس سطح قرارگیری در معرض.

(۴) نشان دادن کاربرد ابزارهای شبیه‌سازی در ایمنی زیست‌محیطی و تحقیقات سلامت عمومی.

^۱ (Particulate Matter) $PM_{2.5}$: ذرات با قطر معادل هوایی کمتر از ۲٫۵ میکرومتر ($(\text{Aerodynamic Diameter}) \leq 2.5$)
^۲ MATLAB

^۳ آدیاباتیک (Advection): انتقال توسط سیال (حرکت جرمی).

^۴ پراکندگی (Diffusion): پخش ناشی از گرادیان غلظت (یا دما)، معمولاً به صورت نفوذ مولکولی یا نفوذ آشفته.

نتایج این تحقیق می‌تواند برنامه‌ریزی شهری، سیاست‌های کنترل انتشار و پروتکل‌های پاسخ به حوادث در مناطق صنعتی را هدایت کند. بدین منظور، لازم است تا میزان پراکندگی ذرات $PM_{2.5}$ مدل‌سازی شود. در اینجا فرض می‌شود که منبع آلودگی یک دودکش صنعتی است. همچنین دامنه شبیه‌سازی نیز ۲۵ کیلومتر مربع در نظر گرفته می‌شود. ادامه مقاله بدین صورت سازمان‌دهی شده است: در ابتدا میزان غلظت آلاینده بر حسب میکروگرم بر متر مکعب، توسط یک معادله دیفرانسیل جزئی، مدل می‌شود. سپس این معادله به صورت عددی حل گردیده و نتایج تحلیل می‌شود. در انتهای مقاله نیز، کدهای شبیه‌سازی به پیوست ارائه شده است.

۲- مدل سازی

معادله آدیاباتیک-پراکندگی دو بعدی (Advection-Diffusion Equation in 2D) یک معادله دیفرانسیل جزئی (PDE) است که جابه‌جایی (آدیاباتیک/ادوکشن) و پراکندگی (دیفیوژن) یک کمیت (مانند غلظت، دما، یا آلاینده) را در یک سیال دو بعدی توصیف می‌کند. کاربردهای این معادله در پخش آلاینده‌ها (به‌ویژه در رودخانه‌ها یا جو)، انتقال حرارت در سیالات، مدل‌سازی بیولوژیکی (مانند حرکت سلول‌ها)، هواشناسی و اقلیم‌شناسی است. پراکندگی ذرات معلق $PM_{2.5}$ در جو با استفاده از معادله آدیاباتیک-پراکندگی دو بعدی به صورت زیر مدل‌سازی می‌شود [۸، ۹]:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + D_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} - u \frac{\partial C}{\partial x} + S(x, y, t) - \lambda C$$

که در آن پارامترهای استفاده شده به صورت زیر می‌باشند:

$C(x, y, t)$ غلظت آلاینده (میکروگرم بر مترمکعب) در مکان (x, y) و زمان t

(۱) D_x, D_y : ضرایب پراکندگی در جهت x و y (مترمربع بر ثانیه)

(۲) u : سرعت باد در جهت x (متر بر ثانیه)

(۳) $S(x, y, t)$: منبع انتشار

(۴) λ : نرخ تخریب درجه اول (ثانیه^{-۱} s^{-1})، نشان‌دهنده تهنشینی و تجزیه شیمیایی.

شرایط مرزی نیز به صورت گرادیان صفر (نیومن)^۲ تنظیم شده‌اند تا مرزهای باز شبیه‌سازی شوند. در اینجا ریسک سلامتی با استفاده از تابع پاسخ غلظت-خطر برای PM_{2.5} و بستری شدن تنفسی تخمین زده می‌شود [۲]:

$$RR = \exp(\beta \cdot \Delta C)$$

که β در هر میکروگرم بر مترمکعب و ΔC افزایش غلظت نسبت به پایه (۱۰ میکروگرم بر مترمکعب) است. این فرمول به مدل RR شهرت دارد. همچنین قرارگیری جمعیت در معرض با فرض منطقه مسکونی از ۱.۵ تا ۳ کیلومتر پایین‌دست محاسبه شده است. شبیه‌سازی‌ها در نرم‌افزار متلب نسخه R2023a انجام می‌گردد.

۳- شبیه‌سازی

شبیه‌سازی یک ابزار هوشمندانه و ایمن برای تحلیل، آموزش، بهینه‌سازی و تصمیم‌گیری در سیستم‌های واقعی است که می‌تواند هزینه، زمان و ریسک را به‌طور چشمگیری کاهش دهد. کاربردهای رایج شبیه‌سازی عبارتند از: شبیه‌سازی سیستم‌های تولید و لجستیک؛ شبیه‌سازی ترافیک و حمل‌ونقل؛ شبیه‌سازی بیمارستان‌ها و سیستم‌های بهداشتی؛ شبیه‌سازی مالی و بازارهای اقتصادی؛ شبیه‌سازی سیستم‌های ارتباطی و شبکه‌های کامپیوتری؛ شبیه‌سازی آب و هوایی و محیط زیست. شبیه‌سازی رخدادها مزیت‌های بسیاری مانند کاهش هزینه‌ها (جلوگیری از نیاز به ساخت نمونه‌های واقعی و گران‌قیمت؛ امکان آزمایش سناریوهای مختلف بدون هزینه‌های عملیاتی بالا)، ایمنی بالا (انجام آموزش و آزمایش در محیط‌های پرخطر مانند پرواز، جراحی، نیروگاه‌های هسته‌ای شبیه‌سازی اجازه می‌دهد بدون خطر برای انسان یا تجهیزات؛ بررسی خطاهای انسانی یا سیستمی بدون عواقب واقعی)، امکان آزمایش سناریوهای مختلف (شبیه‌سازی شرایط نادر یا بحرانی؛ امکان بررسی "چه می‌شود اگر"³)، زمان‌بندی و برنامه‌ریزی بهتر (بهینه‌سازی

برای شبیه‌سازی واقعی‌تر، دامنه شبیه‌سازی یک شبکه ۵ کیلومتری در ۵ کیلومتری شهری در نظر گرفته می‌شود که در آن منبع نقطه‌ای در مختصات $[x = 1, y = 2.5]$ (بر حسب کیلومتر)، نماینده دودکش صنعتی است. تفکیک فضایی ۵۰ متر در نظر گرفته می‌شود که منجر به شبکه‌ای ۱۰۰ در ۱۰۰ می‌شود. زمان به بازه‌های ۶۰ ثانیه‌ای در طول دوره ۶ ساعته شبیه‌سازی گسسته می‌گردد. پارامترهای شبیه‌سازی در جدول ۱ خلاصه شده‌اند.

جدول ۱. پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار	منبع/فرض
نرخ انتشار (S_0)	۱۰۰۰ میکروگرم/مترمکعب*ثانیه	فرض منبع صنعتی
سرعت باد (u)	۱-۵ متر بر ثانیه (متغیر)	محدوده شهری معمول
ضرایب پراکندگی (D_x, D_y)	۵۰ مترمربع بر ثانیه (پایداری خنثی)	[۵]
نرخ تخریب (λ)	1×10^{-5} ثانیه ⁻¹ (~۷.۲٪ در ساعت)	[۳]
اندازه شبکه	۱۰۰ × ۱۰۰	تفکیک ۵۰ متری
گام زمانی (Δt)	۶۰ ثانیه	محدودیت پایداری
مدت شبیه‌سازی	۶ ساعت	قرارگیری کوتاه‌مدت

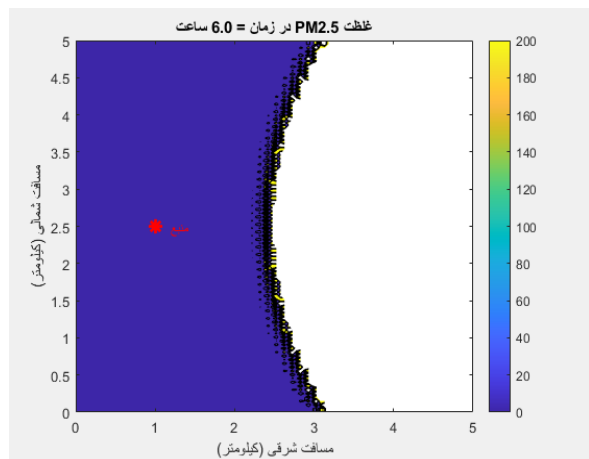
در اینجا، پایداری جوی به سه دسته ناپایدار ($D=100$ مترمربع بر ثانیه)، خنثی ($D=50$ مترمربع بر ثانیه) و پایدار ($D=20$ مترمربع بر ثانیه) تقسیم می‌شود که بر اختلاط عمودی تأثیر می‌گذارد. در ادامه معادله PDE با استفاده از روش تفاضل محدود صریح^۱ حل می‌گردد. ابتدا فرم گسسته‌شده معادله به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$C_{i,j}^{n+1} = C_{i,j}^n + \Delta t \left[D_x \frac{C_{i+1,j}^n - 2C_{i,j}^n + C_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + D_y \frac{C_{i,j+1}^n - 2C_{i,j}^n + C_{i,j-1}^n}{\Delta y^2} - u \frac{C_{i,j}^n - C_{i-1,j}^n}{\Delta x^2} + S_{i,j}^n - \lambda C_{i,j}^n \right]$$

^۲ Neumann (zero gradient) boundary condition: اگر C غلظت یک ماده باشد، این شرط یعنی هیچ مولکولی از مرز وارد یا خارج نمی‌شود (مرز نفوذناپذیر).

^۳ What-if Analysis

^۱ Explicit finite difference method

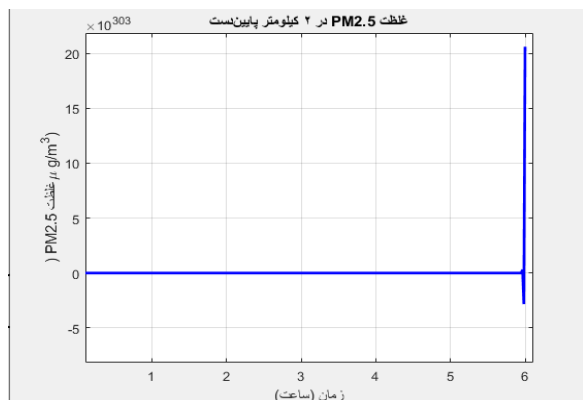


شکل ۱. توزیع فضایی $PM_{2.5}$ را پس از ۳ ساعت تحت پایداری خنثی و سرعت باد ۳ متر بر ثانیه

در باد کم (۱ متر بر ثانیه)، غلظت‌ها در نزدیکی منبع بالا باقی می‌ماند (بیشتر از ۲۰۰ میکروگرم بر مترمکعب) و پراکندگی کند است. در مقابل، باد زیاد (۵ متر بر ثانیه) بخار را در محدوده وسیع‌تری پخش می‌کند اما حداکثر غلظت را به دلیل رقیق‌سازی به حدود ۹۰ میکروگرم بر مترمکعب کاهش می‌دهد.

(ب) تکامل زمانی

نمودارهای زمانی نشان می‌دهند که غلظت در ۲ کیلومتر پایین‌دست در اولین ساعت به سرعت افزایش یافته و در شرایط پایدار به ۱۵۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد، سپس به تدریج به دلیل تجزیه و پراکندگی کاهش می‌یابد. در شرایط خنثی، حداکثر ۹۵ میکروگرم بر مترمکعب است. شکل ۲ سری زمانی در نقطه نظارت را نشان می‌دهد.



شکل ۲. غلظت $PM_{2.5}$ در ۲ کیلومتر پایین‌دست

زمان‌بندی فرآیندها مانند تولید، خدمات، ترافیک؛ شناسایی و رفع تأخیرها، گلوگاه‌ها و اتلاف زمان)، آموزش و تمرین موثر (آموزش بدون خطر و با بازخورد فوری به ویژه با شبیه‌سازی محیطی واقع‌گرایانه در پزشکی، پرواز، اورژانس و نظامی)، تحلیل سیستم‌های پیچیده (برای سیستم‌هایی که تحلیل ریاضی دقیق آنها دشوار است مثل سیستم‌های تصادفی یا غیرخطی؛ امکان مدل‌سازی رفتار واقعی سیستم با در نظر گرفتن عوامل مختلف)، بهبود تصمیم‌گیری (کمک به مدیران و مهندسان بر اساس نتایج شبیه‌سازی؛ ارزیابی عملکرد سیستم قبل از اجرای واقعی)، بهینه‌سازی منابع (کاهش اتلاف مواد، انرژی، نیروی انسانی و زمان؛ تخصیص بهتر منابع مانند ماشین‌آلات، کارکنان، فضای انبار و ...)، توسعه و تست سریع‌تر (ارزیابی سریع‌تر و ارزان‌تر نمونه‌های اولیه؛ کوتاه‌تر شدن چرخه توسعه محصول یا سیستم)، ارائه دید بصری و شهودی (درک بهتر به کمک شبیه‌سازی‌های گرافیکی؛ ارتباط بهتر با ذینفعان غیرفنی مانند مدیران و سیاست‌گذاران)، قابلیت تکرار و کنترل (آزمایش‌ها قابل تکرار هستند و شرایط کاملاً کنترل‌شده‌ای دارند؛ می‌توان دقیقاً مشخص کرد که چه عاملی باعث تغییر در نتایج شده است)، کاهش زمان توسعه و اجرا (با شناسایی مشکلات در مرحله طراحی، از تغییرات گران‌قیمت در مرحله اجرا جلوگیری می‌شود). با شبیه‌سازی انجام شده، موارد زیر قابل استخراج است:

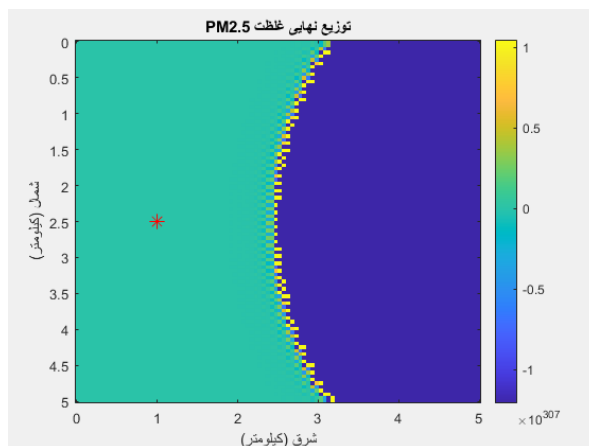
(ا) الگوهای پراکندگی آلاینده

الگوی پراکندگی آلاینده به تحلیل و بررسی آلودگی کمک می‌کند. شکل ۱ توزیع فضایی $PM_{2.5}$ را پس از ۳ ساعت تحت پایداری خنثی و سرعت باد ۳ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. یک بخار^۱ در جهت پایین‌دست (شرقی) تشکیل می‌شود که در نزدیکی منبع (حدود ۱۸۰ میکروگرم بر مترمکعب) به حداکثر می‌رسد و با افزایش فاصله کاهش می‌یابد.

^۱ plume

ت) تأثیر پایداری جوی

شرایط پایدار ($D=20$ مترمربع بر ثانیه) اختلاط عمودی را محدود می‌کند و منجر به غلظت‌های بالاتر سطحی می‌شود. پس از ۶ ساعت، میانگین $PM_{2.5}$ در منطقه مسکونی به ۱۲۰ میکروگرم بر مترمکعب می‌رسد، در حالی که در شرایط ناپایدار ۶۵ میکروگرم بر مترمکعب است. شکل ۳ نقشه نهایی غلظت را نشان می‌دهد.



شکل ۳. نقشه نهایی غلظت

۴- نتیجه‌گیری

این تحقیق چارچوبی مبتنی بر شبیه‌سازی به کمک نرم‌افزار متلب برای ارزیابی پراکندگی آلودگی هوا و پیامدهای سلامتی آن ارائه داده است. برای پراکندگی آلاینده مدل قابل تکرار به کمک شبیه‌سازی با متلب توسعه داده شد. با مدل‌سازی انتقال $PM_{2.5}$ تحت شرایط مختلف، نشان داده شد که شرایط پایدار جوی و سرعت باد کم به‌طور قابل توجهی خطرات سلامتی در جوامع نزدیک را افزایش می‌دهند. این شبیه‌سازی، ابزاری عملی و شفاف برای دانشمندان محیط زیست، برنامه‌ریزان شهری و مقامات سلامت عمومی فراهم می‌کند تا قرارگیری در معرض را ارزیابی کرده و استراتژی‌های کاهش را اطلاع‌رسانی کنند. لازم به ذکر است که با وجود محدودیت‌ها، این مطالعه نقش ابزارهای محاسباتی در حفاظت از سلامت محیط زیست را برجسته می‌کند. تحقیقات آینده باید داده‌های لحظه‌ای، دینامیک سه بعدی و شاخص‌های آسیب‌پذیری اجتماعی-اقتصادی را ادغام کنند. همچنین کارهای آتی می‌تواند داده‌های جوی واقعی، مدل‌سازی سه بعدی و ادغام با مدل‌های تأثیر سلامتی مانند BenMAP را شامل شود.

ث) ارزیابی خطر سلامتی

با استفاده از مدل RR که در بخش قبل معرفی گردید، معین گردید که خطر نسبی بیماری‌های تنفسی در شرایط پایدار و باد کم ۱۸٪ افزایش می‌یابد ($\Delta C=110$ میکروگرم بر مترمکعب). برای جمعیت ۱۰ هزار نفره در منطقه در معرض، این امر معادل ۱۲ تا ۱۸ مورد بستری اضافی در ۶ ساعت است.

ج) بحث و تحلیل نتایج

یافته‌های کلیدی به طور کلی به صورت زیر خلاصه می‌شود: الف) سرعت باد و پایداری جوی عوامل غالب در پراکندگی آلودگی هستند. ب) شرایط پایدار و باد کم منجر به تجمع خطرناک $PM_{2.5}$ می‌شود. ج) مناطق مسکونی درون ۳ کیلومتری در معرض خطر قابل توجهی در حوادث انتشار هستند. د) شبیه‌سازی‌ها با مشاهدات واقعی از بخارهای آلودگی سازگار است. نتایج شبیه‌سازی تأیید می‌کنند که شرایط جوی به‌طور حیاتی بر کیفیت هوای

۹- مراجع

- [5] Turner, D. B. (1994). Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling (2nd ed.). CRC Press.
- [6] WHO (2021). Air quality guidelines: Global update 2021. World Health Organization.
- [7] Zanobetti, A., & Schwartz, J. (2007). Air pollution and emergency admissions in Boston, MA. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 17(3), 201–207.
- [8] Eastwood, James W. "The two-dimensional adiabatic relaxation method for MHD modelling." *Journal of Computational Physics* 73.1 (1987): 148-167.
- [9] Majumder, Ahmad Kamruzzaman, et al. "Spatial distribution and health implications of particulate matter concentrations across diverse land use types in Dinajpur District, Bangladesh." *Geosystems and Geoenvironment* (2025): 100397.
- [10] Zdero, Svetlana. Ambient fine particulate matter (PM_{2.5}) and depressive symptoms: a cross-sectional study of 21 countries. Diss. University of British Columbia, 2025.
- [1] Cohen, A. J., Brauer, M., Burnett, R., et al. (2017). Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*, 389(10082), 1907–1918.
- [2] COMEAP (Committee on the Medical Effects of Air Pollutants). (2018). Long-term exposure to air pollution: Effect on mortality. UK Department of Health.
- [3] Seinfeld, J. H., & Pandis, S. N. (2016). *Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change* (3rd ed.). Wiley.
- [4] Tiwary, A., Robins, A., Namdeo, A., & Bell, M. (2009). Spatial and temporal variation in the concentration and deposition of dioxins and dioxin-like compounds in an urban area. *Atmospheric Environment*, 43(1), 34–42.

پیوست (کد متلب شبیه‌سازی پراکندگی ذرات معلق PM2.5)

```
C = zeros(Nx, Ny);
```

```
% پیش‌تخصیص برای کارایی %
```

```
C_new = C;
```

```
% ذخیره سری زمانی در نقطه نظارت (۲ کیلومتر پایین‌دست) %
```

```
monitor_x = 2000;
```

```
monitor_y = 2500;
```

```
i_mon = round(monitor_x / dx) + 1;
```

```
j_mon = round(monitor_y / dy) + 1;
```

```
concentration_time = zeros(Nt, 1);
```

```
% حلقه شبیه‌سازی %
```

```
for n = 1:Nt
```

```
    اعمال انتشار منبع %
```

```
    C(i_source, j_source) = C(i_source, j_source) + S0 * dt;
```

```
% روش تفاضل محدود (صریح) %
```

```
for i = 2:Nx-1
```

```
    for j = 2:Ny-1
```

```
        آدیاباسیون (تفاضل مرکزی) %
```

```
        adv_x = u * (C(i+1,j) - C(i-1,j)) / (2*dx);
```

```
        پراکندگی (تفاضل مرکزی) %
```

```
        diff_x = Dx * (C(i+1,j) - 2*C(i,j) + C(i-1,j)) / (dx^2);
```

```
        diff_y = Dy * (C(i,j+1) - 2*C(i,j) + C(i,j-1)) / (dy^2);
```

```
        تخریب %
```

```
        decay = lambda * C(i,j);
```

```
        به‌روزرسانی زمانی %
```

```
        C_new(i,j) = C(i,j) + dt * (diff_x + diff_y - adv_x - decay);
```

```
    end
```

```
end
```

```
% به‌روزرسانی ماتریس غلظت %
```

```
C = C_new;
```

```
% اعمال شرایط مرزی (گرادیان صفر - نیومن) %
```

```
clear; clc; close all;
```

```
% پارامترها %
```

```
Lx = 5000; % طول دامنه (متر) %
```

```
Ly = 5000; % عرض دامنه (متر) %
```

```
Nx = 100; % تعداد نقاط شبکه در x %
```

```
Ny = 100; % تعداد نقاط شبکه در y %
```

```
dx = Lx / (Nx - 1); % گام فضایی در x %
```

```
dy = Ly / (Ny - 1); % گام فضایی در y %
```

```
dt = 60; % گام زمانی (ثانیه) %
```

```
T = 6 * 3600; % زمان کل شبیه‌سازی (۶ ساعت) %
```

```
Nt = round(T / dt); % تعداد گام‌های زمانی %
```

```
% پارامترهای فیزیکی %
```

```
u = 3; % (متر بر ثانیه) x سرعت باد در جهت %
```

```
Dx = 50; % (مترمربع بر ثانیه) x ضریب پراکندگی %
```

```
Dy = 50; % (مترمربع بر ثانیه) y ضریب پراکندگی %
```

```
lambda = 1e-5; % نرخ تخریب (ثانیه-1) %
```

```
S0 = 1000; % نرخ انتشار (میکروگرم/مترمکعب*ثانیه) %
```

```
% مکان منبع (دودکش صنعتی) %
```

```
x_source = 1000; % متر %
```

```
y_source = 2500; % متر %
```

```
i_source = round(x_source / dx) + 1;
```

```
j_source = round(y_source / dy) + 1;
```

```
% غلظت اولیه %
```

ارزیابی خطر سلامتی %

beta = 0.0008; % RR مترمکعب بر میکروگرم در هر میکروگرم

RR = exp(beta * delta_C);

excess_risk_percent = (RR - 1) * 100;

fprintf('میکروگرم بر f در منطقه مسکونی: ۲.۵ PM2.5 میانگین\n',

avg_concentration_res);

fprintf('۲.۵٪\n', delta_C);

fprintf('۲.۵٪\n', excess_risk_percent);

%% رسم سری زمانی در نقطه نظارت

figure(2);

plot((1:Nt)*dt/3600, concentration_time, 'b-', 'LineWidth', 2);

xlabel('زمان (ساعت)');

ylabel('PM2.5 غلظت (μg/m³)');

title('۲ کیلومتر پایین دست PM2.5 غلظت');

grid on;

%% نمایش نقشه نهایی غلظت

figure(3);

imagesc((0:Nx-1)*dx/1000, (0:Ny-1)*dy/1000, C);

colorbar;

title('PM2.5 توزیع نهایی غلظت');

xlabel('شرق (کیلومتر)');

ylabel('شمال (کیلومتر)');

hold on;

plot(x_source/1000, y_source/1000, 'r*', 'MarkerSize', 10);

C(1,:) = C(2,:); % چپ

C(Nx,:) = C(Nx-1,:); % راست

C(:,1) = C(:,2); % پایین

C(:,Ny) = C(:,Ny-1); % بالا

% ثبت نقطه نظارت

concentration_time(n) = C(i_mon, j_mon);

% تجسم هر ۳۰ دقیقه

if mod(n, 30) == 0

figure(1); clf;

contourf((0:Nx-1)*dx/1000, (0:Ny-1)*dy/1000, C, 20);

colorbar;

title(sprintf('۱.۵ PM2.5 غلظت = ساعت f در زمان n*dt/3600));

xlabel('مسافت شرقی (کیلومتر)');

ylabel('مسافت شمالی (کیلومتر)');

hold on;

plot(x_source/1000, y_source/1000, 'r*', 'MarkerSize', 10, 'LineWidth', 2);

text(x_source/1000 + 0.2, y_source/1000, 'منبع', 'Color', 'r');

caxis([0, 200]); % محدود کردن مقیاس رنگ

drawnow;

end

end

پردازش پس از شبیه‌سازی و ارزیابی خطر سلامتی %

استخراج حداکثر غلظت در منطقه مسکونی (۱.۵ - ۳ کیلومتر پایین دست)

res_zone_start = round(1500 / dx) + 1;

res_zone_end = round(3000 / dx) + 1;

avg_concentration_res = mean(C(res_zone_start:res_zone_end, :), 'all');

% WHO توصیه PM2.5 غلظت پایه

baseline = 10; % میکروگرم بر مترمکعب

delta_C = avg_concentration_res - baseline;

Investigating the dispersion of air pollution and its effects on public health and environmental safety with simulation in MATLAB

Ali Nakhaei Amroudi¹

1 Faculty Member, Faculty and Research Institute of Computer, Network and Communications, Imam Hossein University, Tehran, Iran

2 Researcher, Faculty and Research Institute of Passive Defense, Imam Hossein University, Tehran, Iran 3

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 29 October 2021

Received in revised form: 7 December 2021

Accepted: 8 December 2021

Available online: 13 December 2021

*Correspondence: kpnakhaei@ihu.ac.ir

Keywords: Air Pollution

PM_{2.5}

Dispersion Modeling

Health Hazard

Environmental Safety

MATLAB Simulation

ABSTRACT

Air pollution remains a critical global challenge that affects public health, environmental safety, and urban sustainability. This study presents a computational framework simulated in MATLAB to model the dispersion of pollutants from industrial emission sources and assess their potential impacts on health and the environment. In this paper, the spatiotemporal distribution of particulate matter (PM_{2.5}) under different atmospheric conditions and emission rates is simulated using a two-dimensional adiabatic-dispersion equation. The model includes wind speed, atmospheric stability, and topographic features to predict the concentration of pollutants in a hypothetical urban-industrial area. The simulation results show that at low wind speeds and stable atmospheric conditions, PM_{2.5} levels exceed the WHO limit at 1.5 km downstream of the source. Health risk assessment based on exposure duration and concentration indicates a higher risk of respiratory diseases in nearby residential areas. These findings highlight the importance of integrating simulation tools into urban planning and environmental regulation. The MATLAB-based simulation results provide a scalable and low-cost method for evaluating pollution control strategies and supporting public health interventions.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license.

Publisher: Imam Hussein University

© Authors



