

## مروری بر انتشار و زیست‌پذیری بیوآئروسول‌ها در هوا

مسعود حاجیا\* Ph.D.، احمد جنیدی جعفری\*\* Ph.D.، سیدرضا حسینی‌دوست\*\*\* Ph.D.

\* دانشگاه علوم پزشکی همدان - دانشکده پزشکی - گروه میکروبی‌شناسی - همدان - ایران

\*\* دانشگاه علوم پزشکی همدان - دانشکده بهداشت - گروه آلودگی هوا و سم‌شناسی - همدان - ایران

\*\*\* دانشگاه علوم پزشکی بقیه ا.ا. (عج) - پژوهشکده طب رزمی - مرکز تحقیقات پزشکی عوامل بیولوژیک - تهران - ایران

### خلاصه

بر اساس گزارشات سازمان بهداشت جهانی در حال حاضر بیماری‌های تنفسی در مقایسه با سایر بیماری‌ها از افزایش بیشتری برخوردار می‌باشند. اقدامات پیشگیرانه جهت کاهش میزان انتقال بیماری‌ها با وجود توصیه‌های فراوان از پیشرفت رضایت‌بخشی برخوردار نبوده است. لذا در صورت وقوع یک حمله میکروبی، طبیعی خواهد بود که جمعیت کثیری تاثیرپذیرند. بررسی میزان بقا و محدوده انتشار بیوآئروسول‌ها و پارامترهای موثر در استقرار و گسترش عفونت میکروبی در یک منطقه مورد حمله نه تنها میزان دخالت هر یک را بخوبی نشان خواهد داد، بلکه این امکان را مطرح می‌سازد تا در صورت شناخت دقیق از کلیه پارامترهای تاثیرگذار بتوان با شناخت ناحیه تاثیر پذیرفته، میزان جمعیت در معرض خطر را تخمین زده و با اتخاذ اقدامات تدارکاتی مناسب در حداقل زمان ممکن بتوان به مقابله با آن پرداخته و تلفات چنین حمله‌ای را به حداقل ممکن رساند. همچنین شناخت دقیق این پارامترها این امکان را فراهم می‌نماید تا بتوان در جهت مقابله با گسترش عفونت، احتمال موفقیت شیوه‌های اجرایی مناسب نظیر ته‌نشین نمودن اجرام معلق را مورد مطالعه قرار داده، و همچنین به شرایط نفوذ و پراکندگی پاتوژن‌ها به معرفی انواع شیوه‌های حفاظتی مناسب برای افراد اقدام نموده و دستورالعمل‌های مناسب‌تری جهت ایمن‌سازی ساختمان‌ها و جلوگیری از سرعت گسترش و انتشار عفونت ارائه نمود.

واژه‌های کلیدی: بیوآئروسول، ویرولانس.

### مقدمه

می‌شود [۱]. در این حملات که به‌صورت مخفیانه و غافلگیرانه انجام می‌شود عوامل مورد نظر عمدتاً به‌صورت آئروسول استفاده می‌شوند. چرا که این شیوه مهم‌ترین راه ورود عوامل بیولوژیک به بدن افراد خواهد بود. افزون بر این، مطالعه دقیق آنها کمک خواهد نمود تا با نقش برخی از کانون‌های فعال در جامعه که سبب انتشار این عوامل می‌شوند بهتر واقف گردیم. به‌عنوان مثال می‌توان به مطالعه‌ای که در مراکز دندانپزشکی انجام گرفته است اشاره نمود [۲]. در این بررسی اشاره شده است که حجم بیوآئروسول‌ها در

حمله بیولوژیک به انتشار عمدی عامل یا عوامل بیولوژیک گفته می‌شود که سبب یک همه‌گیری در جمعیت موردنظر گردد. این انتشار می‌تواند به طرق مختلف انجام شود. در شرایط طبیعی عوامل بیماری‌زا از طریق تنفسی - گوارشی (خوراکی) و تماس مستقیم از شخصی به شخص دیگر انتقال یافته و بدین ترتیب در جامعه منتشر شده و همه‌گیری به وجود می‌آید. در حمله بیولوژیک نیز همین راه‌ها برای انتشار عمدی عامل بیولوژیک استفاده

در این مقاله کوشش شده است تا با معرفی فاکتورهای موثر در موفقیت میکروارگانسیم برای ایجاد بیماری، عوامل موثر در بقا آن در هوا و مکانیسم انتشار امکان محاسبه میزان گسترش بیواتروسولها به بحث کشیده شود.

### فاکتورهای موثر در موفقیت میکروارگانسیم برای ایجاد بیماری

عوامل متفاوتی می‌توانند در ایجاد بیماری دخالت مستقیم داشته باشند [۷-۵]. مهمترین این عوامل عبارتند از:

- تعداد میکروارگانسیم انتشار یافته
- نوع میکروارگانسیم انتشار یافته
- توانایی مقاومت ارگانسیم در محیط
- توانایی تولید توکسین و فاکتورهای تهاجمی
- مدت دوره کمون و سرعت تکثیر

توانایی گریز از سیستم‌های دفاعی که می‌تواند به صورت اجتناب از گرفتار شدن در مخاطها، اجتناب از رانده شدن به بیرون و زنده ماندن در فاگوسیتها مطرح باشد. اصولاً میکروارگانسیم‌هایی به عنوان عوامل بیولوژیک محسوب می‌گردند که بتوانند در مدت کمی جمعیت کثیری را تحت تاثیر قرار دهند و با ایجاد ضایعات منجر به مرگ آنان شده و یا به مراقبت طولانی مدت نیاز داشته باشند. هر اندازه که میکروارگانسیم در محیط بتواند بیشتر مقاومت نموده و زنده بماند احتمال انتشار آن افزایش یافته و جمعیت بیشتری در معرض خطر خواهند بود. علاوه بر این دارا بودن ویژگی‌هایی که سبب افزایش آسیب‌زایی بافتی شده و حتی المقدور عفونت سیستمیک را ایجاد نماید و همچنین در مدت کوتاه‌تری سبب بروز این ضایعات گردد عامل مهمی در افزایش قدرت بیماری‌زایی آن خواهد داشت.

### احتمال آلودگی ریه در شرایط معمولی

به طور کلی ذرات ریز میکروارگانسیم‌های بیماری‌زا و توکسین‌های مختلف بیولوژیک موجود در هوا را بیواتروسول می‌گویند هوای طبیعی شامل ذرات معلق زیادی می‌باشد و حدس زده می‌شود که تنفس ۹ لیتر هوا بر دقیقه به طور متوسط ۸۰ تا ۱۰۰۰۰ ارگانسیم وارد ریه گردیده و تنها ذرات کمتر از ۵ میکرون به آئولولها می‌رسند. اندازه باکتری‌ها در این محدوده می‌باشد. هرسلول

مقایسه با ذرات دیگر از افزایش چشم‌گیرتری برخوردار است و در صورت انتشار انواع پاتوژن از افراد بیمار و یا ناقل، ریسک آلودگی اشخاص موجود در آن منطقه به مراتب بالاتر از سایر افراد می‌باشد.

بر طبق گزارشات سازمان بهداشت جهانی میزان مرگ ناشی از بیماری‌های تنفسی در سال ۱۹۹۷ بالغ بر سه میلیون و هفتصد هزار نفر بوده که این رقم ۷/۲ درصد از کل مرگ و میر دنیا در این سال را تشکیل داده است [۳]. وجود این میزان از مرگ و میر می‌تواند حکایت از نقش موثر هوا در انتشار و گسترش عفونت‌ها باشد. دستگاه تنفسی انسان و حیوانات در هر دقیقه چندین لیتر هوا را به صورت دم و بازدم‌های متوالی مورد استفاده قرار می‌دهد. در هنگامی که هوا به صورت عمومی آلوده شده باشد آلودگی به راحتی می‌تواند در اعماق ریه جایگزین شده و از آنجا سایر اعضا را تهدید کند. بیواتروسولها از نظر اندازه و مواد تشکیل دهنده بسیار متغیرند. به‌طور کلی بیواتروسولها شامل میکروارگانسیم‌ها، توکسین‌ها و ذراتی هستند که به آنها چسبیده‌اند. مثل بخار آب، گردوخاک و انواع گازهایی که آئروسولها در آن معلق می‌شوند. قطر بیواتروسولها از ۰/۲ میکرومتر تا ۱۰۰ میکرومتر متغیر می‌باشند و بر اساس قطرشان به سه گروه تقسیم‌بندی شده‌اند. بیواتروسول‌های نسبتاً ریز که قطر آنها کمتر از میکرومتر بوده به عنوان مدل هسته‌ای در نظر گرفته می‌شوند. گروه دوم بیواتروسول‌هایی که قطرشان ۰/۱ تا ۲ میکرومتر بوده و مدل توده‌ای نام دارند. گروه سوم شامل بیواتروسول‌های بزرگتر هستند که مدل درشت می‌باشند. ترکیب بیواتروسولها مایع، جامد و یا مخلوطی از هر دو می‌باشد. بیشتر عوامل بیولوژیک برای این‌که بتوانند برای آلوده کردن هوا استفاده شوند باید به صورت پودر (خشک) و یا آئروسول و قطرات ریز مایع آماده شوند [۴]. امروزه با توجه به محدودیت‌های خاصی که برخی از ارگانسیم‌ها دارا هستند، به منظور موثرتر ساختن آنها از شیوه‌های متفاوتی استفاده می‌گردد. همچنین بدیهی خواهد بود، شناخت صحیح نحوه تاثیرگذاری پارامتری‌های مطرح بتوان، از روش‌های نوینی جهت کنترل عفونت و غیر فعال نمودن آنها اقدام نمود.

ماندن به صورت آئروسول افزایش می‌دهد [۹]. با این وجود ارگانیسم‌هایی که فاقد چنین مکانیسم‌های ویژه‌ای هستند، اغلب چند ثانیه بیشتر نمی‌توانند به صورت آئروسول باقی بمانند. بنابراین توانایی حیات میکروارگانیسم‌ها تا حد زیادی به شرایط محیط و مدت زمانی که ارگانیسم‌ها در محیط سپری می‌کنند و نوع میکروارگانیسم‌ها بستگی دارد.

**رطوبت نسبی.** مشخص شده است که رطوبت نسبی یا میزان آب نسبی هوا، عامل اصلی زنده ماندن یا پایداری میکروارگانیسم‌ها در هوا می‌باشد، زمانی رطوبت نسبی به ۱۰۰ درصد نزدیک می‌شود، میزان مرگ اشرفیا کلی افزایش می‌یابد [۱۰]. امروزه مشخص شده است که اکثر باکتری‌های گرم منفی که به صورت آئروسول درآمده‌اند، در رطوبت‌های نسبی پایین‌تر به مدت بیشتری زنده می‌مانند ولی در باکتری‌های گرم مثبت عکس مطلب بالا صادق است، یعنی در حضور رطوبت نسبی بالا زمان بیشتری پایدار می‌مانند. بنابراین توانایی یک میکروارگانیسم برای پایداری و زنده ماندن در حالت بیوآئروسول به بیوشیمی سطح ارگانیسم نظیر تغییر در ساختمان دو لایه‌ای غشای سلولی بستگی دارد. بررسی‌ها ثابت کرده است که ویروس انفلوآنزا نیز با افزایش رطوبت نسبی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. این مطالعات نشان می‌دهند ویروس‌هایی که دارای پوشش هستند (همانند ویروس انفلوآنزا)، در زمانی که رطوبت نسبی پایین‌تر از ۵۰ درصد است، پایداری بیشتری در هوا دارند، در حالی که ویروس‌های فاقد پوشش (مانند ویروس‌های روده‌ای) در رطوبت نسبی بالای ۵۰ درصد بسیار پایدار و مقاوم می‌باشند. البته باید توجه داشت که ویروس‌های واجد پوشش، در حالت آئروسولی پایداری و مقاومت بیشتری نسبت به ویروس‌های فاقد پوشش دارند. به‌طور کلی بعضی از ویروس‌ها در مقادیر بالایی از رطوبت نسبی پایدارند، که این خصوصیت آنها را به پاتوژن‌های بسیار خطرناک منتقل شونده از طریق هوا تبدیل کرده است.

**دما.** یکی از فاکتورهای اصلی در غیر فعال شدن میکروارگانیسم‌ها درجه حرارت محیط می‌باشند. معمولاً دمای بالا باعث افزایش سرعت غیر فعال شدن میکروارگانیسم‌ها می‌گردد. این تأثیر اساساً به خشکی و دناتوره شدن پروتئین‌های سلولی وابسته است. از طرف دیگر دمای پایین مدت زمان مقاومت میکروارگانیسم‌ها را

مژکدار حاوی حدود ۲۰۰ مژک بوده که به‌طور هماهنگ ۱۰۰۰ بار در دقیقه حرکت می‌کنند. مژک‌ها از دو لایه مایع که ۱۰-۵ نانومتر ضخامت دارد پوشانده شد [۸]. لایه خارجی از خصوصیت ویسکوزی برخوردار بوده که ذرات در آن گرفتار می‌شوند. البته لازم به تأکید می‌باشد که ناحیه فوقانی دستگاه تنفسی با فلور کومنسال مفروش می‌باشد. اعتقاد بر این است که ناحیه تحتانی فاقد فلور باکتریایی بوده. گرچه ممکن است تعدادی از میکروارگانیسم‌ها توسط تنفس به صورت موقتی انتقال یافته ولی در افراد سالم به سرعت حذف می‌گردند. مژک‌هایی که در سطح اپیتلیوم مخاطی مفروش هستند در حذف اجرام خارجی به خوبی عمل می‌کنند. ذرات خارجی توسط مخاط موجود در سطح اپیتلیوم گرفتار شده و به طرف بالا رانده می‌شوند. این مژک‌ها از انتهای برونشیول‌ها تا سطح خلفی نازوفارنکس امتداد دارند. این مواد ممکن است بلعیده شده یا توسط سرفه به بیرون انتقال یابند. سرفه یک رفلکس مناسب و مهم برای این منظور است و عواملی نظیر مواد بی‌حس‌کننده، الکل و داروهای خواب‌آور می‌توانند از عمل طبیعی مژک‌ها ممانعت به عمل آورند. علاوه بر این سایر مکانیسم‌های دفاعی دیگر نیز در این موارد دخالت می‌نمایند. عوامل ضد میکروبی در جریان خون به دو صورت اختصاصی و غیراختصاصی عمل می‌کنند. از عوامل ضد میکروبی غیراختصاصی می‌توان به لاکتوفرین، لیزوزیم، آنتی‌تریپسین و کمپلمان اشاره نمود، عوامل ضد میکروبی اختصاصی شامل آنتی‌بادی‌ها و اینترفرون می‌باشند. هر دو دسته نقش مهمی را در حذف عفونت بر عهده دارند. علاوه بر این، سطوح مخاطی، محل مناسبی را برای دفاع سلولی و غیر سلولی میزبان فراهم می‌نمایند.

### عوامل موثر در بقای میکروارگانیسم‌های هوا

اتمسفر یک محیط نامساعد برای میکروارگانیسم‌ها به‌خصوص به علت خشکی می‌باشد. این عامل باعث ایجاد محدودیتی می‌شود که در آن میکروب‌ها می‌توانند به صورت بیولوژیکی فعال باقی بمانند. اگرچه بسیاری از میکروارگانیسم‌ها واجد مکانیسم‌های مخصوصی هستند که آنها را قادر می‌سازد تا در برابر فاکتورهای متعدد محیطی تا اندازه‌ای مقاوم باشند، این فاکتورها آنها را در شرایط نامساعد محیطی محافظت کرده و توانایی آنها را برای باقی

متفاوت باشد [۴،۱۱،۱۲]. مهمترین و مورد توجه‌ترین لایه در آئرومیکروبیولوژی لایه مرزی (Boundary layer) می‌باشد که به اتمسفر زمین تا ارتفاع تقریباً ۱۰۰ متری از سطح زمین گفته می‌شود. لایه مرزی از سه قسمت تشکیل شده است: لایه مرزی لامین (Laminar boundary layer)، لایه مرزی متلاطم یا آشفته (Turbulent boundary layer)، و لایه چرخنده محلی یا گردباد بومی (local eddy layer). لایه مرزی لامینار لایه‌ای از هوای ساکن است که با زمین و همه سطوح، اعم از جامد و مایع مرتبط می‌باشد. این لایه می‌تواند در هر جایی و با ضخامت متفاوت (تا چند متر) وجود داشته باشد، که این امر بستگی به وضعیت هوا دارد. شرایط هوایی آرام می‌تواند باعث افزایش ضخامت این لایه و وضعیت طوفانی سبب کاهش آن می‌شود. لایه مرزی متلاطم، لایه‌ای است که همیشه در حال حرکت بوده، و مسئول پدیده جابجایی افقی یا مسطح (انتشار توسط باد) می‌باشد. در سطوح پایین‌تر این لایه، جریان طولی هوا توسط پرتاب‌های سطحی و لایه‌های مرزی لامینار قطع می‌شود و لایه چرخنده محل واقعی تلاقی بین لایه مرزی لامینار ساکن و لایه مرزی متلاطم می‌باشد.

**مکانیسم انتشار.** انتقال بیوائروس‌ها در هوا از طریق رها شدن، انتشار و ته‌نشینی می‌باشند. بدیهی است برای فهم شیوه انتشار، این سه فرایند (یعنی رها شدن میکروارگانیسم‌ها، جابجایی، و ته‌نشینی)، دارای اهمیت یکسانی می‌باشند [۱۱،۱۳].

**رها شدن.** به فرایندی که به موجب آن ذرات در داخل اتمسفر زمین معلق می‌شوند، رها شدن اطلاق می‌شود. رها شدن ذرات به داخل لایه‌های مرزی سطحی صورت می‌گیرد، اما به آن محدود نمی‌شود. ذرات موجود در هوا می‌توانند از کانون‌های نقطه‌ای، خطی، و یا مسطح رها شوند. یک منبع نقطه‌ای محلی مجزا و معین برای پرتاب ذرات مانند توده ای از مواد جامد زیستی قبل از پراکنده شدن آنها روی زمین می‌باشد. منابع نقطه‌ای معمولاً به ایجاد یک انتشار مخروطی شکل تمایل دارند. همچنین منابع نقطه‌ای می‌توانند بر اساس نوع پدیده رها کننده مشخص شوند. منابع خطی دارای محل‌های نامشخصی می‌باشند. همچنین منابع مسطح و خطی را می‌توان به مبداهای رها کننده آبی و مداوم

زیاد می‌کند. اگرچه زمانی که دما به نقطه انجماد نزدیک می‌شود، زیست‌پذیری و بقای بعضی از ارگانیسم‌ها به علت تشکیل کریستال‌های یخ روی سطح آنها کاهش می‌یابد. اثرات دما در هر حال به فاکتورهای محیطی بسیار زیادی مانند رطوبت نسبی وابسته است.

**انرژی تابشی.** حرارت ناشی از نور خورشید نیز بر روی میکروارگانیسم‌ها اثر نامطلوب دارد البته اثر میکروب‌کشی آفتاب به انواع اشعه موجود در آن برمی‌گردد. منبع اصلی آسیب‌رسانی پرتوی به میکروارگانیسم‌ها یعنی باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها و پروتوزواها، طول موج‌های پایین‌تر از UV و پرتوهای یونیزه کننده مانند اشعه X می‌باشند. این پرتوها آسیب‌های گوناگونی را به DNA وارد می‌کنند، که محدود شدن فعالیت بیولوژیکی سلول مانند همانندسازی ژنوم، نسخه‌برداری و ترجمه است. مکانیسم‌های متعددی برای محافظت ارگانیسم‌ها از آسیب پرتوی شناخته شده است. این مکانیسم‌ها شامل چسبیدن میکروب‌ها به ذرات بزرگتر در هوا، داشتن پیگمان، رطوبت نسبی بالا و یا وجود پوشش ابر می‌باشد که همه آنها قادر به محافظت بیوائروس‌ها در برابر پرتوها می‌شوند.

شانس زنده ماندن و بقای عوامل بیولوژیک در اتمسفر به قدرت آنها در تحمل اشعه ماورای بنفش نور خورشید و نیز تحمل خشکی بستگی دارد. بعضی از میکروارگانیسم‌ها می‌توانند از طریق تبدیل به اسپور تا مدت زمان طولانی شرایط نامطلوب را تحمل کنند. در حالی که میکروارگانیسم‌های دیگر بیش از چند دقیقه بقا ندارند. نکته جالب توجه این که وقتی آئروس‌ها وارد ساختمان‌ها (اماکن سرپوشیده) شوند تحت تأثیر عوامل فوق‌الاشاره قرار نداشته و بنابراین تا مدت طولانی‌تری زنده و فعال باقی می‌مانند. از این گذشته میکروارگانیسم‌های حساس را می‌توان درون محفظه‌های کوچک بنام کپسول جاسازی کرده و آنها را با ثبات‌تر کرد.

**اتم‌سفر.** اطلاع دقیق از وضعیت هواشناسی و پیش‌بینی دقیق از جریان‌های هوایی و سرعت باد در میزان انتشار بیوائروس‌ها کاملاً موثر می‌باشد. لذا آشنایی با جریان‌های هوایی جهت پیش‌بینی نمودن محدوده انتشار کاملاً ضروری است. بسته به این که آئروس‌ها در چه لایه‌ای از سطح زمین رها شود. نحوه انتشار آنها می‌تواند

تقسیم کرد. برای مثال یک منبع خطی آنی ممکن است یک هواپیمای در حال پرواز باشد که یک عامل بیولوژیک را در آسمان رها می‌کند. همچنین یک کانون مسطح مداوم ممکن است نمونه‌ای از رها شدن بیوآئروسول‌ها از سطح زمین باشد.

**جابجایی.** جابجایی ذرات و یا انتشار، فرایندی است که طی آن انرژی جنبشی حاصل از حرکت هوا به ذرات موجود در هوا منتقل شده و باعث حرکت ذرات از یک نقطه به نقطه دیگر می‌شود. این انرژی جنبشی که توسط ذرات موجود در هوا گرفته می‌شود. قابل توجه بوده و می‌تواند باعث انتشار میکروارگانیسم‌های هوا به مسافت‌های طولانی گردد. جابجایی ذرات در سه مقیاس قابل بررسی می‌باشد. در حالت اول در زمان کوتاهی یعنی کمتر از ۱۰ دقیقه بوده که در مسافت‌های نسبتاً کوتاه کمتر از ۱۰۰ متر جابجا می‌شوند. این نوع انتقال معمولاً در داخل ساختمان‌ها یا سایر فضاهای محصور انجام می‌شود. در حالت دوم بیوآئروسول‌ها از ۱۰ دقیقه تا ۱ ساعت و از ۱۰۰ متر تا ۱ کیلومتر منتقل می‌گردند که معمول‌ترین نوع پدیده انتقال است. در حالت سوم جابجایی به انتقال‌های روزانه و مسافت‌های بیشتر از ۱۰۰ کیلو متر گفته می‌شود که طول زمان انتشار و مسافت آن بسیار زیاد می‌باشد. چون اغلب میکروارگانیسم‌ها زمانی که در اتمسفر به حالت تعلیق در می‌آیند، توانایی محدودی برای زنده ماندن دارند، اندازه‌های بسیار معمول مورد مطالعه حالت‌های اول و دوم می‌باشد. اگرچه باید توجه شود که بعضی از ویروس‌ها، اسپورها، و باکتری‌های تشکیل‌دهنده اسپورها، می‌توانند انتقالی نظیر حالت سوم را دارا باشند. همه‌گیری بیماری تب برفکی گزارش شده است که حتی بیش از ۶۰ کیلومتر توسط باد انتشار یافته است. بررسی‌های دیگر نشان داده است که کلی فرم‌های آئروسول شده حاصل از مخازن بازیابی فاضلاب بیشتر از ۱/۲ کیلومتر جابجا شده‌اند [۴،۱۰]. نحوه انتشار می‌تواند نسبت به وجود یا عدم وجود جریان باد متفاوت باشد. برای تجسم این مفهوم می‌توان تصور نمود که در نزدیکی درب اتاقی ایستاده‌ایم و در آنجا شخصی یک شمع دودزا را در دست دارد، اگر جریان هوا در اتاق وجود نداشته باشد، سرانجام دود شمع، بسیار آرام و ملایم در نزدیکی درب خواهد رسید، دود به مقدار بسیار زیادی منتشر خواهد شد و علاوه بر آن در جهت‌های

دیگری نیز پخش می‌شود. اما اگر در پشت شخصی که شمع دودزا را در دست دارد یک فن وجود داشته باشد، دود شمع توسط جریان هوایی که ایجاد شده، حمل خواهد شد. در این حالت دود همانند حالت قبل، همان مسافت را طی خواهد کرد، اما حرکت دود در اینجا سریعتر بوده و در فضای اتاق کمتر منتشر می‌شود و در نتیجه هنگامی که دود به شما برسد بسیار غلیظتر خواهد بود. بر همین اساس به نظر می‌رسد انتشار عوامل بیولوژیک در داخل ساختمان‌ها و فضاهای بسته سبب ضایعات انسانی بیشتری گردد. البته نوع سیستم تهویه بکار گرفته شده و میزان نفوذپذیری پنجره‌ها نسبت به هوای بیرون می‌باید به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرد.

### تأثیر پستی و بلندی‌های منطقه بر انتشار عوامل

**بیولوژیک.** عوارض طبیعی زمین و تأسیسات احداثی نیز از جمله پارامترهایی هستند که انتشار عامل بیولوژیک را تحت تأثیر قرار می‌دهند. دشت‌های باز و مسطح همواره مناسب‌تر و مطلوب‌تر از نواحی دارای پستی و بلندی‌های شدید برای انتشار عوامل بیولوژیک هستند [۱۲]. وقتی ابر آئروسولی از روی دره‌ها و باتلاق‌ها عبور کرد، خود آئروسول‌ها می‌توانند تا مدتی روی سطح آن باقی بمانند. به همین ترتیب در نواحی شهری که ساختمان‌های بلند و کوتاه وجود دارد و یا در نواحی جنگلی، پس از عبور توده اصلی آئروسول مقداری از آن تا مدت‌ها در ارتفاع نزدیک سطح زمین باقی مانده و محیط را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

**ته‌نشینی.** در نهایت بیوآئروسول‌های موجود در هوا، تلاطم گاز معلق کننده را رها کرده و در کنار هم روی یک سطح و یا با ترکیبی از مکانیسم‌های مرتبط به هم ته‌نشین می‌شوند. این مکانیسم‌ها به‌طور خلاصه عبارتند از: رسوب گرانشی، انتشار مولکولی رو به پایین، برخورد یا ممانعت سطحی، شستشو به وسیله باران، و ته‌نشینی الکترواستاتیکی. قطر و وزن بیوآئروسول‌ها در این راستا از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. البته بدهی است در شرایط محیطی با طرق متفاوت بتوان در سرعت ته‌نشینی تأثیرگذار بود و به شیوه‌های گوناگونی در جهت افزایش آن اقدام نمود.

سرعت باد، رطوبت، دما و زمان و وسعت منطقه مورد نظر در کیفیت انتشار عوامل بیماری‌زا تأثیرگذار هستند، در داخل فضاهای بسته مثل داخل ساختمان‌ها، نحوه طراحی و عملکرد سیستم تهویه حائز اهمیت می‌باشد. توجه داشته باشیم که هم در فضای باز و هم در فضای بسته تراکم آئروسول‌های ایجاد شده در طول زمان کمتر شده و رقیق می‌شود.

تجهیزات و وسایل ایجاد کننده آئروسول می‌توانند یک ابر قابل رویتی متشکل از ذرات و قطراتی به اندازه ۱۰-۰/۵ میکرومتر از جمله میکروب‌های بیماری‌زا را بر فراز منطقه عملیات به وجود آورند که برای مدت نسبتاً طولانی به صورت معلق در فضا مانده و رفته رفته به سطح زمین می‌رسند. ذرات کوچکتر که بالطبع سبک‌تر نیز می‌باشند قادر به ورود به سیستم تنفسی انسان نبوده و تحت شرایط جوی متغیر تا مدت‌ها به حالت معلق باقی می‌مانند و یا به نقاط دور دست‌تر انتقال می‌یابند. دوز لازم برای ایجاد بیماری‌های تنفسی معمولاً کمتر از دوز لازم برای ایجاد بیماری‌های گوارشی در شرایط طبیعی است و بیماری حاصله نسبت به شرایط طبیعی سیر متفاوت داشته و دوره کمون آن نیز کوتاه‌تر خواهد بود.

### بحث و نتیجه گیری

مطالعه مطالب گردآوری شده موید آن است که در صورت وقوع یک حمله میکروبی به شرط آگاهی دقیق از عوامل گوناگون محیطی بتوان محدود انتشار این حادثه را پیش‌بینی نمود و با محاسبات آماری ناحیه‌ای که تأثیر پذیرفته مشخص نمود. دو فاکتور اساسی در این پیش‌بینی عبارتند از:

۱. جریان‌های هوایی و شرایط اقلیمی منطقه
۲. ویژگی و خصوصیات عامل و یا عوامل بیولوژیک بکار گرفته شده
۳. نحوه پخش آن.

علاوه بر مطلب فوق، مطالعه مباحث اشاره شده اهمیت برخی از نکات دیگر را به خوبی روشن خواهد نمود که اهم آنها به قرار زیر است.

۱. در حملات بیولوژیک اندازه بیوآئروسول‌ها نقش تعیین کننده در میزان انتشار آنان خواهد داشت.

### جداسازی ذرات در اتمسفر بوسیله رسوب یا ته‌نشینی.

در صورتیکه ذرات کروی فرض گردند رسوب آزاد ذرات از رابطه استوکس تبعیت می‌نماید<sup>۱</sup>.

$$V = \frac{2(Pp - Pa)R^2g}{9\mu}$$

این قانون در هوا با تقریب ۵٪ برای ذرات به وزن مخصوص واحد و قطر ۲۹ میکرون صادق است و با افزایش قطر دقت کاهش می‌یابد. در صورتی که ذرات غیر کروی باشند می‌توان دوسوم سرعت محاسبه شده برای ذرات کروی مد نظر قرار داد.

**مدل پراکندگی آلاینده‌ها.** برای بررسی توزیع پراکندگی آلاینده‌های بیولوژیک از مدل‌های ریاضی و تجربی می‌توان استفاده نمود. البته بدیهی است با توجه به نحوه انتشار عوامل بیولوژیک که ممکن است از کانون‌های نقطه‌ای، خطی و صفحه‌ای باشد، مدل ریاضی آن متفاوت است.

**اشکال و نحوه استفاده از عوامل بیولوژیک.** برای آلوده کردن فضای یک شهر یا منطقه عوامل بیولوژیک باید به صورت پودر و یا آئروسول بر فراز آن منتشر شود. وسیله مورد نظر هر چه که باشد باید بتواند به سرعت و در سطح وسیع عامل مورد نظر را به اصطلاح اسپری کند [۱۸، ۴-۱۶]. دستگاه اسپری کننده ممکن است در داخل هواپیما، هلی‌کوپتر، کشتی و سایر سلاح‌های متعارف مثل موشک، گلوله توپ، خمپاره و غیره جاسازی شود و از آنجا به بیرون پرتاب گردد.

عوامل بیولوژیک در داخل سلاح بیولوژیک (بمب، موشک، خمپاره و گلوله توپ) جاسازی شده و توسط آنها به سوی منطقه هدف پرتاب می‌شود. برای انتشار عوامل بیولوژیک، ایده‌آل‌ترین روش ایجاد یک ابر آئروسولی است که محتوی عامل مورد نظر باشد در موقع انفجار سلاح بیولوژیک اندازه تمامی ذرات تشکیل شده یکسان نمی‌باشد. تعدادی از عوامل بیولوژیک داخل آن تحت تأثیر فشار موجود و گرمای ایجاد شده نابود می‌شوند. با این حال با محاسبات قبلی باید آنقدر عامل بیولوژیک درون سلاح جاسازی شود که پس از انفجار به اندازه کافی فضا را آلوده سازد. اندازه ذرات و آئروسول‌ها و بعضی از فاکتورهای محیطی مثل آب، هوا،

<sup>۱</sup> R شعاع ذره،  $\mu$  ویسکوزیته هوا،  $p_p$  دانسیته ذره،  $P_a$  دانسیته گاز

## REFERENCE

1. Jortane SA, Snyder JW, Valdes Jr R (2000). The role of the clinical laboratory in managing chemical or biological terrorism. *J:Chin Chem*;46(12): 1883-93.
2. Grenier D (1995). Quantitative analysis of bacterial aerosols in two different dental clinic environments. *J Appl Environ Microbiol*; 1995;61(8): 3165-8.
3. Mandell GL, Bennett JE, Dolin R (2000). Principles and Practice disease of infectious Disease., 5th edition. Churchill Livingstone. pp. 2424-2434.
۴. حسینی دوست سید رضا، حاجیا مسعود، حسینی سید جواد (و سایر همکاران). بیوتوریزم و سلاح‌های بیولوژیک. انتشارات اندیشمند. ۱۳۸۱.
۵. حاجیا مسعود، جنیدی جعفری احمد، حسینی دوست سید رضا. مطالعه تاثیر پارامترهای گوناگون در انتشار بیوائروس‌ها در هنگام تک بیولوژیک. کنگره سراسری طب نظامی دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله مره ماه ۱۳۸۱.
6. Alksne LE, Projan SJ (2000). Bacterial virulence as a target for antimicrobial chemotherapy. *J Curr Opin Biotechnol*; 11(6): 625-36.
7. Cole EC, Cook CE (1998). Characterization of infectious aerosols in health care facilities; an aid to effective engineering controls and preventive strategies. *Am J Infect Control*; 26(4): 453-64.
8. Fengxiang C, Qingxuan H, Lingying M, Junbao L (1992). Particle diameter of the airborne microorganisms over Beijing and Tianjin area. *Aerobiologia*; 8: 297-300.
9. Tivola M, Alm S, Reponen T (2002). Personal exposures and microenvironmental concentrations of particles and bioaerosols. *J. Environ. Monit*; 4(1): 166-74.
10. Burge, H A (1995). Bioaerosols. Lewis Publishers, Boca Raton, LA. Committee on Particulate Control Technology. Controlling Airborne Particles. Environmental Studies Board, National Research Council, National academy of Sciences, Washington DC.
11. Dowd SE, Maier RM (1995). Aeromicrobiology. in "Environmental Microbiology" Eds: Maier RM, Pepper IL, Cerba CP. Academic Press.
12. Monn C, Koren HS (1999). Bioaerosols in ambient air particulates: a review and research needs. *Res Environ Health*; 14(2): 79-89.
۱۳. شاه حسینی محمد حسن. دفاع در برابر جنگ بیولوژیک و بیوتوریزم جلد ۱. سازمان تحقیقات نیروی بسیج ۱۳۸۱.
14. Menetrez MY, Foarde kk, Ensor DS (2001). An analytical method for the measurement of nonviable bioaerosols. *J Air Waste Manag. Assoc*; 51(10): 1436- 42.
15. Dowd SE (1999) Mathematical Modeling and risk assessment of airborne microbial pathogens in association with the land application of biosolids. *J Environ. Quality*;
۱۶. سقایی محمود. تجزیه و تحلیل سلاح‌های کشتار جمعی. همایش دفاع در برابر بیوتوریزم. دانشگاه امام حسین ۱۳۸۱.
۱۷. حاتمی حسین. بیوتوریزم. نشر صدا. ۱۳۸۱.
۱۸. شاه حسینی محمد حسن. سلاح‌های بیولوژیک عراق. همایش دفاع در برابر بیوتوریزم. دانشگاه امام حسین ۱۳۸۱.

۲. جهت تخمین میزان انتقال آگاهی از نحوه پراگندگی و شیوه بکار گرفته شده در انتشار عوامل از اهمیت ویژه ای برخوردار است. انتشار عوامل بیولوژیک در لایه‌های متفاوت هوا در میزان و نحوه گسترش آنها اثر تعیین کننده دارد
۱. آشنایی با چگونگی انتقال عوامل در شرایط محیطی منوط به آگاهی دقیق از عوامل متفاوت و تاثیر گذار محیطی می‌باشد.
۲. هر عامل بیولوژیک جهت تاثیر بهتر احتیاج به شرایط زمانی ویژه‌ای دارد.
۳. شناسایی و تعیین نوع عامل بیولوژیک استفاده شده این امکان را فراهم می‌نماید تا با پی بردن به ویژگی‌های اختصاصی میکروارگانیسم. میزان پایداری آن در محیط تخمین زده شود.
۴. در حملات بیولوژیک اثر پذیری افراد ساکن در ساختمان‌هایی که از نفوذپذیری بالا و امکانات تهویه مطلوب برخوردار نباشند به مراتب می‌تواند بیش از افراد مستقر در فضای باز باشد.
۵. در حملات بیولوژیک شرایط جوی در پایداری و انتشار عوامل میکروبی از تاثیر اساسی برخوردار است.
۶. وضعیت آلودگی هوا و میزان ذرات معلق هوا در پایداری میکروارگانیسم‌ها در منطقه انتشار یافته می‌تواند دارای نقش اصلی باشد.

### تقدیر و تشکر

بدین وسیله از آقایان علی نجفی و سعید حسینی مجد که از پرسنل مرکز تحقیقات پزشکی عوامل بیولوژیک بود و در تهیه این نوشتار ما را یارای نمودند تشکر می‌گردد.

