Archive of SID

دانش انتظامی
پاییز ۱۳۸۱، شماره ٤(۳)
صفحات: ۱٤۹-۱٤٥

ارایه یک نرم‌افزار جدید جهت پیش‌بینی نحوه گسترش حملات بیولوژیک

سیداحمد میرزایی .Ph. D

آدرس مکاتبه: دانشگاه مالک اشتر ـ تهران ـ ایران

خلاصه

برای پیش‌بینی نحوه گسترش یک توده میکروبی هنگام حملات بیولوژیک، مدل‌های مختلفی تهیه شده است. مدل پیشنهادی این تحقیق، ارایه برنامه کامپیوتری برای بررسی رفتار دینامیک توده بیولوژیک بر مبنای تئوری نفوذ و جابجایی است که از اصول انتقال جرم حاصل شده است. در این برنامه حالت‌های چند منبعی برای منابع آنی و تدریجی، همچنین مرگ میکروارگانیسم‌ها بر اثر عوامل محیطی و ثابت مرگ (تابع غیرخطی) در نظر گرفته شده است. با استفاده از این برنامه کامپیوتری می‌توان برای یک میدان به ابعاد ۲۰۰۰×۲۰۰۰ مترمربع، غلظت توده بیولوژیک زنده را در قطعات ۱۰×۱۰ مترمربع به صورت گرافیکی نشان داد. اطلاعات اولیه مورد نیاز این برنامه (ورودی) بسیار کم بوده و به سهولت در دسترس قرار می‌گیرند. ورودی‌های مورد نیاز از اطلاعات هواشناسی و اطلاعات آزمایشگاهی تهیه می‌گردند. بنابراین تمامی تاثیرات جانبی، مانند پایداری اتمسفری، رطوبت و شدت تابش در مدل داده شده مورد توجه قرار گرفته‌اند.

واژه‌های کلیدی: آئروبیولوژی، حملات بیولوژیک، مدل‌سازی (شبیه‌سازی)، تئوری نفوذ و جابجایی، پخش آئروسل.

مقدمه

بررسی رفتار دینامیک میکروارگانیسم‌ها، بخشی از علم آئروبیولوژی است که در آن نحوه حرکت یک توده میکروبی مورد مطالعه گرفته و یا شبیه‌سازی می‌گردد. از این مطالعات در موارد مختلف مانند: رها شدن اتفاقی میکروارگانیسم‌ها از فرمانتور، برج‌های خنک‌کننده [۲و۱]، کمپوست [۳]، هوا دهنده‌های مکانیکی، دفن زباله شهری و مرکز تصفیه فاضلاب[۴،۵] و فعالیت‌های کشاورزی [۶]، رهاسازی میکروارگانیسم‌های دست‌کاری شده در میدان [۷]، بکارگیری آفت‌کش‌های میکروبی [۸] و نیز برای تعیین غلظت ذرات بیولوژیک پخش شده استفاده می‌گردد. علم آئروبیولوژی در حقیقت از ابتدا در مراکز تحقیقاتی نظامی و برای بررسی رفتار میکروارگانیسم‌ها در هوا هنگام یک اپیدمی در بین نیروهای نظامی و حمله بیولوژیک متولد گردید[۹].

در سال‌های اخیر توجه به خطرات حملات بیولوژیک و یا تروریستی بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته و موضوع شبیه‌سازی اهمیت ویژه‌ای یافته است. از این‌رو، در ده سال اخیر تعداد متنابهی نرم‌افزار در این رابطه منتشر شده است [۱۰].

از جمله این نرم‌افزارها می‌توان به نمونه‌های زیر اشاره نمود:

- BWDAD (Biological Warfare Defense Anchor Desk)

Simulation model) −BITLS (Biological Integration Team Large area

-GRIP (Global Response Incident Planner)

-MMT and E (Military Medical Traning and Evaluation)

www.SID.ir

Archive of SID

-AAHAWS (Automated Atmospheric Hazard Assessment Warning System)

از آنجا که دستیابی به منبع این نرم‌افزارها برای ما مشکل است و نیز با توجه به این‌که نرم‌افزارهای فوق برای شرایط خاصی در کشورهایی مانند آمریکا تهیه شده است، نیاز به تهیه یک نرم‌افزار با شرایط ایران از چند سال پیش احساس شد. در این رابطه نرم‌افزار DGRAPH-10 که بر مبنای اصول انتقال و تئوری نفوذ، برای پیشگویی رفتار دینامیک یک توده باکتریای می‌باشد تهیه گردید.

مدل ریاضی

برای مدل‌سازی پخش در حالت دینامیک از مدل نفوذ در حالت دو بعدی استفاده شده است:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(kx\frac{\partial c}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(ky\frac{\partial c}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial t}\left(kt\frac{\partial c}{\partial t}\right)=$$

$$ux\frac{\partial c}{\partial x}+uy\frac{\partial c}{\partial y}+ut\frac{\partial c}{\partial t}$$

K_X, K_y, K_T در این معادله ضریب نفوذ در هم (Turbulent) و U_X, U_Y, U_t سرعت سیال حامل ذرات می‌باشند. ضرایب نفوذ درهم، تابع پارامترهای مختلفی هستند که از آن جمله می‌توان به قطر ذرات پخش شده، سرعت اولیه، دانسته، حجمی که ذرات اشغال کرده‌اند، فاصله‌ای که ذرات طی کرده‌اند و غیره اشاره کرد. در هر حال، این مدل براساس روش عددی تفاضل محدود (Finit Difference Method) می‌باشد. برای این ضرایب، مدل با محدوده ثابتی را گزارش کرده‌اند. افزون براین، درنظر گرفتن مقدار متوسط برای ضرایب نفوذ درهم، در مقالات دیگری هم مورد اشاره قرار گرفته است[۱۱]. سرعت ذرات به طور عمده به ناهمواری زمین، دما و گرادیان رطوبت بستگی دارد [۱۲،۱۳]. در هر حال، گرادیان سرعت روی یک سطح صاف (میدان مدل) به صورت لگاریتمی درنظر گرفته شده است. برای مدل سازی پخش در حالت دینامیک از مدل نفوذ در حالت سه بعدی نیز استفاده شده است:

۲

$$\frac{\partial c}{\partial t}=kx\frac{\partial c}{\partial x}+ky\frac{\partial c}{\partial y}-ux\frac{\partial c}{\partial x}-uy\frac{\partial c}{\partial y}+f(x,y,t)$$

بحث درباره اجرای مدل

پس از حل معادله و بدست آوردن مدل مطلوب، یک نرم‌افزار کامپیوتری به صورت گرافیکی به زبان برنامه‌نویسی فورترن تهیه گردید. اطلاعات ورودی مورد نیاز برای اجرای این نرم‌افزار، مؤلفه‌های سرعت در جهت‌های x, y میدان، ضرایب نفوذ در جهت‌های x,y مشخصات منابع آنی و تدریجی (قدرت و زمان پخش) ثابت مرگ میکروارگانیسم‌ها می‌باشد. نرم‌افزار مورد نظر به نحوی تهیه گردیده است که پس از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز از طرف کاربر، حرکت توده ابر میکروبی ایجاد شده را در زمان معین و تا مسافت ۲۰۰۰ متر به شکل گرافیکی نمایش می‌دهد. اطلاعات مورد نیاز به ترتیب عبارتند از:

۱- ضریب نفوذ توده میکروبی در جهت x, y (K_y, K_x)

۲- ضریب باد در جهت x, y (U_y, U_x)

۳- زمان لازم برای اجرا و ضریب مرگ میکروارگانیسم: زمان اجرا روی صفحه مانیتور به سرعت باد بستگی دارد. ضریب مرگ را نیز باید از طریق آزمایشگاه به دست آورد.

۴- تعداد منابع لحظه‌ای (Instantaneous) : چنان که هیچ منبع پخش لحظه‌ای (مانند حالت انفجار یک بمب بیولوژیک) وجود نداشته باشد. این رقم صفر درنظر گرفته می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

۵- تعداد منابع مداوم (Continious) : به عنوان مثالی از پخش مداوم میکروارگانیسم‌ها از یک یا چند منبع.

۶- ورودی بعدی در رابطه با مختصات x, y و نیز مقدار کل میکروارگانیسم که در هر مترمکعب پخش شده (cell/m) برای منبع (یا منابع) لحظه‌ای می‌باشد. اگر منابع لحظه‌ای صفر درنظر گرفته شده باشد پاسخ این سوالات نیز صفر است و خود به خود در روی صفحه مانیتور سوال نمی‌شود.

۷- ورودی آخر در مورد منابع مداوم است و در رابطه با مختصات x, y و مقدار کل میکروارگانیسم در هر متر مکعب و نیز مدت زمانی که منبع به‌صورت مداوم پخش می‌کند. مدت زمان پخش منبع مدام (Duration Time) با توجه به سرعت هوا تخمین زده می‌شود، بهتر است در حدی درنظر گرفته شود که نشانه مداوم بودن منبع باشد.

مثال ۱- یک بمب میکروبی حاوی یک میکروارگانیسم ضعیف (با ضریب مرگ ۰/۰۰۹ در ثانیه) و با غلظت $1E_{۱۲}$ ارگانیسم در مترمکعب توسط دشمن به‌صورت لحظه‌ای پخش می‌شود.

شرایط: سرعت باد ۰/۸ متر بر ثانیه در جهت x, y ، ضریب نفوذ ۵ مترمربع در ثانیه، مدت زمان نمایش روی صفحه مانیتور ۵۰۰ ثانیه.

در چنین حالتی از گوشه سمت چپ یک توده شروع به حرکت می‌نماید و هر چند ثانیه (برحسب سرعت باد داده شده) این توده بزرگ می‌شود و سپس یک توده بزرگ را به‌وجود می‌آورد که به طور مایل به سمت راست حرکت می‌کند. هنگام نمایش، بلافاصله در روی مانیتور دو کادر ظاهر می‌شود:

کادر اول یا کادر بزرگ و اصلی همان کادر نمایش توده میکروبی است که دارای زمینه سفید است و توده میکروبی برحسب غلظت، رنگ‌آمیزی شده است. این کادر نشان‌دهنده ابعاد ۲۰۰۰ متر می‌باشد و هر پیکسل (Pick cell) آن نشان‌دهنده ۱۰ متر است. یعنی هر پیکسل برابر یک مربع ۱۰ در ۱۰ متر است (در روی صفحه در هر محور ۲۰۰ پیکسل موجود است).

کادر دوم در کنار صفحه به شکل مستطیل نمایان می‌شود که شامل یک سری اطلاعات ثابت و یک سری اطلاعات دایم است که همراه با حرکت توده میکروبی تغییر می‌کند. اطلاعاتی که در کادر دوم نشان داده می‌شود به شرح زیر است:

اطلاعات ثابت شامل: U_x, U_y, K_x, K_y

اطلاعات متغیر شامل:

- زمان اجرا
- غلظت توده که با رنگ نشان داده شده است.

مثلاً چنان که منبع از ابتدا با غلظت حداکثر $1E ۱۲ cell/m^3$ پخش شود، رنگ قرمز نشانه حداکثر غلظت (1E ۱۲) است. این رنگ در طول زمان به صفر می‌رسد یعنی تراکم پس از گذشت مدت زمانی کم می‌شود (نشانه رقیق شدن توده است)، رنگ نارنجی غلظت کمتر و رنگ زرد کمتر از آن است، رنگ خاکستری نشانه حداقل غلظت و رنگ سفید نشانه غلظت صفر می‌باشد.

سومین اطلاعات متغیر که در کادر کناری داده می‌شود در مورد تعداد میکروب‌های زنده مانده است. به عنوان مثال چنان‌که ارگانیسم به‌طور ضعیف پخش شود (ضریب مرگ میکروب λ=۰/۰۰۹ را در نظر بگیریم) در کادر کناری در زمان‌های مختلف درصد تعداد میکروب‌های زنده مانده را به شرح زیر نشان می‌دهد:

بعد از ۲۰ ثانیه، ۸۳٪ زنده هستند

بعد از ۱۰۰ ثانیه، ۴۰٪

بعد از ۳۰۰ ثانیه، ۶٪

بعد از ۵۰۰ ثانیه ۱٪

www.SID.ir

Archive of SID

شکل شماره ۱. بزرگی این منبع و نیز میزان غلظت آلاینده و درصد میکروب‌های زنده را بعد از ۲۰ ثانیه نشان می‌دهد. همان طوری‌که مشاهده می‌شود حداکثر تراکم در مرکز توده میکروبی (به رنگ قرمز) است که چیزی در حدود 1E۱۲ می‌باشد.

شکل ۱. پخش لحظه‌ای از یک بمب حاوی یک میکروارگانیسم ضعیف به غلظت 1E۱۲ میکروب در متر مکعب (بعد از ۲۰۰ ثانیه، ۱۶/۵ درصد میکروب زنده باقی مانده است).

مثال ۲: چنان‌که یک هواپیما از مخزن خود به مدت ۲۰۰ ثانیه یک میکروارگانیسم مقاوم را رها کند، چنان‌که همان شرایط فوق‌الذکر را درنظر بگیریم ولی ضریب مرگ ارگانیسم با غلظت اولیه $1E_{۲}$. برابر ۰/۰۰۰۰۰۱ باشد (اسپوری بسیار مقاوم) (شکل ۲). حتی بعد از ۱۰۰۰ ثانیه، هنوز ۹/۹۹٪ میکروب زنده خواهیم داشت.

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۲. پخش مداوم (به مدت ۲۰۰ ثانیه) یک میکروارگانیسم مقاوم از یک مخزن به غلظت $1E_{۲}$. میکروب در متر مکعب (بعد از ۱۰۰۰ ثانیه، ۹۹/۹ درصد میکروب زنده باقی مانده است).

مثال ۲: چنان‌که یک هواپیما از مخزن خود به مدت ۲۰۰ ثانیه یک میکروارگانیسم مقاوم را رها کند، چنان‌که همان شرایط فوق‌الذکر را درنظر بگیریم ولی ضریب مرگ ارگانیسم با غلظت اولیه $1E_{۲}$. برابر ۰/۰۰۰۰۰۱ باشد (اسپوری بسیار مقاوم) (شکل ۲) حتی بعد از ۱۰۰۰ ثانیه، هنوز ۹/۹۹٪ میکروب زنده خواهیم داشت.

برخی از توانایی‌ها و محدودیت‌های مدل.

این مدل فقط روند پخش را نشان می‌دهد و براساس رنگ‌ها که نشان‌دهنده غلظت هستند و درصد زنده که در صفحه نشان داده می‌شود، می‌توان این مقدار نسبی میکروارگانیسم را در هر نقطه از توده در فاصله (X) حدس زده و به‌طور نسبتاً دقیق گفت که در هر فاصله و در هر نقطه از توده چه مقدار میکروب زنده باقی مانده است. همچنین رنگی بودن مدل به دلیل تمایز غلظت‌ها هنگام اجرای آن، یک مزیت است. در مدل فوق ابتدا بایستی موارد زیر را بدانیم:

الف. ضریب مرگ میکروب‌ها (تعداد در ثانیه) را تحت شرایط خاص جوی.

ب. سرعت متوسط باد (U برحسب متربرثانیه).

ج. ضریب نفوذ.

با دقت بیشتر در مثال شماره ۱ و با درنظر گرفتن این‌که میکروارگانیسم نسبتاً ضعیفی (ازنظر میزان مقاومت در برابر شرایط محیطی) پخش شده است، چنان‌که شخصی (با میزان تنفس ۴۵ لیتر در دقیقه) در فاصله ۸۰۰ متری از محل پخش ایستاده باشد، بیش از $E_{۵}$ ۱/۷ میکروارگانیسم زنده را در هر دقیقه تنفس می‌نماید. چنین تخمینی معنی‌دار می‌باشد حتی اگر مدل نفوذ، با فاکتور ده، اشتباه داشته باشد.

جدول ۱ نشان دهنده تغییرات غلظت توده مداوم میکروبی، در زمان‌های مختلف می‌باشد. در چنین مثالی، توان بیماری‌زایی و نیز پتانسیل آلرژن میکروارگانیسم‌های زنده و مرده، تا فواصل بیش از یک کیلومتر نیز مشکل‌آفرین خواهد بود.

جدول ۱. پیش‌بینی تغییرات غلظت توده میکروبی مداوم در زمان‌های مختلف (سرعت باد ۰/۷ m/sec ، ضریب نفوذ ۵ $m^{۲}$ / sec ، سلول رها شده $cell / m^{۳}$ $Q = 1E_{۱۲}$ مدت زمان پخش = ۳۰۰ ثانیه و ضریب مرگ=۰/۰۰۹sec)

زمان	مسافت	متوسط غلظت زنده و مرده	درصد زنده	متوسط مقدار استنشاق شده ارگانیسم زنده
ثانیه	متر	در مترمکعب	٪	در دقیقه
		۴,۰۸۶۹E۱۱		۱,۶۰۸E۱۰
		۴,۰۸۶۹E۱۱		۶,۸۳۴۷E۹
		۴,۰۸۶۹E۱۱		۲,۵۳۹۱E۹
		۲,۷۳۵E۱۱		۸,۲۷۰۶E۸
		۷,۸۲۹۳E۱۰		۹,۶۳۵۳E۷
		۵,۷۲۱۸E۱۰		۲,۸۵۳E۷
		۴,۷۵۱۶E۱۰		۹,۶۴۳۳E۶

www.SID.ir

Archive of SID

۳,۴۲۲۹E۶		۴,۱۵۶۶E۱۰		
۱,۲۴۵۸E۶		۳,۷۴۱۳E۱۰		
۴,۶۲۹۶E۵		۳,۴۲۹۴E۱۰		
۱,۷۲۲۲E۵		۳,۱۸۹۳E۱۰		

در این مثال و سایر مثال‌ها، معلوم می‌شود که غلظت توده در پایین دست به میزان پخش شده (Q) بستگی دارد که هر چند غلیظ‌تر باشد، شخص در پایین دست باد در معرض مقدار بیشتری از میکروارگانیسم قرار خواهد گرفت. همچنین هر چه میکروارگانیسم نسبت به شرایط محیطی و نیز استرس‌ها مقاوم‌تر باشد، دیرتر در فضا از بین می‌رود، به‌طوری که اگر اسپور مقاومی باشد، درصد بالایی از آن در شرایط جوی آرام تا ساعت‌ها در فضا باقی خواهد ماند. مساله دیگر درباره این مدل تاثیر سرعت باد در بقای آلودگی است. چنان‌که چند منبع را درنظر بگیریم که به‌طور لحظه‌ای نشت نمایند، مانند چند بمب که همزمان رها شده باشند. اگر باد شدید باشد، آلودگی به سرعت پراکنده خواهد شد، لیکن در صورتی‌که باد نباشد آلودگی تا مدت‌ها در محل باقی خواهد ماند. سرانجام در مورد این مدل، هرچند نسبت به مدل گوس (Pasquill, s models) امتیازاتی را داراست. لیکن این مدل، ارتفاع پخش را درنظر نمی‌گیرد برای این منظور به توسعه مدل به شکل سه بعدی نیاز است که موضوع تحقیقات وسیع‌تر بعدی می‌باشد.

تشکر و قدردانی. بدین وسیله لازم می‌دانم که از آقای دکتر منصور غیاث‌الدین و آقای یدالله دانش که در تهیه این پروژه کمک‌های ذیقیمتی انجام داده‌اند تشکر نمایم.

REFERENCE

www.SID.ir

Archive of SID

1. Lighthart B, and Frish AS (1979). Estimation of viable airborne microbes downwin from a point source. Applied and evironmental microbiology; 31(5): 700-704.

2. Peteron EW, and Lighthrat (1977). Estimation of downwind viable airborne microbes from a wet cooling tower, inclcluding settling. Microbial Ecol.; 4: 67-79.

3. Milner P, Basssett DA, and Marsh PB (1980). Dispersal of aspergllus fumigatus from sewage sludge compost piles subjected to mechanical agitation in open air. Appl Environ micerobiol; 39: 1000-1009.

4. Teitsch B, Shuval HI, and Tadmor J (1980). Die-Away kinetic of aerosoiizzed bacteria from sprinkler application of water. Applied and environmental micibiology; 39(6): 1191-1197.

5. Ganio LM, Mohr AJ, and Lighthart B (1995). A comparison between computer mddeled bio aerosol dipersion and a bioaerosol field spray event Aerobiologia; 11: 183-188.

6. Lighthart B (1984). Microbial aerosols estimated contnribution of combine harvesting to an airshed. Appl. Environ. Miccrobiol. 47(1): 430-432.

7. Seidler RI, and Hern S (1988). Special report: Release of Ice-minus recombinant bacteria. Corvallis OR Envirinmental protection agency, pp.83.

8. Flexner JL, Lighthart B, and Croft BA (1986). The effects of mocrobiol pesticides on non target beneficial arthropods. Agric. Ecosyst. Environ; 16: 200-254.

9. Dimik RL, and Akers (1969). An Introduction to experimemtal erobiology. Willey interscience N.Y London.

10. National Academy of science (1998). Chemical and biological Terrorism. Chaprir 10-11. National academy press, Washington DC.

11. Subramanian RS, and Nung RJ (1980). Atmosphersion of gaseous pollutants from a continuous source-A modle of an industrial city. AICHE symposium serice; 73: 10-24.

12. Hasnel HD (1999). Surface layer profile evaluation using a generalization of robinsons method for the determination of d and zo. Boundary layer metodology; 65: 55-67.

13. Anderson DA, Tannehill JC, and Pletcher RH (1984). Copmputational fluid mechics and heat transfer hemisphere. publishing corporation.

www.SID.ir