

حذف سودوموناس آئروژینوزا از هوای بیمارستان‌ها و مراکز درمانی با استفاده از امواج ریزموج

فیروز ولی پور^۱، عباس رضایی^۲، محمد سالم^۳، سپیده نوریان^۳، لیلا معتمدپور^۴

۱. گروه بهداشت حرفه‌ای، مرکز تحقیقات بهداشت، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

۲. گروه بهداشت محیط، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳. گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۴. گروه انگل‌شناسی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

زمینه و اهداف: عوامل باکتریایی موجود در هوای محیط کار بیمارستان‌ها و مراکز درمانی می‌توانند به عنوان یک عامل زیان‌آور شغلی عمل نمایند. این مطالعه باهدف استفاده از امواج ریزموج در حذف سودوموناس آئروژینوزا از هوا به عنوان یک مدل بیوآئروسلی انجام شد.

مواد و روش کار: در این مطالعه امواج ریزموج با توان‌های ۱۸۰، ۳۶۰ و ۵۴۰ وات در واکنشگاهی (راکتوری) که با ظرفیت ۱۳۰۰ سی‌سی طراحی شده بود مورد استفاده قرار گرفت. سویه باکتری مورد استفاده در این مطالعه سودوموناس آئروژینوزا (ATCC: 27853) بود. غلظت هواویز (آئروسول) باکتری مورد استفاده در محدوده 10^7 و 10^6 عدد باکتری در هر میلی لیتر جریان هوا بود که با استفاده از نبولایزر تهیه و در سیستم تزریق گردید.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که تعداد باکتری باقی‌مانده در جریان هوا با افزایش توان منبع ریزموج در سیستم کاهش می‌یابد. به طوری که در توان ۵۴۰ وات با غلظت 10^7 عدد باکتری در هر میلی لیتر جریان هوا پس از ۲۴۰ دقیقه و با غلظت 10^6 عدد باکتری در هر میلی لیتر جریان هوا پس از ۱۲۰ دقیقه در خروجی واکنشگاه هیچ کلونی رشد نکرد.

نتیجه‌گیری: استفاده از امواج ریزموج، سیستمی با قابلیت حذف بالا است که می‌تواند در کنار سایر تجهیزات کنترلی هوای آلوده با عامل بیولوژیک در بیمارستان‌ها و مراکز درمانی را با بازده مناسبی در طولانی مدت حذف نماید.

کلمات کلیدی: سودوموناس آئروژینوزا، امواج ریزموج، بیوآئروسول

کپی‌رایت ©: حق چاپ، نشر و استفاده علمی از این مقاله برای مجله میکروبی‌شناسی پزشکی ایران محفوظ است.

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۳۹۲/۰۱/۱۰
پذیرش: ۱۳۹۲/۰۴/۱۰
انتشار آنلاین: ۱۳۹۲/۱۲/۱۵
IJMM 1392; 7(2): P 8-13

نویسنده مسئول:

عباس رضایی
گروه بهداشت محیط، دانشکده
علوم پزشکی، دانشگاه تربیت
مدرس، تهران، ایران
تلفن: ۰۹۱۲۳۷۵۸۸۲۱
پست الکترونیک:
rezaee@modares.ac.ir

مقدمه

ریوی (Chronic obstructive pulmonary (COPD) disease) و تماس با آلاینده‌های بیولوژیک شغلی نیز تأیید شده است (۳). همچنین وجود بیوآئروسول‌ها در فضاهای عمومی مورد بررسی و پایش قرار گرفته است و وجود این عوامل مورد تأیید قرار گرفته است (۴). همچنین در بررسی‌های بعمل آمده بیوآئروسول‌ها و قارچ‌ها در محیط‌های روباز و سربسته مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند و بالاتر بودن میزان آلودگی بیولوژیک از

تماس با بیوآئروسول‌ها در محیط‌های کاری با طیف وسیعی از مخاطرات بهداشتی از مشکلات مهم اصلی بهداشتی می‌باشد که شامل عفونت‌های بیمارستانی، اثرات سمی حاد، آلرژی و سرطان، اختلال تنفسی و اختلال در عملکرد ریوی است. در سال‌های اخیر افزایش فعالیت‌های صنعتی باعث افزایش مواجهات شغلی با بیوآئروسول‌ها شده است که به عنوان مثال می‌توان صنایع بازیافت، زیست‌فناوری، صنایع غذایی و همچنین مشاغل مختلف درمانی را نام برد (۱،۲). ارتباط بین افزایش بیماری انسداد مزمن

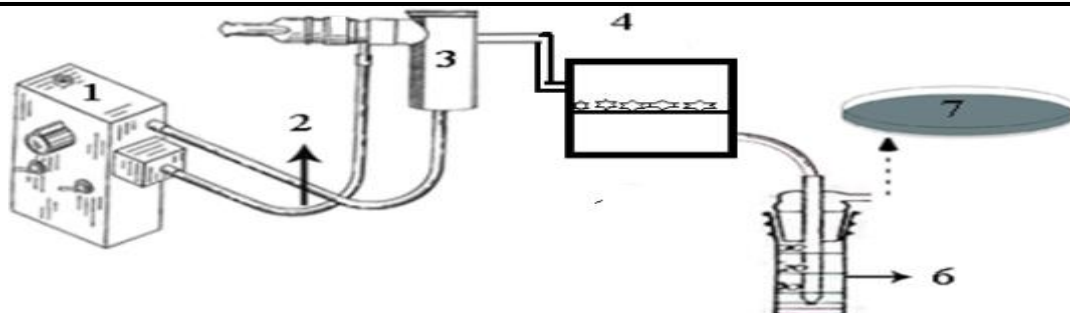
این مطالعه میزان حذف باکتری سودوموناس آئروژینوزا (به عنوان یک مدل بیولوژیک) که یک ریسک فاکتور شغلی در هوای محیط کار عمومی و به ویژه کارکنان درمانی می‌باشد، به وسیله امواج ریزموج مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها:

در این پژوهش جهت مدل‌سازی آلاینده‌های شغلی از سویه باکتری سودوموناس آئروژینوزا (ATCC: 27853) به عنوان مدلی برای ایجاد آلودگی باکتری در هوا از پژوهشکده زیست‌فناوری سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران تهیه و در مطالعه تصفیه هوای آلوده با عامل باکتری مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا باکتری‌ها در چندین پلیت حاوی محیط کشت نوترینت آگار در دمای 37°C به مدت ۲۴ ساعت کشت داده شد و سپس برای ذخیره‌سازی در یخچال با دمای 4°C نگهداری شدند. به منظور کنترل از بین رفتن باکتری‌ها، هر ۲۰ روز یک‌بار باکتری‌ها روی محیط کشت جدیدی کشت داده شدند. برای تهیه دانسیته باکتری لازم از هواویز وارده به سیستم ابتدا کلنی‌های باکتری را در محلول بافر نرمال سالین استریل وارد کرده سپس کدورت آنها با استفاده از لوله استاندارد ۰/۵ مک فارلند (معادل $10^8 \times$ ۱/۵ عدد باکتری در هر میلی‌لیتر) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico 2100 SUV-VIS, USA) با طول موج ۶۲۰ nm در محدوده ۰/۰۸-۰/۱ تعیین شد. در مرحله بعد نمونه‌های میکربی لازم با رقت 10^7 - 10^6 عدد باکتری در هر ۱۰ میلی‌لیتر نرمال سالین استریل شده تهیه و برای آزمون‌های حذف سودوموناس آئروژینوزا توسط امواج ریزموج استفاده شد (۱۴). محلول باکتری در مخزن پلاستیکی یک نبولایزر (گنجایش ۱۲ میلی‌لیتر، دبی ۲۷۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، قدرت ۵۰ وات؛ آلمان) قرار گرفته تا به بیوائروسل تبدیل شود. تمامی اتصالات توسط شیلنگ‌های آزمایشگاهی تایگون (قطر داخلی ۱/۴ اینچ، قطر خارجی ۳/۸ اینچ، ضخامت دیواره ۱/۱۶ اینچ) برقرار گردید (شکل ۱).

حدود مجاز آسپکال مورد تاکید قرار گرفته است (۵). میزان بیوائروسل‌ها و قارچ‌ها در داخل مکان‌های عمومی و فضاهای روباز مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد بیش‌ترین تعداد بیوائروسل‌ها مربوط به مهدکودک و مدارس ابتدایی و مراکز درمانی و بیش‌ترین مواجهه با قارچ‌ها مربوط به خوابگاه‌ها می‌باشد (۶). در مطالعاتی ارتباط تماس با بیوائروسل‌ها و افزایش بیماری‌های آسم، رینیت و ناراحتی ریوی نیز گزارش شده است (۷). امروزه نگرانی‌ها در خصوص آلودگی‌های هوای محیط‌های داخلی افزایش یافته است. مردم کیفیت هوای داخل را بر هوای بیرون ترجیح می‌دهند چون حدود ۷۰ درصد وقت خود را در محیط‌های داخلی می‌گذرانند (۸،۹). آلودگی هوای داخل در لیست یکی از پنج ریسک فاکتور محیطی اصلی قرار دارد که آلاینده‌های شیمیایی، ذرات ریز و آلاینده‌های بیولوژیک می‌باشد. آلاینده‌های بیولوژیک به شکل بیوائروسل‌ها یکی از منابع عمده آلودگی هوای داخل محسوب می‌شود که شامل سلول‌های باکتریایی، قطعات متلاشی شده سلول‌ها، اسپوره‌های قارچ و تولیدات جانبی حاصل از متابولیسم میکروبی می‌باشد (۱۰). با توجه به موارد فوق و اثرات ناشی از آلاینده‌های بیولوژیک در شرایط عادی و بحران و همچنین مواجهه کارکنان حوزه سلامت در مراکز درمانی با این آلاینده‌ها، ضرورت حذف و کاهش مواجهه با آلاینده‌های بیولوژیک بیشتر مشخص می‌شود. از سال ۱۹۸۰ امواج ریزموج با فرکانس ۲۴۵۰ هرتز جهت حذف آلاینده‌های بیولوژیک مورد استفاده قرار گرفته است زیرا که ریزموج بوسیله انرژی گرمایی میکروب‌ها را از بین می‌برد (۱۱).

امواج الکترومغناطیس با انرژی ۲۲۵ مگاهرتز تا ۱۰۰ گیگاهرتز می‌باشند که عموماً فرکانس ۲۴۵۰ مگاهرتز برای مباحث سترون‌سازی پیشنهاد شده است، قدرت میدان الکترومغناطیسی و مدت زمان مواجهه دو پارامتر تعیین‌کننده آن می‌باشد (۱۲). امواج ریزموج می‌تواند آلاینده‌های بیولوژیک را با راندمان بالا در مدت زمان مواجهه کوتاهی حذف کند (۱۳). در



شکل ۱: طرح شماتیک سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده: (۱) منبع هوا (۲) شیلنگ فشرده‌ساز هوا (۳) نبولایزر حاوی محلول میکروبی (۴) ورودی راکتور (۵) راکتور ریزموج+، (۶) ایمپینجر حاوی نرمال سالین جهت نمونه برداری از خروجی سیستم (۷) پلیت حاوی محیط کشت سیتروماید آگار

جهت تعیین میزان حذف باکتری توسط سیستم طراحی شده نمونه برداری خروجی سیستم با دبی‌ها و سریال رقت های متفاوت در فواصل زمانی مختلف در داخل یک میکرو ایمپینجر حاوی سرم نرمال سالین انجام شد و سپس جهت رشد میکروبی نمونه خروجی ستون بر روی محیط کشت اختصاصی سیتروماید آگار انتقال داده شد. در نهایت پلیت های حاوی پلیت سیتروماید آگار و نمونه هوای خروجی از سیستم به مدت ۲۴-۱۸ ساعت در انکوباتور با دمای 37°C نگهداری و پس از مدت مذکور، تعداد کلنی رشد یافته باکتری سودوموناس آئروژینوزا در هر نمونه مورد شمارش قرار گرفت.

همه وسایل بکار رفته در سیستم، قبل و بعد از آزمایش با الکل ۷۰٪، اسید کلریدریک ۵٪، اشعه UV، اتو کلاو و فور استریل شدند. راکتور مورد استفاده در دستگاه ریزموج شامل ۵ ستون شیشه‌ای به طول ۳۲ سانتی‌متر و قطر خارجی ۱۲/۵ سانتی‌متر و حجم کلی ۱۳۰۰ سی‌سی طراحی گردید. جهت اتصال ورودی و خروجی راکتور شیشه‌ای به منافذ تعبیه شده بر روی دستگاه ریزموج از اتصالات شیشه‌ای روداژ شده استفاده گردید (شکل ۲). تا در مواقع مورد نیاز به راحتی قابل جدا کردن و اتصال دادن باشد. دستگاه ریزموج مدل (MR301M; LG Electronics, Inc.) (Changwoon, Korea) با توان های ۱۸۰، ۳۶۰ و ۵۴۰ وات در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفت.



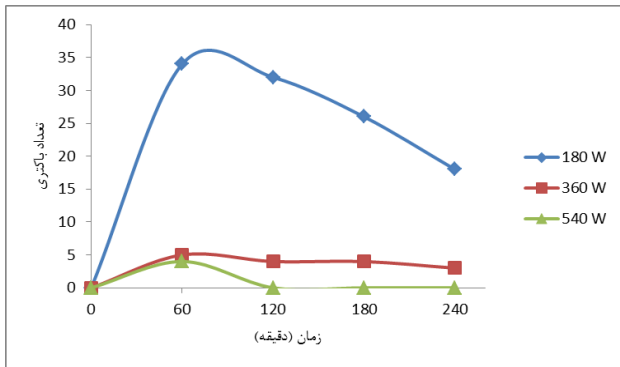
شکل ۲: راکتور مورد استفاده جهت استفاده در محفظه ریزموج

راکتور تحت تابش امواج ریزموج می‌باشد. نتایج آزمایشات مربوط به تأثیر توان نشان می‌دهد که با افزایش توان منبع ریزموج در شرایطی که غلظت و دبی یکسان بوده است، میزان حذف سودوموناس آئروژینوزا افزایش یافت.

یافته‌ها

نتایج حاصل از این مطالعه در نمودارهای ۱ و ۲ ارائه گردیده است. این نتایج نشان‌دهنده کاهش و در نهایت حذف باکتری سودوموناس آئروژینوزا در اثر ورود آنها به سیستم

پس از ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه نمونه برداری به ترتیب ۴، ۰، ۰ و ۰ کلونی در خروجی سیستم رشد نمود. نتایج این مرحله نشان‌دهنده تأثیر کامل امواج ریزموج در توان های ۵۴۰ به بالا می‌باشد؛ و در توان های ۱۸۰ و ۳۶۰ وات تا ۲۴۰ دقیقه در خروجی سیستم کلنی رشد نموده است. با افزایش توان منبع ریزموج مدت زمان اثربخشی کاهش می‌یابد.



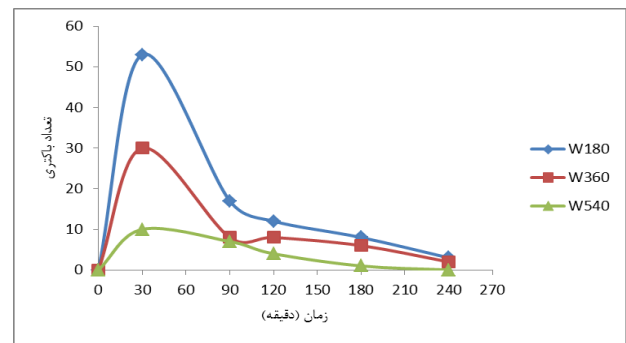
نمودار ۲ مقایسه سه توان مختلف ریزموج (دبی ۱ لیتر بر دقیقه، سریال رقت میکروبی ۱۰^۶)

بحث و نتیجه‌گیری

حذف عوامل بیولوژیک و شیمیایی موجود در هوای مراکز درمانی و بیمارستان‌ها به دلیل تماس کارکنان حرفه‌ای و همچنین بیماران تحت درمان در این مراکز از اولویت های سیستم های بهداشتی است. بیماران بستری شده در بخش های مختلف درمانی به دلیل ضعف سیستم ایمنی و احتمال ابتلا به عفونت های بیمارستانی و انتقال آن به کارکنان بخش سلامت نیز از اولویت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند، با علم به مشکلات، ضرورت کنترل و حذف این عوامل بیشتر نمایان می‌شود. استفاده از امواج الکترومغناطیس در مقالات متعددی گزارش شده است که نشان از قابلیت گسترده امواج ریزموج در کنترل آلاینده‌های شغلی و محیطی می‌باشد.

نتایج این تحقیق نشان داد که امواج ریزموج در توان های مختلف ۱۸۰، ۳۶۰ و ۵۴۰ وات با زمان های متفاوت بیش‌ترین تأثیر را در حذف سودوموناس آئروژینوزا دارد؛ و هیچ‌گونه کلنی در خروجی سیستم رشد نکرد. مقایسه نتایج این مطالعه با سایر مطالعات نشان از تأثیر این سیستم بر حذف بیو آئروسول ها دارد. در مطالعه‌ی WOO و همکارانش تأثیر گرمایی امواج ریزموج را بر روی دو باکتری *E.coli* گرم منفی و *B. subtilis* گرم مثبت مورد بررسی قرار دادند و نتایج نشان‌دهنده تأثیر افزایش دما بر

در این شرایط دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه، سوسپانسیون میکروبی ۱۰^۷ در میلی لیتر و با توان های ۱۸۰، ۳۶۰ و ۵۴۰ وات ریزموج مورد آزمایش قرار گرفت. بر اساس نتایج حاصل از این مطالعه که در نمودار ۱ مشاهده می‌گردد. توان ۱۸۰ وات پس از ۳۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۷، ۱۲، ۸ و ۳ کلنی در خروجی سیستم رشد نمود، همچنین نتایج مرحله توان ۳۶۰ وات پس از ۳۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۲۰ و ۱۸۰ دقیقه نمونه برداری به ترتیب ۶، ۸، ۸، ۳۰، ۳۰ و ۲ کلنی در خروجی سیستم رشد نمود و در نهایت نتایج مرحله توان ۵۴۰ وات پس از ۳۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه نمونه برداری به ترتیب ۱، ۴، ۷، ۱۰ و ۰ کلونی در خروجی سیستم رشد نمود، نتایج حاصله تأییدکننده این مطلب می‌باشد که پس از نمونه‌برداری در زمان های مختلف در نمونه‌برداری خروجی باکتری سودوموناس آئروژینوزا مشاهده شد، در نهایت با توان ۵۴۰ وات پس از ۲۵۰ دقیقه مواجهه حذف باکتری سودوموناس آئروژینوزا به دست آمد. در مرحله بعد دبی ۱ لیتر بر دقیقه و سریال رقت ۱۰^۶ وارد راکتور موجود در دستگاه ریزموج گردید و تحت تأثیر توان های ۱۸۰، ۳۶۰ و ۵۴۰ وات قرار گرفت.



نمودار ۱: مقایسه سه توان مختلف ریزموج (دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه، سریال رقت میکروبی ۱۰^۷)

بر اساس نتایج حاصل از نمودار ۲ سه توان ۱۸۰، ۳۶۰ و ۵۴۰ وات منبع ریزموج با دبی ۱ لیتر بر دقیقه و سریال رقت میکروبی ۱۰^۶ مورد بررسی قرار گرفت. در توان ۱۸۰ وات پس از ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه نمونه برداری به ترتیب ۱۴، ۲۶، ۳۲ و ۳۷ کلنی در خروجی سیستم رشد نمود، سپس در مرحله توان ۳۶۰ وات پس از ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۴۰ دقیقه نمونه برداری به ترتیب ۵، ۴، ۴ و ۴ کلنی در خروجی سیستم رشد نمود و در نهایت مرحله توان ۵۴۰ وات

قراردادند. و سپس با استفاده از دستگاه ریزموج در توان های مختلف میزان حذف را مورد بررسی قرار دادند. نتایج موید تأثیر امواج ریزموج در کاهش میزان بیو آئروسول ها در مراحل مختلف ایمپکتور اندرسون بود. نتایج حاصل از این پژوهش ها و این مطالعه تأییدکننده تأثیر بسزای امواج ریزموج در حذف آلاینده های بیولوژیک شغلی دارد (۱۸). نتایج حاصل از این مطالعه و سایر پژوهش های فوق نشان تأثیر امواج ریزموج در حذف آلاینده های بیولوژیک می باشد. با ارتقاء و مطالعات تکمیلی در این زمینه و آزمایش سایر توان ها می توان این فرایند را به عنوان یک سیستم مکمل در کنار سایر سیستم های موجود از قبیل فیلتر های هپا و اشعه فرابنفش C در افزایش سطح سلامت جامعه و همچنین کارکنان مراکز بهداشتی-درمانی و بیماران بخش های درمانی از قبیل بخش های عفونی، سوختگی، اتاق عمل، اتاق های ایزوله، بخش های پیوند، بخش های مراقبت ویژه و سایر بخش های درمانی استفاده نمود.

تشکر و قدردانی

در پایان از همکاران گروه بهداشت حرفه ای دانشگاه تربیت مدرس به ویژه آقای مهندس سلیمانیان مدیریت محترم آزمایشگاه های گروه بهداشت حرفه ای که در انجام این پژوهش ما را یاری نمودند کمال تشکر و امتنان را داریم.

میزان حذف باکتری می باشد که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد (۱۵). Wu و همکاران تأثیر امواج ریزموج را در توان های ۱۱۹،۳۸۵ و ۷۰۰ وات بر روی *Bacillus subtilis*، *Pseudomonas fluorescens*، *Aspergillus versicolor* در مدت زمان های مواجهه متفاوت مورد مطالعه قرار دادند و در تمامی توان های نتایج دارای تفاوت معنی داری بود (۱۶). در پژوهشی Qi Zhang و همکاران در سال ۲۰۱۰ میزان کارایی فیلتر نانو فایبر پلی اکریلو نیتریل را تحت تأثیر امواج ریزموج بر روی *E. coli* و *B. subtilis* مورد بررسی قرار دادند. در مرحله بررسی *E. coli* توان های ۱۲۵، ۲۵۰ و ۵۰۰ وات در دوره های زمانی ۱/۲۵، ۲/۵، ۵ و ۱۰ دقیقه مورد بررسی قرار گرفتند. در توان ۱۲۵ و ۲۵۰ وات بالاترین کارایی مربوط به مواجهه ۱/۲۵ دقیقه بود و در توان ۵۰۰ وات مدت مواجهه ۵ دقیقه حالت بهینه سیستم به دست آمد. سپس اسپور *B. subtilis* در توان های ۲۵۰، ۵۰۰ و ۷۵۰ وات و زمان های ۱،۵/۲۵ و ۱۰ دقیقه تحت تأثیر قرار گرفت. در توان ۲۵۰ وات بالاترین کارایی پس از ۵ دقیقه مواجهه به دست آمد و در توان های ۵۰۰ و ۷۵۰ وات پس از ۱۰ دقیقه بالاترین راندمان حاصل شد و با نتایج این مطالعه همخوانی دارد (۱۷). در مطالعه ای دیگر Wu آلودگی های میکروبی موجود در محیط های اداری، هتل ها و محیط روباز را با استفاده از پمپ اندروسون شش مرحله ای مورد اندازه گیری

References

- Grenier D. Quantitative analysis of bacterial aerosols in two different dental clinic environments. *Appl Environ Microbiol*. 1995; 61(8): 3165.
- Jo WK, Seo YJ. Indoor and outdoor bioaerosol levels at recreation facilities, elementary schools, and homes. *Chemosphere*. 2005; 61(11): 1570-9.
- Guo H, Lee SC, Chan LY. Indoor air quality investigation at air-conditioned and non-air-conditioned markets in Hong Kong. *Sci Total Environ*. 2004; 323(1-3): 87-98.
- Mandell GL BJ, Dolin R Principles and Practice disease of infectious Disease. 7th Edition, editor: Churchill Livingstone; 2012.
- Fabian MP, Miller SL, Reponen T, Hernandez MT. Ambient bioaerosol indices for indoor air quality assessments of flood reclamation. *J Aerosol Sci*. 2005; 36(5-6): 763-83.
- Hussin NHM. Characterization of Bacteria and Fungi Bioaerosol in the Indoor Air of Selected Primary Schools in Malaysia. *Indoor and Built Environment*, 2011; 20(6): 607-617.
- Douwes J, Thorne P, Pearce N, Heederik D. Bioaerosol health effects and exposure assessment: progress and prospects. *Annals of Occupational Hygiene*, 2003; 47(3): 187-200.
- Matheson MC, Benke G, Raven J, Sim MR, Kromhout H, Vermeulen R, et al. Biological dust exposure in the workplace is a risk factor for chronic obstructive pulmonary disease. *Thorax*, 2005; 60(8): 645-651.
- Wang CC, Fang GC, and Lee LY, Bioaerosols study in central Taiwan during summer season. *Toxicology and Industrial Health*, 2007; 23(3): 133-139.
- Hussin, N.H.M. et al. Characterization of Bacteria and Fungi Bioaerosol in the Indoor Air of Selected Primary Schools in Malaysia.

- Indoor and Built Environment, 2011; 20(6): 607-617.
11. Mentese S, Rad AY, Arisoy M, Güllü G. Bacteria and Fungi Levels in Various Indoor and Outdoor Environments in Ankara, Turkey. CLEAN – Soil, Air, Water, 2009; 37(6): 487-493.
 12. Qi Zhanga, Brian Damita, James Welchb, Hyoungjun Parkc, Chang-Yu Wua, Wolfgang Sigmund. Microwave assisted nanofibrous air filtration for disinfection of bioaerosols. Journal of Aerosol Science, 2010; 41(9): 880-888.
 13. Jeng DK, Kaczmarek KA, Woodworth AG, Balasky G. Mechanism of microwave sterilization in the dry state. Applied and Environmental Microbiology, 1987; 53(9): 21-33
 14. Wand H, Vacca G. Removal of bacteria by filtration in planted and non-planted sand columns. Water Res. 2007; 41: 159-67.
 15. Woo IS, Rhee IK, Park HD, Differential damage in bacterial cells by microwave radiation on the basis of cell wall structure. Appl Environ Microbiol. 2000; 66(5): 2243-2247.
 16. Wu Y. and Yao M, Inactivation of bacteria and fungus aerosols using microwave irradiation. Journal of Aerosol Science, 2010; 41(7): 682-693
 17. Zhang Qi a, James Welch b, Hyoungjun Park c, and n. Chang-Yu Wua, Wolfgang Sigmund, Microwave assisted nanofibrous air filtration for disinfection of bioaerosols Journal of Aerosol Science, 2010; 41: 880–888.
 18. Wu, Y. and M. Yao, Effects of microwave irradiation on concentration, diversity and gene mutation of culturable airborne microorganisms of inhalable sizes in different environments. Journal of Aerosol Science, 2011; 42(11): 800-810.