

برآورد خسارت ناشی از آلاینده‌های جوی بر محصولات کشاورزی در شرایط مختلف هواشناسی

نرجس عبدالمنافی جهرمی^۱ - محمد موسوی بایگی^{۲*} - علی نقی ضیائی^۳

تاریخ دریافت: ۹۰/۹/۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱/۱۶

چکیده

از جمله مسائلی که اخیراً مورد توجه محققین قرار گرفته است، بررسی اثرات آلودگی هوا بر گیاهان و محصولات کشاورزی می‌باشد. علت این امر آن است که عملکرد گیاهانی که در معرض آلودگی هوا قرار می‌گیرند به طرز چشم‌گیری کاهش یافته و از این طریق خسارت‌های اقتصادی زیادی به بخش کشاورزی وارد می‌شود. در این تحقیق، ضمن مدل‌سازی پراکنش آلودگی از یک یا چند منبع آلاینده نقطه‌ای، سعی شده است تا با استفاده از توابع غلظت آلودگی-عملکرد موجود، میزان خسارت وارده به محصولات کشاورزی محاسبه گردد. با توجه به پیچیدگی‌های ریاضی پدیده پراکنش آلودگی ناشی از منابع مذکور و تأثیرپذیری آن از شرایط هواشناسی، شرایط منبع آلاینده و شرایط دریافت کننده‌ها که در این جا گیاهان هستند، لزوم مدل‌سازی ریاضی این پدیده به خوبی احساس می‌گردد. در این راستا برنامه‌ای کامپیوتری در محیط MATLAB تهیه شد. اساس مدل تهیه شده بر پایه مدل پلوم گوسی می‌باشد. مدل مذکور قادر است با استفاده از پارامترهای دخیل در پراکنش آلودگی از منابع آلاینده ثابت نقطه‌ای، میزان و نحوه پراکنش آلودگی را از منابع مذکور محاسبه کرده و سپس با توجه به اراضی کشاورزی موجود در منطقه و نوع محصول کشت شده، میزان خسارت وارده بر گیاهان را ارزیابی کند. در انتها به منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل تهیه شده، نتایج پیش‌بینی میزان پراکنش آلودگی با داده‌های واقعی مورد صحت‌سنجی قرار گرفت. نتایج نهایی مدل حاکی از عملکرد مطلوب آن با توجه به شرایط مختلف هواشناسی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آلاینده‌های هوا، آلودگی هوا، مدل‌سازی، مدل گوسی، گیاهان

مقدمه

آنها قادرند تا مسافت‌های طولانی از منبع آلاینده منتشر شده و باعث ایجاد اثرات تخریبی تا مسافت‌های زیادی از منبع آلودگی شوند. به همین دلیل گاهی غلظت آلاینده‌ها در حومه شهرها بیشتر از مناطق شهری است (۴). در طول چند دهه اخیر، آلودگی هوا به یک تنش جدی زیست‌محیطی برای گیاهان زراعی تبدیل شده است (۲۸). آلاینده‌های جوی اثرات نامطلوبی بر رشد و فیزیولوژی گیاهان دارند. برخی گزارشات در زمینه اثرات نامطلوب آلودگی هوا بر محصولاتی مانند گندم (۳، ۴، ۵ و ۲۹) و خردل (۳) وجود دارد. همچنین آلاینده‌های جوی از جمله NO_2 ، SO_2 و O_3 ، بر میزان سنتز کلروفیل انواع گیاهان زراعی اثرات منفی داشته و در نتیجه باعث کاهش عملکرد آنها می‌شود (۳ و ۳۶). از سایر آثار زیان‌بار آلودگی هوا بر گیاهان می‌توان کاهش لیبید موجود در سلول‌ها (۱۰)، آسیب دیدن برگ‌ها و روزنه‌های گیاهان، پیری زودرس، کاهش فعالیت‌های فتوسنتزی، از بین رفتن نفوذپذیری غشای سلولی، کاهش رشد و کاهش عملکرد در گونه‌های مختلف گیاهی (۶، ۱۲ و ۳۱) را نام برد.

با صنعتی شدن جوامع، در بسیاری از کشورهای در حال توسعه غلظت آلاینده‌های اولیه و ثانویه در اتمسفر افزایش یافته و این امر مسئله آلودگی هوا را تبدیل به یک معضل رو به رشد کرده است (۲۱، ۳۶ و ۴۲). بسیاری از کشورهای در حال توسعه، تخریب پیش‌رونده‌ای را در کیفیت هوا، به علت صنعتی شدن، شهرنشینی، عدم آگاهی، تعداد زیاد وسایل نقلیه موتوری، استفاده از سوخت‌های با کیفیت پایین و مخرب محیط زیست و قوانین ناکارآمد محیط زیست، تجربه می‌کنند (۱۸). در دهه‌های اخیر با تغییر در الگوی انتشار آلاینده‌ها و توسعه صنعتی، اثرات سوء آلودگی هوا بر کشاورزی و تولیدات زراعی محسوس و قابل تأمل شده است. جدای از اثرات محلی آلاینده‌ها،

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

(Email: manafi.1362@mail.com)

(* - نویسنده مسئول)

صورت کمی محاسبه شود.

مواد و روش‌ها

مدل‌های مختلفی برای پیش‌بینی غلظت آلودگی منتشر شده از یک منبع نقطه‌ای، در پائین دست جریان باد وجود دارند. برای نمایش ریاضی حرکات فیزیکی ستون دود که به صورت پیوسته وارد جو می‌شود، از تابع گوس استفاده می‌شود (۳۹). در واقع هدف، یافتن روشی است که بتواند غلظت آلاینده را که به صورت تابعی از فاصله نسبت به منبع در پائین دست جریان باد می‌باشد، برای منابع آلاینده ثابت (مانند کارخانه‌ها) که آلودگی را به صوت پیوسته وارد جو می‌کنند، تعیین کند. مکانیزم پخش آلودگی در هر دو محور عمود بر مسیر حرکت باد به وضوح وجود دارد و تابع گوسی مدل معقولی برای تعیین توزیع غلظت آلودگی‌هاست. در مدل گوس چنین فرض می‌شود که غلظت مواد آلاینده در جهت افقی و عمودی از توزیع نرمال پیروی می‌کند. همچنین باید توجه داشت که در مسیر حرکت باد جریان همرفتی بزرگتر از مکانیزم پخش می‌باشد (۱۷)، لذا اثر باد را باید تنها در امتداد ستون دود به حساب آورد. بر این اساس، معادله گوس در حالت کلی به صورت معادله ۱ نوشته می‌شود (۴۵):

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

در رابطه فوق، $C(x, y, z; H)$ غلظت مواد آلاینده بر حسب میلی‌گرم در مترمکعب، x برابر با مسافت در جهت پائین دست باد بر حسب متر، y برابر با فاصله افقی از محور مرکزی جبهه دود بر حسب متر، Q دبی جرمی پراکنش مواد آلاینده بر حسب میلی‌گرم در ثانیه، H ارتفاع مؤثر توده دود بر حسب متر، u برابر با سرعت متوسط باد در ارتفاع مؤثر توده دود بر حسب متر بر ثانیه، σ_y برابر با ضریب پراکنش افقی (انحراف معیار) بر حسب متر، σ_z برابر با ضریب پراکنش عمودی (انحراف معیار) بر حسب متر و z برابر با ارتفاع گیرنده‌های آلودگی از سطح زمین می‌باشد.

ضرایب گسترش

میزان توانایی ما در استفاده از مدل گوسی (با توجه به اجزای معادله گوس) به محاسبه دقیق ضرایب گسترش بستگی دارد. مقادیر σ_y و σ_z به ضرایب نفوذ یا میزان نفوذ گازها در جهات y و z وابسته است. از نظر فیزیکی میزان انحراف استاندارد در جهات y و z را به میزان تلاطم محیط و فاصله از منبع مرتبط می‌دانند و این ضریب را بصورت تابعی از x (فاصله از منبع) در پائین دست جریان

در مجموع، گیاهانی که در معرض آلودگی هوا قرار دارند نسبت به گیاهانی که در محیط‌هایی عاری از آلاینده‌های جوی رشد می‌کنند، عملکرد ضعیف‌تری دارند. وحید و همکاران (۴۱) نشان دادند که زمانی که گیاه سویا در معرض آلاینده ازن سطحی قرار می‌گیرد، از عملکرد آن به میزان ۵۷ درصد کاسته می‌شود. همچنین در تحقیق دیگری که در پنجاب پاکستان انجام شد، مشخص شد که محصولات گندم و برنج با قرار گرفتن در معرض آلاینده ازن سطحی، دچار ۴۰ درصد افت عملکرد می‌شوند (۴۰).

با توجه به مطالب ذکر شده و تحقیقات انجام شده، آسیب و خسارت ناشی از آلاینده‌های جوی بر گیاهان واضح و مشهود می‌باشد. در این تحقیق به منظور کمی کردن میزان خسارت ناشی از آلودگی هوا بر گیاهان، از مدل‌سازی ریاضی بر پایه مدل پلوم گوسی استفاده شده است. شبیه‌سازی پخش آلاینده‌های خروجی از یک منبع آلودگی، روند پیچیده‌ای دارد. تقابل پیچیدگی مدل و صحت پیش‌بینی‌های آن، باعث ایجاد یک نقطه بهینه در مدل‌ها می‌گردد. مدل‌های آلودگی هوا، به دلیل توانایی آنها برای ارزیابی اهمیت نسبی فرآیندهای دخیل در آلودگی هوا، نقش مهمی را در علوم محیط زیست ایفا می‌کنند (۱۱). در گذشته محققین زیادی مدل‌سازی ریاضی پراکنش آلودگی از یک منبع نقطه‌ای را با استفاده از مدل گوسی انجام داده‌اند (۹، ۲۲ و ۲۷). فاتحی‌فر و همکاران (۱۳)، مدلی برای شبیه‌سازی پراکنش آلودگی از شبکه‌ای از دودکش‌ها تهیه کردند. این مدل، مدل چند سلولی بوده و برای بررسی پراکنش آلودگی از یک شبکه از دودکش‌های کارخانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت (۱۳ و ۱۴). عبدالوهاب (۲) از مدل ISC¹، که بر اساس مدل گوسی عمل می‌کند برای پیش‌بینی غلظت SO₂ تولید شده از دودکش‌های پالایشگاه مینالفهل^۲ کشور عمان استفاده کرد. همچنین با استفاده از مدل‌سازی ریاضی، نحوه پراکنش SO₂ در شهر ارزرم^۳ در کشور ترکیه بررسی شده است (۴۴). در پژوهش دیگری، مدل‌سازی پراکنش آلودگی هوا برای مناطق پیچیده صنعتی انجام و عملکرد مدل تهیه شده مورد ارزیابی قرار گرفت (۳۴).

تحقیقاتی که تا کنون در زمینه میزان تأثیر آلودگی هوا بر گیاهان انجام شده است، صرفاً جنبه تجربی داشته و تحقیقات انجام شده در زمینه مدل‌سازی ریاضی پراکنش آلودگی نیز صرفاً به محاسبه میزان پخش آلاینده‌ها در جو پرداخته است. لذا در این تحقیق سعی شده است که بین مدل‌سازی ریاضی پراکنش آلودگی و روابط تجربی موجود در زمینه تأثیرات آلودگی هوا بر گیاهان ارتباط برقرار شود و میزان خسارت وارده بر بخش کشاورزی ناشی از آلودگی هوا به

1- Industrial Source Complex Model
2- Mina Al-Fahal
3- Erzurum

$$\Delta H = \frac{Ex^b}{u^a} \quad (۵)$$

در رابطه فوق x ، فاصله از منبع در پایین دست مسیر باد، u سرعت باد بر حسب متر در ثانیه و a ، b و E ، ضرایب ثابتی هستند که برای به دست آوردن آن‌ها از جدولی که در این رابطه توسط بریگز ارائه شده است، استفاده می‌گردد (۱۶).

محاسبه میزان و چگونگی پراکنش آلودگی از چند منبع آلاینده نقطه‌ای ثابت

همان‌گونه که از معادله گوس برداشت می‌شود، این معادله تنها برای محاسبه غلظت آلودگی ناشی از یک منبع کاربرد دارد. یکی از ویژگی‌های متمایز مدل تهیه شده، محاسبه میزان و نحوه پراکنش آلودگی از چند منبع آلاینده نقطه‌ای است. این ویژگی، مدل را برای استفاده در محیط‌های پیچیده صنعتی که گاهی شبکه‌ای از دودکش‌ها با دبی‌های خروجی متفاوت وجود دارند، مناسب می‌سازد. زمانی که فاصله این منابع از یکدیگر به نحوی باشد که توزیع غلظت آلودگی ناشی از یک منبع، بر نحوه توزیع غلظت آلودگی از سایر منابع تأثیر بگذارد، محاسبه غلظت آلودگی دریافتی هر نقطه، امری پیچیده و دشوار خواهد بود. طبق اصل برهم‌نهی یا جمع‌شوندگی^۱، این مسأله قابل حل خواهد بود. اصل برهم‌نهی بیان می‌کند که چنانچه تابع A خروجی X را تولید کند و تابع B نیز خروجی Y را تولید کند، حاصل $(A+B)$ برابر $(X+Y)$ خواهد بود (۳۹). بنابراین، چنانچه آلودگی ناشی از چند منبع آلاینده مختلف به یک نقطه برسد، غلظت آلودگی در آن نقطه برابر است با حاصل جمع غلظت آلودگی ناشی از هر کدام از منابع آلاینده در آن نقطه. بنابراین مدل حاضر با استفاده از این اصل، قادر خواهد بود غلظت آلودگی ناشی از چندین منبع آلاینده را با توجه به پارامترهای هواشناسی مختلف در تمام نقاط دامنه حل، محاسبه کند.

اعمال جهات مختلف باد در مدل با استفاده از تغییر مختصات صفحه

فرمول گوس تنها قادر است یک جهت باد (عمود بر دودکش) را در نظر بگیرد (۳۹). اما در واقعیت، در مناطق مختلف و در زمان‌های مختلف، جهت باد از صفر تا ۳۶۰ درجه متغیر است. بنابراین در طول فصل رشد گیاه، که در این تحقیق مد نظر است، ممکن است جهات باد در ابعاد زمانی مختلف متغیر باشد. این امر تأثیر اساسی بر جهت

و در جهت باد ارائه می‌کنند (۳۹). بعضی از محققان روابط پیچیده‌ای بر اساس زبری سطح، ارتفاع اختلاط و دیگر متغیرهای اتمسفری ارائه کرده‌اند (۱۶). در تحقیق حاضر از روابطی که کرایمر و ترنر برای محاسبه ضرایب گسترش ارائه دادند استفاده شده است. بر اساس این روش، ضرایب گسترش از روابط ۲ و ۳ به دست می‌آیند (۳۹):

$$\sigma_y = 465.1162x \tan(T) \quad (۲)$$

$$\sigma_z = ax^b \quad (۳)$$

که در آن x فاصله از منبع آلاینده می‌باشد. مقادیر T ، به ازای دسته‌بندی‌های مختلف پایداری بر اساس جداول مربوطه به دست می‌آید (۳۹). فراوانی کلاس‌های مختلف پایداری در طول روز متغیر بوده و غالباً فراوانی کلاس‌های A (شدیداً پایدار)، D (خنثی) و E (پایداری ضعیف)، بیشتر از سایر کلاس‌های پایداری می‌باشد (۳۲ و ۴۳). چنانچه بازه‌های زمانی طولانی مدت مثلاً یک فصل رشد مدنظر باشد با تقریب خوبی می‌توان کلاس‌های پایداری A ، D و E که در طول روز بیشترین فراوانی وقوع را دارند، به دوره مورد نظر نیز تعمیم داد. لازم به ذکر است که در این تحقیق، منابع آلاینده ثابت که آلودگی را به صورت پیوسته وارد جو می‌کنند مد نظر هستند و هدف محاسبه اثرات آلودگی ناشی از این منابع بر محصولات کشاورزی است. بنابراین مدت زمان اجرای مدل، در واقع تمام طول فصل رشد گیاه می‌باشد.

ارتفاع مؤثر توده دود

دودی که از یک دودکش خارج می‌شود، بلافاصله در جهت افقی حرکت نمی‌کند؛ بلکه غالباً مقداری به سمت بالا می‌رود. در این حالت یک ارتفاع مشخص به ارتفاع دودکش اضافه می‌شود. این ارتفاع اضافه را ارتفاع خیزش ستون دود می‌نامند. مجموع ارتفاع دودکش و میزان ارتفاع خیزش ستون دود را ارتفاع مؤثر توده دود می‌گویند و به صورت رابطه ۴ بیان می‌شود (۱۶ و ۳۹):

$$H_s = h_s + \Delta h \quad (۴)$$

در رابطه فوق، H_s برابر با ارتفاع مؤثر توده دود، h_s ارتفاع دودکش و Δh برابر با میزان خیزش ستون دود بوده و همگی بر حسب متر محاسبه می‌شوند. برای محاسبه میزان خیزش ستون دود از رابطه ۵ که توسط بسیاری از محققین ارائه شده است، استفاده می‌گردد (۳۹).

از محاسبه غلظت آلودگی در تمام نقاط شبکه، به منظور بررسی تأثیرات آلودگی بر گیاهان لازم است که مشخصات تمامی زمین‌های کشاورزی موجود در منطقه مورد مطالعه از جمله شکل، مساحت و آرایش آن‌ها مشخص باشد. بدین منظور برنامه‌ای جداگانه در محیط MATLAB، توسط نویسنده، تهیه شد که قادر است با دریافت مختصات نقاط مرزی اراضی کشاورزی، آن‌ها را با توجه به موقعیت منابع آلاینده ترسیم کرده و در هر نقطه از زمین‌های کشاورزی مذکور، گیاه کشت شده در آن منطقه را در نظر بگیرد. تفاوت بین گیاهان مختلف در عکس‌العمل آن‌ها به آلودگی هوا تحت عنوان آستانه تحمل تعریف می‌گردد. آستانه تحمل هر گیاه عبارت است از میزانی از غلظت آلاینده‌ها، که گیاه قادر به تحمل آن بوده و خسارت به گیاه وارد نمی‌شود (۸، ۱۵ و ۲۰). این ویژگی برای هر نوع گیاه و نسبت به آلاینده‌های مختلف متفاوت است. در برنامه تهیه شده امکانی فراهم شده است که برای گیاهان موجود در هر پیکسل از دامنه مورد حل، آستانه مربوط به آن گیاه با توجه به نوع آلودگی در نظر گرفته شود. سپس غلظت آلودگی محاسبه شده در هر نقطه (از مرحله قبل)، با آستانه تحمل گیاه موجود در آن پیکسل مقایسه می‌شود. چنانچه میزان غلظت آلودگی در آن نقطه بیش از حد آستانه تحمل گیاه باشد، با توجه به توابع غلظت-عملکردی که برای هر گیاه در هر پیکسل تعریف شده است، میزان کاهش عملکرد آن گیاه در پیکسل مورد نظر و سپس در کل زمین تحت کشت آن گیاه برآورد می‌شود.

توابع غلظت-عملکرد روابطی هستند که ارتباط بین غلظت آلاینده‌های جوی و درصد کاهش عملکرد گیاهان را در قالب توابع و روابط ریاضی بیان می‌کنند. در زیر به چند نمونه از توابع مذکور اشاره می‌شود. در جدول ۱، x برابر با غلظت ازن بر حسب $ppmh$ ، $[SO_2]$ برابر با غلظت دی‌اکسید گوگرد بر حسب ppb و y درصد کاهش عملکرد محصول می‌باشد.

صحت‌سنجی مدل

پس از تهیه هر مدل ریاضی، باید به نحوی از صحت عملکرد آن اطمینان حاصل کرد. یکی از روش‌های رایج صحت‌سنجی مدل‌ها، مقایسه نتایج مدل با داده‌های تجربی و واقعی می‌باشد. به منظور صحت‌سنجی مدل تهیه شده، از داده‌های اندازه‌گیری شده از غلظت گاز SO_2 موجود در هوای محوطه داخلی و بیرونی نیروگاه بعثت تهران، استفاده شد (۱). شکل ۲ مقایسه نتایج پیش‌بینی شده توسط مدل حاضر و داده‌های تجربی مذکور را نشان می‌دهد. به منظور مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و محاسبه‌ای از پارامترهای R^2 و RMSE و متوسط درصد خطا استفاده شده است که امری رایج می‌باشد.

پخش آلودگی و تعیین مناطقی که تحت تأثیر آلودگی قرار می‌گیرند، دارد. برای لحاظ کردن جهات مختلف باد در محاسبات، لازم است صفحه‌ای که غلظت آلودگی در آن صفحه محاسبه می‌شود (منطقه مورد مطالعه که مختصات آن برای مدل تعریف شده است) به اندازه زاویه وزش باد (θ) دوران یابد. این بدان معناست که چون امکان لحاظ کردن جهات مختلف باد در اصل رابطه گوس وجود ندارد، صفحه به اندازه‌ای چرخش پیدا کند که با راستای باد، به اندازه θ زاویه داشته باشد. شکل ۱ بیان‌گر این موضوع می‌باشد.

اگر نقاط A، B و C سه نقطه در صفحه اولیه (قبل از لحاظ کردن جهت باد) باشند با استفاده از روش ماتریس دوران، مختصات آن‌ها تبدیل به A' ، B' و C' در صفحه جدید (با لحاظ کردن جهت باد) می‌شود. به منظور تغییر مختصات صفحه و مختصات تمامی منابع آلاینده و زمین‌های کشاورزی و چرخش آن‌ها، باید از ماتریس دوران (D)، رابطه E استفاده شده و مختصات تمامی نقاط در این ماتریس ضرب گردد. نقاطی که به این ترتیب تولید می‌شوند، سیستم مختصات جدید را تشکیل می‌دهند.

$$D = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & \sin(\theta) \\ -\sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$E = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (7)$$

اگر ماتریس E، رابطه ۷، مختصات یک نقطه از صفحه در سیستم مختصات قبل باشد، پس از ضرب ماتریس E در ماتریس D (ماتریس دوران) مختصات نقاط جدید چرخش یافته به صورت روابط ۸ و ۹ حاصل می‌شود:

$$x_{new} = x_{old} \cdot \cos(\theta) + y_{old} \cdot \sin(\theta) \quad (8)$$

$$y_{new} = -x_{old} \cdot \sin(\theta) + y_{old} \cdot \cos(\theta) \quad (9)$$

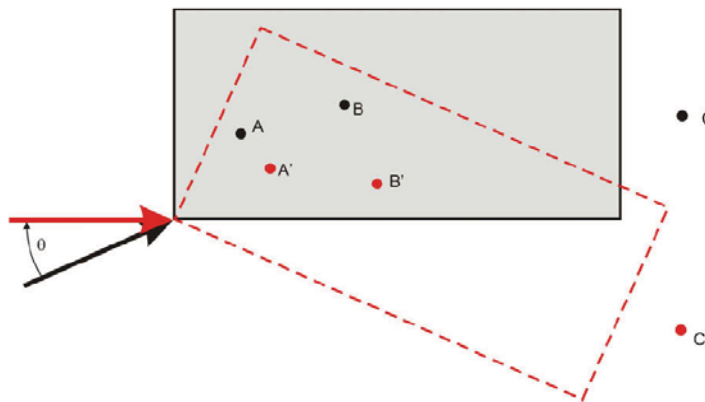
بنابراین:

$$D \times E = \begin{bmatrix} x_{new} \\ y_{new} \end{bmatrix} \quad (10)$$

بدین ترتیب مختصات تمامی نقاط به صورت رابطه ۱۰ تغییر یافته و سیستم مختصات جدیدی تعریف می‌شود. بنابراین مدل قادر خواهد بود جهات غالب باد را، در دوره‌های زمانی موردنظر، متغیر در نظر بگیرد.

برآورد خسارت ناشی از آلاینده‌های جوی بر گیاهان

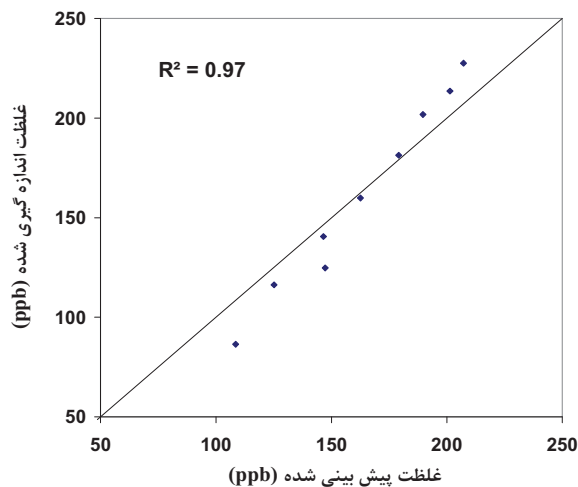
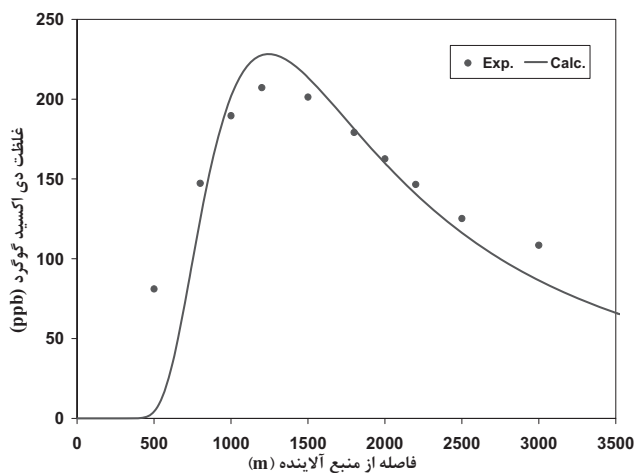
به منظور محاسبه غلظت آلودگی در تمام نقاط دامنه حل، منطقه مورد مطالعه به پیکسل‌هایی با ابعاد مشخص تقسیم‌بندی می‌شود تا غلظت آلودگی در هر نقطه با مختصات مشخص محاسبه گردد. پس



شکل ۱- چرخش صفحه به منظور تغییر مختصات

جدول ۱- توابع غلظت-عملکرد چند گیاه نسبت به آلاینده‌های مختلف

مرجع	تابع غلظت-عملکرد	آستانه تحمل گیاه	نوع آلاینده	گیاه
(۲۸ و ۲۶، ۲۰)	$y = -0.0036x + 1.02$	۱۳/۹(ppm)	ازن	ذرت
(۳۷ و ۳۵، ۱۵)	$y = 0.0006x + 0.96$	۸۳/۳(ppm)	ازن	جو
(۸)	$y = -0.69 \times [SO_2] + 9.35$	۱۳/۶(ppb)	دی‌اکسید گوگرد	گندم
(۸)	$y = -0.69 \times [SO_2] + 9.35$	۱۳/۶(ppb)	دی‌اکسید گوگرد	برنج



شکل ۲- مقایسه داده‌های تجربی اندازه‌گیری شده و خروجی‌های مدل حاضر

نتایج و بحث

به منظور بیان قابلیت‌های مدل تهیه شده، از جمله توانایی در نظر گرفتن چندین منبع آلاینده، چندین جهت باد و همچنین برآورد خسارت ناشی از آلودگی هوا بر گیاهان، مثالی از یک منطقه فرضی آورده می‌شود. تحقیقات فراوانی وجود دارند که محققین پس از تهیه مدل، به منظور نشان دادن امکانات و توانایی‌های مدل از مثال‌های

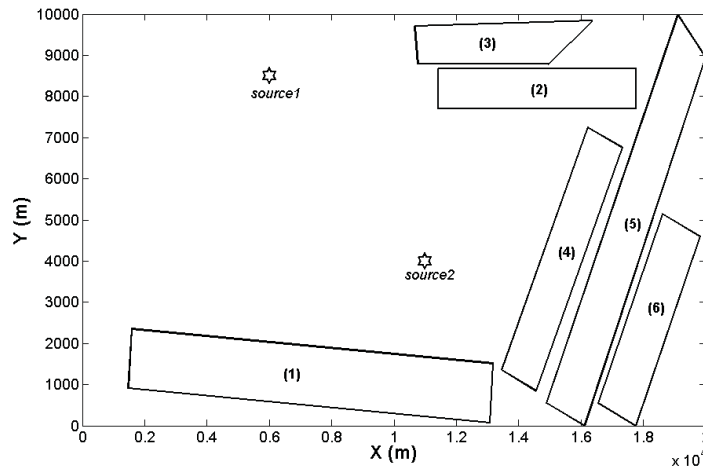
نتایج مقایسه خروجی‌های مدل و داده‌های واقعی در جدول ۲ آورده شده است که نتایج حاکی از عملکرد قابل قبول مدل می‌باشد.

جدول ۲- ارزیابی نتایج مدل و داده‌های تجربی

متوسط درصد خطا (%)	RMSE (ppb)	R ² (%)
۸	۰/۰۱۴۲۷	۹۶/۸۲

کشاورزی کشت شده‌اند، میزان خسارت وارده بر آن‌ها برآورد می‌گردد. شکل ۳ منطقه فرضی شامل دو منبع آلاینده، (Source1 و Source2) را نشان می‌دهد. مناطقی که با اعداد ۱ تا ۶ مشخص شده‌اند، هر کدام زمین‌های کشاورزی هستند که در آن‌ها گیاهان متفاوت (گیاهانی از خانواده غلات) با آستانه تحمل (۱۳/۶) ppb (۸) نسبت به آلاینده دی اکسید گوگرد) و توابع غلظت-عملکرد متفاوت کشت شده است. برای اجرای مدل لازم است که پارامترهای مربوط به منابع آلاینده و پارامترهای هواشناسی و همچنین ابعاد منطقه مورد بررسی و نوع آلودگی مشخص باشد. این مشخصات در جدول ۳ آورده شده است.

فرضی استفاده می‌کنند (۷، ۱۹، ۲۳، ۲۴ و ۲۵). در این تحقیق نیز هدف تهیه مدلی بوده است که کاربر بتواند بر اساس نیاز، برای گیاهان مختلف، شرایط هواشناسی مختلف و مکان‌های متفاوت، مدل را اجرا کرده و خروجی‌های مورد نظر را به دست آورد. بدین منظور، مدل تهیه شده توسط نویسندگان، برای یک منطقه فرضی اجرا گردید که این منطقه دارای مساحت مشخص بوده و دو منبع آلاینده نقطه‌ای با پارامترهای متفاوت و موقعیت‌های مشخص در آن قرار دارند. سپس با استفاده از مدل تهیه شده، نحوه پراکنش آلودگی و میزان آن، در منطقه مذکور بررسی می‌شود. در گام بعد با در نظر گرفتن اراضی کشاورزی فرضی موجود در منطقه و گیاهانی که در هر قطعه زمین



شکل ۳- منطقه‌ای فرضی شامل زمین‌های کشاورزی و دو منبع آلاینده

جدول ۳- مشخصات منابع آلاینده، پارامترهای هواشناسی، گیرنده‌ها و منطقه مورد مطالعه

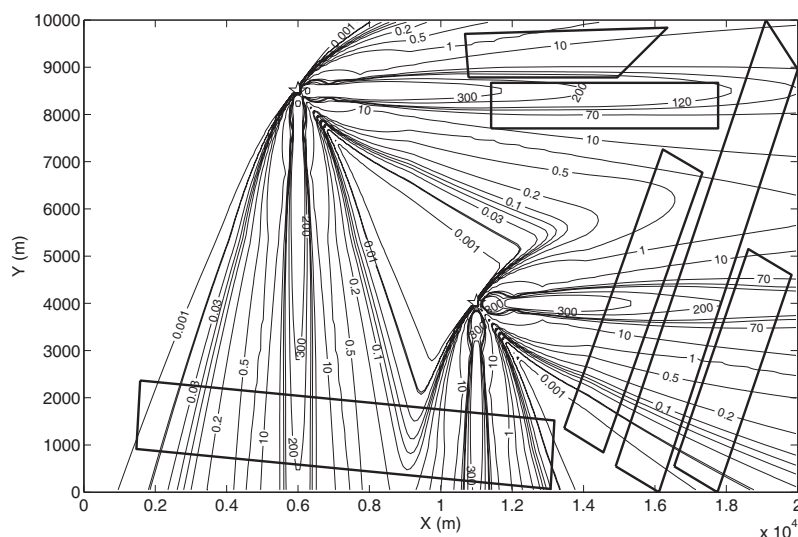
دبی جرمی گازهای خروجی (g/s)		۱۵۰
ارتفاع دودکش (m)	۴۰	منبع آلاینده (۱)
مختصات مکان دودکش (m)	(۶۰۰۰، ۸۵۰۰)	
قطر دهانه دودکش (m)	۲/۷	
سرعت خروج گاز (m/s)	۱۳/۵	
دمای گاز خروجی (k)	۳۷۵	
دبی جرمی گازهای خروجی (g/s)	۱۸۰	منبع آلاینده (۲)
ارتفاع دودکش (m)	۶۰	
مختصات مکان دودکش (m)	(۱۱۰۰۰، ۴۰۰۰)	
قطر دهانه دودکش (m)	۵/۸	
سرعت خروج گاز (m/s)	۱۱/۷	
دمای گاز خروجی (k)	۳۸۲/۸	پارامترهای هواشناسی
جهت باد غالب ۱	۹۰	
جهت باد غالب ۲	۱۸۰	
سرعت باد غالب ۱ (m/s)	۲	
سرعت باد غالب ۲ (m/s)	۲	
دمای محیط (k)	۲۹۱/۵	

در جدول ۴ آورده شده است. ستون اول از جدول ۴ گیاهانی فرضی (محصول ۱ تا ۶) هستند که در زمین‌های کشاورزی موجود در شکل ۳ کشت شده‌اند. ستون دوم از این جدول شامل عملکرد آن‌ها در واحد هکتار در شرایط بدون تنش آلودگی هوا می‌باشد. با به دست آوردن مساحت هر قطعه زمین کشاورزی موجود در شکل ۳ و با استفاده از میزان عملکرد هر محصول در شرایط ایده‌آل، میزان تولید در هر قطعه زمین در شرایط بدون تنش آلودگی را به دست آورد (ستون چهارم جدول). برای مشخص شدن میزان خسارت وارده بر گیاهان موجود در منطقه تحت بررسی لازم است که ارزش هر محصول مشخص باشد. ارزش محصول به صورت بدون بعد انتخاب شده است تا بر حسب نیاز بتوان مقدار آن را بر اساس واحدهای مختلف در نظر گرفت. با مشخص بودن میزان تولید در هر قطعه زمین و ارزش واحد آن، ارزش کل تولید در هر قطعه زمین و در کل منطقه محاسبه می‌شود.

مدل برای منطقه مورد نظر با توجه به پارامترهای ذکر شده در جدول فوق، اجرا گردید. شکل زیر بیان‌گر چگونگی پراکنش آلودگی ناشی از دو منبع آلاینده در محیط مورد مثال می‌باشد.

پس از تخمین و پیش‌بینی میزان آلودگی رسیده به هر نقطه از زمین، و با توجه به اینکه رابطه مستقیمی بین میزان غلظت آلودگی و درصد کاهش عملکرد وجود دارد (توابع غلظت-عملکرد)، با داشتن اطلاعاتی از نوع گیاهان کشت شده در هر قطعه زمین، آستانه تحمل آنها در برابر آلودگی و میزان عملکرد آنها در شرایط ایده‌آل، می‌توان میزان افت محصول و میزان خسارت کل ناشی از آلودگی این دو منبع آلاینده را برآورد کرد.

با توجه به موقعیت زمین‌های کشاورزی موجود در شکل ۳ و با استفاده از پارامترهای ذکر شده در جدول ۳، نتایج حاصل از اجرای مدل، از جمله درصد کاهش عملکرد گیاهان در شرایط وجود آلودگی



شکل ۴- پراکنش آلودگی در منطقه مورد مطالعه (غلظت بر حسب ppb)

جدول ۴- بررسی نتایج و میزان خسارت در منطقه مورد مطالعه

محصول	عملکرد (تن در هکتار)	ارزش (ارزش/کیلوگرم)	میزان تولید (تن)	ارزش تولید (واحد ارزش)	افت محصول (تن)	عملکرد پس از خسارت (تن در هکتار)	خسارت (واحد ارزش)	درصد کاهش عملکرد
۱	۳	۳	۵۰۷۰	۱۵/۲۱	۷۸۴/۶۵	۲/۵۳	۲/۳۵	۱۵/۴۸
۲	۳	۳/۵	۱۹۲۰	۶/۷۲	۱۲۹۹/۸۸	۰/۹۷	۴/۵۵	۶۷/۷۰
۳	۳/۵	۴/۵	۱۶۵۵/۵	۷/۴۵	۳۵۷/۱۶	۲/۷۴	۱/۶۱	۲۱/۵۷
۴	۳/۵	۴	۲۷۷۲	۱۱/۰۹	۳۸۴/۶۲	۳/۰۱	۱/۵۴	۱۳/۸۸
۵	۴	۳/۶	۵۱۷۲	۱۸/۶۲	۹۳۵/۹۶	۳/۲۷	۳/۳۷	۱۸/۱۰
۶	۴	۳/۶	۲۶۹۲	۹/۶۹	۵۴۲/۵۱	۳/۱۹	۱/۹۵	۲۰/۱۵
درصد کاهش عملکرد کل				۶۸/۷۸			۱۵/۳۷	۲۲/۳۵

همچنین نتایج بدست آمده از اجرای مدل و بررسی ارتباط پارامترهای مؤثر در فرآیند پخش آلودگی، جهت و سرعت باد غالب منطقه، وضعیت پایداری جوی و همچنین تنوع در جهات باد غالب، از مهمترین پارامترهای هواشناسی در چگونگی و میزان پخش آلودگی در محیط می‌باشد؛ زیرا سمت باد، تابع پخش آلاینده‌ها را تعیین می‌کند و سرعت باد تعیین کننده شدت پخش آلودگی در محیط است و در سرعت‌های بالای باد، آلودگی با سرعت بیشتری در محیط پخش شده و بنابراین با تلاطم ایجاد شده، غلظت آلاینده‌ها در محیط سریع‌تر کاهش می‌یابد. همچنین با بررسی تأثیر پارامترهای مختلف جوی در خروجی‌های مدل مشخص می‌شود که یکی دیگر از پارامترهای هواشناسی که در میزان پخش آلودگی و مدت زمان توقف آن در محیط دخالت دارد وضعیت پایداری جو می‌باشد. این پارامتر مهم نیز در مدل لحاظ گردیده است. در واقع مدل حاضر به خوبی امکان بررسی تأثیر پارامترهای هواشناسی در نحوه پخش آلودگی از منابع آلاینده ثابت را فراهم کرده و سپس به کمک آن میزان و توزیع غلظت آلودگی محاسبه و در برآورد خسارت وارده بر اراضی کشاورزی استفاده می‌شود.

سپس با استفاده از توزیع غلظت به دست آمده از مدل (شکل ۴) و همچنین با به کار بردن توابع غلظت-آلودگی برای هر گیاه، میزان خسارت وارده بر آن محصول به دست می‌آید (ستون ششم و هفتم جدول ۴). با محاسبه میزان خسارت و مقایسه آن نسبت به تولید در شرایط ایده‌آل، درصد کاهش عملکرد قابل محاسبه است (ستون هشتم جدول ۴).

در واقع نتایج این محاسبات بیان گر این مطلب است که با وجود دو منبع آلودگی با مشخصات ذکر شده، ۲۲/۳۵ درصد از عملکرد گیاهان کشت شده در منطقه مورد مطالعه، کاسته شده و معادل آن به این بخش خسارت اقتصادی وارد شده است.

نتیجه گیری

همان‌گونه که در بخش نتایج ملاحظه گردید، با کمک مدل تهیه شده می‌توان به خوبی چگونگی و میزان پراکنش آلودگی از یک یا چند منبع آلاینده ثابت دائمی محاسبه کرد و سپس تأثیرات و میزان عکس‌العمل گیاهان نسبت به غلظت‌های مختلف آلودگی هوا را بررسی و با استفاده از توابع غلظت-عملکرد مربوط به هر گیاه، میزان کاهش عملکرد و همچنین خسارات وارده بر آنها را برآورد کرد.

منابع

- ۱- حسینی ح. ۱۳۸۰. بررسی نحوه گسترش آلاینده دی اکسید گوگرد از دودکش‌های یک نیروگاه، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- 2- Abdul-Wahab S.A. 2003. SO₂ dispersion and monthly evaluation of the industrial source complex short-term (ISCST32) model at Mina Al-Fahal refinery, Sultanate of Oman. *Environmental Management*, 31: 276-291.
- 3- Agarwal M., Singh B., Rajput M., Marshal F., and Bell J.N. 2003. Effect of Air pollution on peri urban agriculture a case study. *Environmental Pollution*, 126(3): 323- 329.
- 4- Agrawal M. 2005. Effects of air pollution on agriculture: An issue of national concern. *National. Academy of Science Letter*, 23(3&4): 93-106.
- 5- Agrawal M., and Deepak S.S. 2003. Physiological and biochemical responses of two cultivars of wheat to elevated levels of CO₂ and SO₂, singly and in combination. *Environmental Pollution*, 72: 198- 197.
- 6- Atkinson C.J., Robe S.V., and Winner W.E. 1988. The relationship between changes in photosynthesis and growth for radish plants fumigated with SO₂ and NO₂, *New phytol*, 110: 173-184.
- 7- Atmadja J., and Bagtzoglou A.C. 2001. State of the art report on mathematical methods for groundwater pollution source identification. *Environmental Forensics*, vol. 2, no. 3, pp. 205-214.
- 8- Baker C.K., Colls J.J., Fullwood A.E., and Seaton G.G.R. 1986. Depression of growth and yield in winter barley exposed to sulphur dioxide in the field. *New Phytol*, 104: 233-241.
- 9- Caputo M., Gimenez M., and Schlamp M. 2003. Intercomparison of atmospheric dispersion models. *Atmospheric Environment*, 37: 2435-2449.
- 10- Castillo F.J., Penel C.L., and Greppin H. 1984. Peroxidase release induced by O₃ in *Sedum album* leaves: Involvement of Ca⁺⁺. *Plant Physiol*, 74: 846-851.
- 11- Daly A., and Zannetti P. 2007. Air Pollution Modeling – An Overview. Chapter 2 of *Ambient Air Pollution* (P. Zannetti, D. Al-Ajmi, and S. Al-Rashied, Editors). Published by The Arab School for Science and Technology (ASST) and The EnviroComp Institute.
- 12- Darrall N.M. 1989. The effect of air pollutants on physiological processes in plants. *Plant, Cell Env*, 12: 1-30.
- 13- Fatehifar E., Elkamel A., Alizadeh Osalu A., and Charchi A. 2008. Developing a new model for simulation of pollution dispersion from a network of stacks. *Applied Mathematics and Computation*, 206: 662-668.
- 14- Fatehifar E., Elkamel A., Taheri M., Anderson W.A., and Abdul-Wahab S.A. 2007. Modeling and simulation of multi-pollutants dispersion from a network of refinery stacks using a multiple cell approach. *Environmental*

- Engineering Science, 24: 795–811.
- 15- Fumagalli I., Ambrogi R., and Mignanego L. 1999. Ozone in southern Europe: UN/ECE experiments in Italy suggest a new approach to critical levels. In: Critical Levels for Ozone— Level II. Environmental Documentation No. 115. Swiss Agency for Environment, Forest and Landscape, Bern, Switzerland, pp. 239–242.
 - 16- Hanna S.R., Briggs G.A., and Hosker R.P. 1982. Handbook on Atmospheric Diffusion, NTIS DE81008909 (DOE/TIC-22800) Springfield, VA.
 - 17- Holton J.R. 2004. An Introduction to Dynamic Meteorology. Academic Press.
 - 18- Joshi P.C., and Chauhan A. 2008. Performance of locally grown rice plants (*Oryza sativa* L.) exposed to air pollutants in rapidly growing industrial area of district Haridwar. Life Science Journal, 5(3): 41-45.
 - 19- Karahan H. 2006. Implicit finite difference techniques for the advection-diffusion equation using spreadsheets. *Advances in Engineering Software*, vol. 37, no. 9, pp. 601-608.
 - 20- Kress L.W., and Miller J.E. 1985. Impact of ozone on field-corn yield. Canadian Journal of Botany, 63: 2408–2415.
 - 21- Mage D., Ozolins G., Peterson P., Webster A., Orthofer R., Vandeweerd V., and Gwynne M. 1996. Urban air pollution in mega-cities of the world. Atmospheric Environment; 30: 681-686.
 - 22- Mehdizadh F., and Rifai H.S. 2004. Modeling point source plumes at high altitudes using a modified Gaussian model. Atmospheric Environment, 38: 821– 831.
 - 23- Michalak A.M., and Kitaniadis P.K. 2004. Estimation of historical groundwater contaminant distribution using the adjoint state method applied to geostatistical inverse modeling. Water Resources Research, vol. 40, W08302.
 - 24- Milnes E., and Perrochet P. 2007. Simultaneous identification of a single pollution point-source location and contamination time under known flow field conditions. Advances in Water Resources, vol. 30, no. 12, pp. 2439-2446.
 - 25- Mood A., Graybill F., and Boes D. 1974. Introduction to the Theory of Statistics (3rd ed.). McGraw-Hill. p. 229.
 - 26- Mulchi C., Rudorff B., Lee E., Rowland R., and Pausch R. 1995. Morphological responses among crop species to full-season exposures to enhanced concentrations of atmospheric CO₂ and O₃. Water Air and Soil Pollution, 85: 1379–1386.
 - 27- Ragland K.W. 1973. Multiple box model for dispersion of air pollutants from area sources. Atmospheric Environment, 7: 1017–1032.
 - 28- Rajput M., and Agrawal M. 2004. Physiological and Yield responses of Pea Plants to Ambient Air Pollution. Indian Journal of Plant Physiology, 9 (1): 9-14.
 - 29- Rajput M., and Agrawal M. 2005. Biomonitoring of Air Pollution in A Seasonally Dry Tropical Suburban Area Using Wheat Transplants. Environmental monitoring and assessment, 101: 39-53.
 - 30- Rudorff B.F.T., Mulchi C.L., Lee E.H., Rowland R., and Pausch R. 1996. Effects of enhanced O₃ and CO₂ enrichment on plant characteristics in wheat and corn. Environmental Pollution, 94: 53–60.
 - 31- Saxe H. 1991. Photosynthesis and stomatal responses to polluted air, and the use of physiological and biochemical responses for early detection and diagnostic tools', in: J. A. Callow (ed). Advances in botanical research, 18:1128.
 - 32- Sejkora K. 2005. Temporal Comparison of Atmospheric Stability Classification Methods. Entergy Nuclear Northeast – Pilgrim Station
 - 33- Shukla J., Pandey V., Singh S.N., Yunus M., Singh N., and Ahmad K.J. 1990. Effect of cement dust on the growth and yield of Brassica campestris L. Environmental Pollution, 66: 81-88.
 - 34- Sivacoumar R., Bhanarkar A.D., Goyal S.K., Gadkari S.K., and Aggarwal A.L. 2001. Air pollution modeling for an industrial complex and model performance evaluation. Environmental Pollution, 111: 471-477.
 - 35- Skarby L., and Jonsson B. 1988. Effects of ozone on crops in Sweden. Environmental Pollution, 53: 461–462.
 - 36- Slanina J., Brown R.H., and Tang X. 1995. Local air pollution in fast developing countries. (Technical Report). International Union Pure and Applied Chemistry. Pure and Applied Chemistry, 67: 1407-1486.
 - 37- Temple P.J., Clifton-Taylor O., and Benoit L.F. 1985. Effects of ozone on yield of two field grown barley cultivars. Environmental Pollution, 39: 217–225.
 - 38- Turner D.B. 1964. A diffusion model for an urban area. Journal of Applied Meteorology, 3:83.
 - 39- Turner D.B. 1994. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates. Introduction to Dispersion Modeling. 2nd ed. Lewis Publisher, Boca Raton.
 - 40- Wahid A. 2006. Productivity losses in barley attributable to ambient atmospheric pollutants in Pakistan. Atmos Environ, 40: 5342–5354.
 - 41- Wahid A., Milne E., Shamsi S.R.A., Ashmore M.R., and Marshall F.M. 2001. Effects of oxidants on soybean growth and yield in the Pakistan Punjab. Environmental Pollution 113, 271–280.
 - 42- WHO/UNEP. 1992. Urban Air Pollution in Megacities of the World. World Health Organization, United Nations Environment Program. Blackwell Scientific, Oxford, UK.
 - 43- Yates W.E., Akesson N.B., and Cowden R.E. 1974. Criteria for minimizing drift residues on crops downwind from aerial applications. Trans. ASAE, 17(4): 637-632.
 - 44- Yildirim Y., Demircioglu N., Kobya M., and Bayramoglu M. 2002. A mathematical modeling of sulphur dioxide pollution in Erzurum City. Environmental Pollution, 118: 411–417.

Estimation of Crop Yield Loss Due to Air Pollutants in Different Atmospheric Conditions

N. Abdolmanafi Jahromi¹ - M. Mousavi Baygi^{2*} - A.N. Ziyaei³

Received:30-11-2011

Accepted:4-4-2012

Abstract

The effects of air pollutants on the agricultural crops have been studied extensively at the recent years. It is important to estimate the crop yield loss due to the effect of air pollution distribution caused by the sources such as factories, refineries and industries on different crops. In this study the dispersion of the pollutants emission from point sources in the atmosphere was modeled based on Gaussian model in MATLAB environment. It is necessary to say that according to the complexity of the phenomenon mentioned, dispersion from sources of pollution and the weather conditions, the necessity of modeling of this process is of great importance. After developing the mathematical model to estimate pollution plume, its performance accuracy was verified using some observational data. To show the application of the proposed model some hypothetical examples were given and the model results were analyzed.

Keywords: Modeling, Air Pollution, Gaussian Model, Crop Plant, Air Pollutants

1,2,3- MSc Student, Associated Professor and Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Respectively
(* - Corresponding Author Email: manafi.1362@mail.com)