مجله طب نظامی
دوره ۱۳، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۰
صفحات: ۹۵-۸۹

Iranian Journal of Military Medicine
Vol. 13, No. 2, Summer 2011
Pages: 89-95

طراحی سیستم تولید بیوآئروسل به‌منظور حذف *اشریشیا کلی* از هوای آلوده با استفاده از خاکستر استخوان

عباس رضایی* *PhD*، مریم رامین[۱] *BSc*، قادر غنی‌زاده[۲] *PhD*، فیروز ولی‌پور[۱] *MSc*

*گروه بهداشت محیط و حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۱]گروه بهداشت محیط و حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

[۲]"مرکز تحقیقات بهداشت" و "دانشکده بهداشت"، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌ا...(عج)، تهران، ایران

چکیده

اهداف: عوامل باکتریایی از مهم‌ترین منابع انتقال عفونت در بیمارستان‌ها هستند. برای مطالعه عوامل بیولوژیک هوا، نیاز به طراحی یک مبدل سوسپانسیون باکتریایی به بیوآئروسل وجود دارد. این مطالعه با هدف طراحی سیستمی مناسب برای تولید بیوآئروسل به‌منظور حذف *اشرشیا کلی* از هوای آلوده با استفاده از خاکستر استخوان انجام شد.

روش‌ها: این پژوهش کاربردی طی ۸ ماه به انجام رسید. خاکستر استخوان با استفاده از کوره الکتریکی تهیه شد. آماده‌سازی و دانه‌بندی خاکستر استخوان با مش ۶۰-۲۰ انجام گرفت. برای تعیین خصوصیات جاذب مورد نظر از تکنیک پراکنش پرتو ایکس استفاده شد. pH_{zpc} و سطح ویژه جاذب با تیتراسیون و اندازه‌گیری میزان گاز ازت جذب‌شده و ایزوترم جذب BET تعیین شد. غلظت آئروسل باکتریایی در محدوده 10^{7}-10^{3} عدد باکتری در هر میلی‌لیتر هوا با نبولایزر تهیه و در سیستم تزریق شد. داده‌ها به‌کمک نرم افزار RSM 7 تفسیر شد.

یافته‌ها: راندمان حذف *اشرشیا کلی* با میزان جرم جاذب استفاده شده در ستون جذب رابطه مستقیم داشت و در سوسپانسیون باکتریایی 10^{3} در هر میلی‌لیتر هوا و جرم‌های جاذب ۴، ۷ و ۱۰ گرم تعداد باکتری باقی‌مانده به‌ترتیب ۳۰، ۱۱ و ۱ عدد در میلی‌لیتر بود. اندازه جاذب در محدوده ۴۰-۲۰ مش راندمان بیشتری نسبت به اندازه‌های بزرگتر از ۴۰ نشان داد. راندمان پاکسازی هوای آلوده در مدت ۳۰ دقیقه و در مش ۴۰-۲۰ معادل ۹۹/۹۹٪ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: سیستم تولید بیوآئروسل در مطالعه حذف *اشرشیا کلی* از هوای آلوده با استفاده از خاکستر استخوان با راندمان مطلوبی عمل می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: بیوآئروسل، خاکستر استخوان، *اشرشیاکلی*، آلودگی میکروبی هوا

Designing of bioaerosol production system for removing *Escherichia coli* from contaminated air using bone char

Rezayee A.* ***PhD*****, Ramin M.**[1] ***BSc*****, Ghanizadeh Gh.**[2] ***PhD*****, Valipour F.**[1] ***MSc***

*Department of Environmental & Professional Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[1]Department of Environmental & Professional Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran
[2]"Health Research Center" & "Health School", Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Abstract

Aims: Bacterial agents are among the most important sources of infection transmission in hospital wards. Thereby, designing of a bio-aerosol convertor for investigation of biological agents in air is necessary. The aim of this study was designing of a suitable system for bio-aerosol production and elimination of *Escherichia coli* from contaminated air using bone char.

Methods: This applied research was performed during 8 months. Bone char was prepared by electrical furnace. Bone char was crushed and pulverized with a range of 20- 60 mesh. The absorptive characteristics of Bone char was determined using X-ray diffraction technique. The pH_{zpc} and specific surface area were determined via titration and N_2 gas adsorption according to BET absorption isotherm method. The bacterial aerosol with concentrations of 10^{3}-10^{7} CFU per ml of airflow were prepared by a nebulizer and injected to the system. 7^{th} version of RSM software was used for data analysis.

Results: *E. coli* removal efficiency had a linear correlation with adsorbent weight as 10^{3} CFU/ml initial bacterial concentrations and with 4, 7 and 10 g adsorbent mass reached to 30, 20 and 15 CFU/ml, respectively. In addition, the adsorbent pore size in the range of 20-40 mesh was more efficient in bacterial removing in comparison with mesh particles >40. Efficiency of the contaminant air purification achieved 99.99% with the 20-40 mesh adsorbent at 30 minutes.

Conclusion: The designed system for production of bio-aerosol has good performance in the study of *Escherichia coli* removal from contaminated air using bone char.

Keywords: Bio-aerosol, Bone Char, *Escherichia coli,* Microbial Air Pollution

---

نویسنده مسئول: عباس رضایی. تمام درخواست‌ها باید به نشانی rezaee@modares.ac.ir فرستاده شوند.

دریافت مقاله: ۸۹/۹/۸ پذیرش مقاله: ۸۹/۱۱/۲۱

مقدمه

آلودگی هوای داخل ساختمان یکی از مهم‌ترین عوامل مخاطره‌آمیز است که می‌تواند سلامتی افراد را در جوامع مختلفِ توسعه‌یافته و درحال توسعه به‌شدت تحت تاثیر قرار دهد. آلودگی هوای محیط‌های باز (هوای آزاد) به‌علت کمیت زیاد آلاینده‌های پخش‌شده از منابع مختلف طبیعی و مصنوعی، توجه زیادی را در سطوح ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی به خود جلب کرده است [۱]. اما علی‌رغم این که افراد جوامع مختلف حدود ۹۰٪ اوقات شبانه‌روز را در محیط‌های بسته و تنها ۶٪ این زمان را در محیط‌های باز سپری می‌کنند، آلودگی هوای داخل ساختمان‌ها و کنترل آلاینده‌های موجود در آن به‌طور جدی مورد توجه قرار نگرفته است [۲]. از آن‌جایی که زمان تماس با یک آلاینده مشخص، نقش زیادی در شدت اثر آن آلاینده دارد، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که تاثیر حضور یک آلاینده با میزان مشخص در محیط‌های بسته، بسیار بیشتر از محیط‌های باز یا هوای آزاد خواهد بود. از طرفی، جابه‌جایی و تهویه بسیار آرام و کند هوا در داخل ساختمان‌ها به‌دلیل طراحی نامناسب ساختمان‌ها، عدم تهویه مناسب، حضور منابع دیگر آلاینده نظیر دفع آلاینده‌ها در اثر فعالیت‌های فیزولوژیکی افراد (دی‌اکسیدکربن، رطوبت و غیره) و حضور عوامل مختلف میکروبی نظیر باکتری‌ها، قارچ‌ها و غیره در اغلب موارد باعث می‌شود که غلظت آلاینده‌های هوای داخل ساختمان‌ها از مقادیر مجازِ پذیرفته‌شده بالاتر باشد که با توجه به میزان و نوع آلاینده می‌تواند مخاطرات متعددی برای افراد داشته باشد [۳]. در این میان، عوامل میکروبی نظیر باکتری‌های گرم‌منفی و گرم‌مثبت و متابولیت‌های آنها با توجه به پتانسیل بیماری‌زایی می‌توانند باعث بروز بیماری‌های متعدد شوند [۴]. مطالعات انجام‌شده توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا نیز موید این واقعیت است که آلودگی هوای محیط‌های بسته، مخاطره‌انگیزتر از آلودگی هوای آزاد است. مطالعات اپیدمیولوژیکی نشان داده است که سندروم ساختمان بیمار، به تماس با غلظت‌های بالای میکروارگانیزم‌های هوابرد مرتبط است که منجر به بیماری‌های عفونی مختلف نظیر عفونت‌های ریوی و غیره می‌شود. شدت این نوع بیماری‌ها نه‌تنها به ویژگی‌های بیولوژیکی و بیماری‌زایی این میکروارگانیزم‌ها بستگی دارد، بلکه تابع تعداد میکروارگانیزم‌های موجود در واحد حجم هوا و شاخصی از تعداد عوامل باکتریایی استنشاق‌شده توسط افراد ساکن در این محیط‌ها است [۵]. هوای داخل ساختمان بیمارستان‌ها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز ارایه‌دهنده خدمات بهداشتی- درمانی، به‌دلیل حضور افراد با بیماری‌های متعدد، پتانسیل بالایی برای آلودگی با انواع میکروارگانیزم‌ها (باکتری‌ها، ویروس‌ها، قارچ‌ها و غیره) و انتقال متقاطع عفونت به افراد دارد. به‌طوری که مطالعات متعدد، ارتباط معنی‌داری را بین عفونت‌های بیمارستانی و آئروسل‌های محتوی عوامل بیماری‌زا در هوای این مراکز نشان می‌دهد [۶]. براساس آمارهای جهانی، سالانه ۱۷ تا ۲۹ میلیارد دلار و براساس آمارهای غیررسمی در ایران، سالانه ۱۲ تا ۱۴ میلیارد تومان صرف درمان عفونت‌های بیمارستانی می‌شود، در حالی که می‌توان با سرمایه‌گذاری مناسب در زمینه کنترل عفونت‌های بیمارستانی در هزینه‌های درمانی صرفه‌جویی کرد. این میزان شیوع نشان می‌دهد توجه به کنترل این مشکل بهداشتی از مهم‌ترین اولویت‌های کمیته کنترل عفونت‌های بیمارستانی است که بایستی به‌منظور ارتقای کیفیت خدمات بهداشتی- درمانی در برنامه‌های بهداشتی بیمارستان‌ها مورد توجه قرار گیرد [۷]. ارگانیزم‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها، یکی از دلایل افزایش موارد عفونت‌های بیمارستانی هستند. به همین دلیل، کنترل عفونت‌های مذکور نباید صرفاً براساس تشخیص باشد، بلکه تعیین نوع پاتوژن مسئول و حساسیت آن نسبت به آنتی‌بیوتیک‌های مختلف نیز دارای اهمیت است [۸]. حدود ۷۰٪ عفونت‌های بیمارستانی توسط ۷ پاتوژن نظیر استافیلوکوک طلایی، استافیلوکوک‌های کوآگولاز، انتروکوک و ارگانیزم‌های گرم‌منفی نظیر *اشرشیاکلی*، *پسودوموناس‌آئروژینوزا*، *انتروباکتر* و *کلبسیلاپنومونیه* ایجاد می‌شود [۹]. براساس موارد فوق، کمیته کنترل عفونت‌های بیمارستانی، کاهش مصرف بعضی آنتی‌بیوتیک‌ها به‌خصوص ونکومایسین و ایجاد تسهیلات برای انجام کشت و آنتی‌بیوگرام در آزمایشگاه‌های بیمارستانی ناشی از ارگانیزم‌های مقاوم نسبت به آنتی‌بیوتیک‌ها را توصیه می‌نماید که ممکن است اجرای آنها با محدودیت‌هایی همراه باشد [۱۰]. بر این اساس، انجام مطالعات کاربردی به‌منظور توسعه راه‌کارهای مناسب برای کنترل و کاهش دانسیته باکتریایی در این محیط‌ها با هدف حفظ و ارتقای سطح سلامتی کارکنان و بیماران مراجعه‌کننده به این مراکز ضروری است.

برای کنترل عوامل بیماری‌زای موجود در هوای داخل مراکز بیمارستانی به‌ویژه بخش‌های حساس، نظیر اتاق عمل و بخش مراقبت‌های ویژه و اصلی (ICU، CCU)، از تکنیک‌های مختلفی نظیر فیلترهای هپا، اشعه ماوراءبنفش، ازن‌زنی و غیره استفاده می‌شود [۱۱]. این تکنیک‌ها هرچند در کاهش تراکم باکتریایی هوای داخل ساختمان بیمارستان‌ها و کنترل عفونت‌های بیمارستانی موثر هستند، اما استفاده از این تکنیک‌ها علاوه بر بار مالی زیاد نمی‌تواند مصونیت کارکنان و بیماران را به‌صورت کامل فراهم نماید. جاذب‌های مختلفی نیز در جهت حذف میکروارگانیزم‌ها مورد آزمایش قرار گرفته‌اند و محققان به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از جاذب‌های ارزان و قابل دسترس برای کنترل این نوع آلاینده‌ها از اولویت بالاتری برخوردار است [۱۲]. جاذب‌های مورد استفاده برای کنترل آلودگی هوا شامل کربن فعال، آلومینا، بوکسیت و سیلیکاژل است. کربن فعال در واقع فراوان‌ترین کاربرد را به‌عنوان جاذب دارد و جانشین واقعی همه مواد دیگر در سیستم‌های بازیافت حلال است [۱۳]. نکته قابل تامل در مورد کربن فعال، تغذیه میکروب‌ها از عامل آلی موجود در این جاذب است که می‌تواند راندمان جذب میکروب‌ها را کاهش دهد [۱۴].

مطالعات انجام‌شده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که خاکستر حاصل

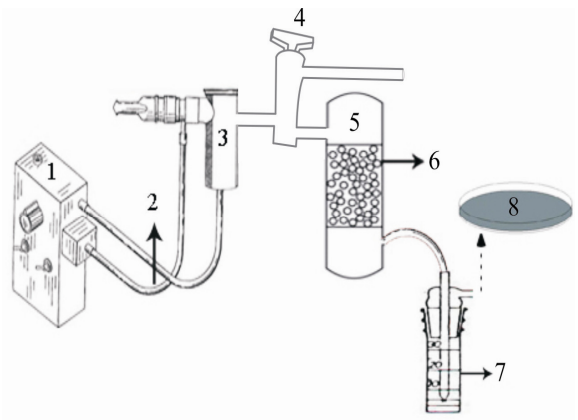
از سوزاندن یا احتراق زایدات استخوان در دمای بالا (۹۰۰–۴۰۰ درجه سانتی‌گراد) می‌تواند به‌عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد [۱۵]. با توجه به فراوانی ماده اولیه دردسترس و قابلیت تهیه خاکستر استخوان در شرایط مختلف نظیر شرایط آزمایشگاهی و شرایط صحرایی، در این مطالعه سیستم تولید بیوآئروسل برای تصفیه هوای آلوده به باکتری *اشرشیاکلی* (ATCC: 25922) با استفاده از خاکستر استخوان به‌عنوان یک جاذب معدنی ارزان و قابل دسترس، طراحی و استفاده شد. علت انتخاب این باکتری برای آلوده‌کردن هوا در مطالعه حاضر، غیرپاتوژنیک بودن، قابلیت دسترسی آسان و رشد سریع آن در محیط کشت است. همچنین بررسی‌ها نشان می‌دهند که تاکنون مطالعه‌ای در ارتباط با به‌کارگیری خاکستر استخوان به‌عنوان جاذب باکتری گزارش نشده است. یکی از فاکتورهای حایز اهمیت در مطالعه حذف باکتری از هوا، انتخاب یا طراحی دستگاهی مناسب برای تولید بیوآئروسل است که در مطالعات تصفیه هوا از نبولایزر استفاده می‌شود. میزان جریان هوا در واحد زمان یا دبی، یکی از مشخصه‌های مهم نبولایزر به‌منظور تولید بیوآئروسل است. در برخی موارد، شرایط بهره‌برداری باعث مداخلاتی در راندمان سیستم می‌شود که تعیین شرایط بهینه بهره‌برداری از طریق طراحی یک سیستم را الزامی می‌کند.

این مطالعه با هدف طراحی یک سیستم مناسب برای تولید بیوآئروسل به‌منظور حذف باکتری *اشرشیاکلی* از هوای آلوده با استفاده از خاکستر استخوان انجام شد.

روش‌ها

این مطالعه یک پژوهش کاربردی است که به‌مدت ۸ ماه به‌طول انجامید. پیرولیز و تهیه خاکستر استخوان در شرایط آزمایشگاهی با استفاده از کوره الکتریکی در دمای ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد و مدت‌زمان ۴/۵ ساعت انجام شد [۱۵]. خاکسترهای استخوان با استفاده از الک‌های استاندارد ASTM (انجمن آمریکایی آزمایش و مواد) با اندازه‌های ۶۰–۲۰ مش دانه‌بندی شدند [۱۶]. سطح ویژه خاکستر استخوان از طریق اندازه‌گیری ایزوترم جذب گاز ازت و تجزیه و تحلیل داده‌ها با معادله ایزوترم BET تعیین شد. عدد یدی خاکستر مطابق روش‌های استاندارد ASTM مشخص شد [۱۷]. همچنین ترکیب غالب در ساختار خاکستر استخوان با استفاده از تکنیک پراکنش پرتوی ایکس (XRD) تعیین شد. pH_{ZPC} جاذب نیز با استفاده از محلول نمک طعام ۰/۱ نرمال و محلول‌های سود و اسیدکلریدریک ۰/۱ نرمال با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. سویه باکتریایی *اشرشیاکلی* (ATCC0: 25922) به‌عنوان مدلی برای ایجاد آلودگی باکتریایی در هوا از آزمایشگاه مرجع، تهیه و در مطالعات تولید بیوآئروسل و تصفیه هوای آلوده با عامل باکتریایی مورد استفاده قرار گرفت.

برای تهیه دانسیته باکتریایی لازم در آئروسل وارده به سیستم، ابتدا کلنی‌های باکتریایی در محلول بافر نرمال‌سالینِ استریل وارد شدند و سپس دانسیته ۰/۵ مک‌فارلند (معادل $۱/۵ \times ۱۰^{۸}$ باکتری در هر میلی‌لیتر) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico 2100 SUV-VIS؛ ساخت ایالات متحده آمریکا) با طول موج ۶۲۰nm تهیه شد. در مرحله بعد، نمونه‌های باکتریایی لازم با رقت $۱۰^{۷}$–$۱۰^{۳}$ باکتری، تهیه و برای آزمون‌های حذف *اشرشیاکلی* توسط خاکستر استخوان استفاده شدند [۱۸، ۱۹]. سیستم مورد استفاده متشکل از یک ستون شیشه‌ای به‌طول ۸ سانتی‌متر و قطر ۱/۲سانتی‌متر، با دو ورودی و خروجی هوا به فاصله‌های ۷ و ۲ سانتی‌متر از کف ستون بود که جایگاه جاذب مورد استفاده را فراهم می‌کرد. محلول باکتریایی در مخزن پلاستیکی یک نبولایزر (PN 70358-08, VixOne؛ ساخت کشور آلمان) با گنجایش ۱۲ لیتر، دبی ۲۷۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه و قدرت ۵۰ وات قرار گرفت تا به بیوآئروسل تبدیل شود. تمامی اتصالات توسط شیلنگ‌های آزمایشگاهی (تایگون؛ ساخت کشور چین) با قطر داخلی ۱/۴ اینچ، قطر خارجی ۳/۸ اینچ و ضخامت دیواره ۱/۱۶ اینچ برقرار شد (شکل ۱).



شکل ۱) طرح شماتیک سیستم آزمایشگاهی مورد استفاده: ۱) پمپ هوا، ۲) شیلنگ سنسور فشار، ۳) نبولایزر حاوی محلول میکروبی، ۴) سه‌راهی تنظیم دبی، ۵) ستون جاذب، ۶) جاذب (خاکستر استخوان)، ۷) ایمپینجر حاوی نرمال‌سالین برای نمونه‌برداری از خروجی سیستم، ۸) پلیت حاوی محیط کشت EMB آگار

وسایل به‌کاررفته در سیستم با الکل ۷۰٪، اسیدکلریدریک ۵٪، اشعه UV، اتوکلاو و فور استریل شدند. به‌منظور تعیین میزان حذف باکتری توسط سیستم طراحی‌شده، نمونه‌برداری با دبی ثابت ۱۰۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه در فواصل زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ دقیقه در داخل یک میکروایمپینجر حاوی ۲ میلی‌لیتر محلول نرمال‌سالین استریل انجام شد. برای تامین دبی ۱۰۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه، یک سه-راهی شیشه‌ای به‌کارگرفته شد که حجم ۱۷۰۰ میلی‌لیتر بر دقیقه اضافی را از لوله سوم به مخزن نبولایزر برگشت می‌داد. سپس از محتویات ایمپینجر به‌میزان ۰/۵ میلی‌لیتر روی پلیت EMBآگار (محیط کشت اختصاصی برای رشد *اشرشیاکلی*) ریخته شد و پلیت‌ها

به‌مدت ۲۴–۱۸ ساعت در گرمخانه با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و پس از مدت مذکور، نتیجه رشد باکتری *اشریشیاکلی* در هر نمونه با چشم غیرمسلح شمارش شد.

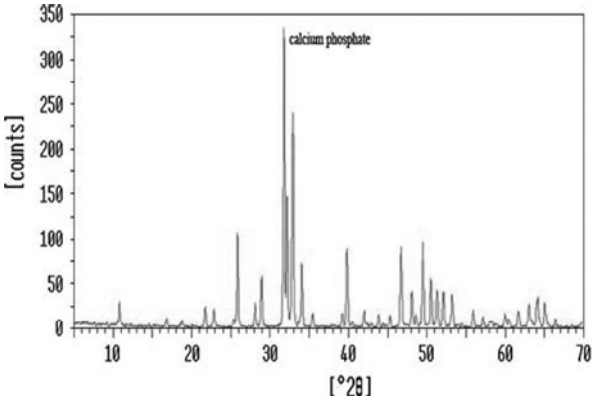
برای به‌دست‌آوردن نتایج قابل قبول از میان متغیرهای مورد نظر، از نسخه ۷ نرم‌افزار روش‌شناسی رویه پاسخ (RSM) به‌عنوان روش نوین آماری استفاده شد [۲۰]. در این روش، حد بالا و پایینِ هر کدام از متغیرها به نرم‌افزار داده شد. سپس نرم‌افزار، جدولی شامل چندین نوبت آزمایش با مقادیر مختلف متغیرها ارایه کرد که پس از انجام آنها و تعیین درصد جذب براساس هر کدام از متغیرها، RSM، منحنی بهینه‌شده را رسم نمود. متغیرهای این تحقیق شامل؛ وزن جاذب (۱۰–۴ گرم)، غلظت سوسپانسیون باکتریایی (10^{7}–10^{3} باکتری در هر میلی‌لیتر)، زمان (۳۵–۵ دقیقه) و اندازه ذرات جاذب (۴۰–۲۰ مش و بزرگتر از ۴۰) بود.

جدول ۱) ویژگی‌های خاکستر استخوان مورد استفاده در مطالعه

مشخصه	مقدار	واحد
pH_{zpc}	۸/۵	–
سطح ویژه جاذب	۱۰۰	m^2/g
دانسیته ظاهری	۰/۷۶۸	g/cm^3
عدد یدی	۱۳۴/۴۴	mg/g
دانه‌بندی	۴۰–۲۰ و >۴۰	mesh

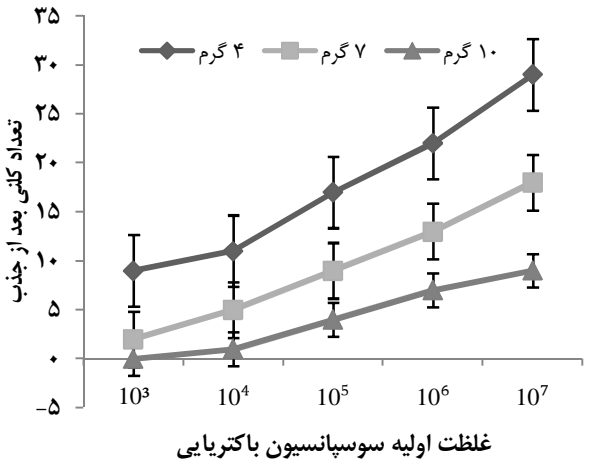
نتایج

ویژگی‌های تعیین‌شده خاکستر استخوان از قبیل؛ pH_{zpc}، سطح ویژه جاذب، دانسیته ظاهری، عدد یدی و دانه‌بندی در جدول ۱ نشان داده شده است. خاکستر استخوان دارای خصوصیات ظاهری غیرکریستالی بود و ترکیب غالب موجود در ساختار این نوع خاکستر استخوان، هیدروکسی‌آپاتیت‌کلسیم با فرمول $Ca_5(PO_4)_3OH$ بود. این نتایج با بررسی پیک‌های غالب موجود در منحنی تهیه‌شده توسط XRD و مقایسه آن با کارت‌های استاندارد به‌دست آمد (شکل ۲).

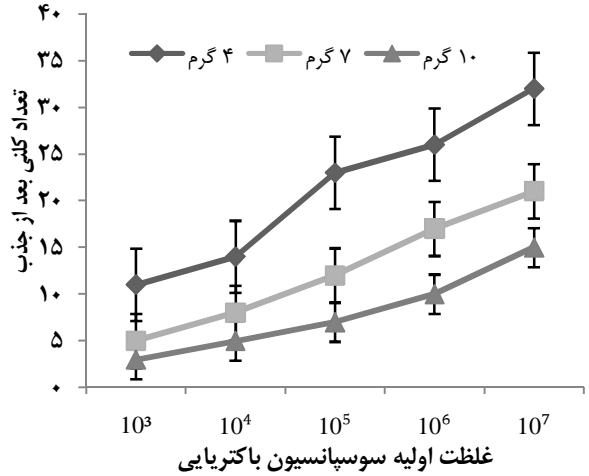


شکل ۲) تصویر XRD ذرات خاکستر استخوان (محور افقی، زاویه تابش و بازتابش و محور عمودی، شدت شمارش را نشان می‌دهد).

نتایج حاصل از جذب باکتری *اشرشیاکلی* با سیستم مورد مطالعه در نمودارهای ۱ و ۲ نشان داده شده است. در یک زمان مشخص و در غلظت‌های مختلف باکتریایی وارده به سیستم، با افزایش جرم جاذب مورد استفاده، تعداد باکتری جذب‌شده افزایش یافت. به‌طوری که در سوسپانسیون باکتریایی 10^{3} باکتری در هر میلی‌لیتر، بعد از عبور هوای آلوده از روی خاکستر استخوان با وزن ۱۰ گرم، یک کلنی در محیط کشت مشاهده شد، در صورتی که بعد از عبور همین تعداد باکتری از روی جاذب با وزن ۴ گرم، ۳۰ عدد کلنی مشاهده شد که نشان‌دهنده تاثیر جرم جاذب در جذب *اشرشیاکلی* بود. در سیستم‌های جذب مورد استفاده برای جذب آلاینده‌های مختلف، دانه‌بندی یا اندازه جاذب از مهم‌ترین فاکتورهایی بود که راندمان جذب آلاینده‌ها را تحت تاثیر قرار داد. اندازه‌های جاذب در محدوده ۴۰–۲۰ مش نسبت به اندازه‌های بزرگتر از ۴۰ مش، راندمان بیشتری را در جذب *اشرشیاکلی* از خود نشان داد (نمودارهای ۱ و ۲). از طرفی، دانه‌بندی جاذب در محدوده ۴۰–۲۰ مش با جرم ۱۰ گرم، سوسپانسیون باکتریایی (CFU 10^{3}) را در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه با راندمان ۹۹/۹۹٪ جذب کرد (جدول ۲).



نمودار ۱) تاثیر مقادیر مختلف جاذب (۴، ۷ و ۱۰ گرم) با دانه‌بندی ۴۰–۲۰ مش در جذب باکتری



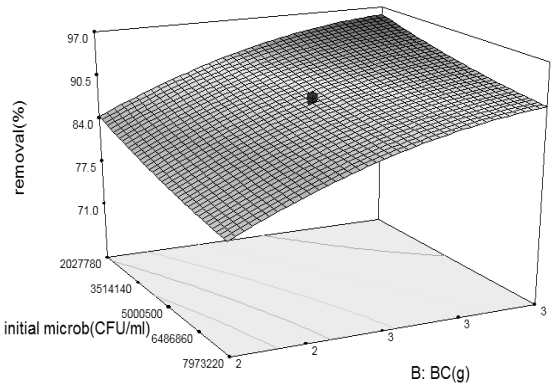
نمودار ۲) تاثیر مقادیر مختلف جاذب (۴، ۷ و ۱۰گرم) با دانه‌بندی بزرگتر از ۴۰ مش در جذب باکتری

جدول ۲) تاثیر زمان در حذف میکروب *اشرشیاکلی* (CFU 10^3) با شرایط ۱۰ گرم جاذب و دانه‌بندی ۴۰–۲۰ مش

زمان نمونه‌برداری (دقیقه)	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۳۰	۳۵
درصد حذف باکتری در سیستم	۷۰	۷۵	۸۳	۹۱	۹۶	۹۹/۹۹	۹۸

جدول ۳) طرح مقادیر آزمایشی متغیرها و نتایج آنها توسط RSM

تعداد	**غلظت سوسپانسیون باکتریایی اولیه** (تعداد باکتری در میلی‌لیتر)	**مقدار جاذب** (گرم)	**زمان** (دقیقه)	**اندازه جاذب** (مش)	**درصد جذب**
۱	10^3	۴	۲۰	۴۰<	۹۴
۲	10^7	۴	۵	۲۰–۴۰	۸۶
۳	10^3	۱۰	۲۰	۲۰–۴۰	۹۱
۴	10^7	۱۰	۵	۴۰<	۸۴
۵	10^3	۴	۳۰	۲۰–۴۰	۹۷
۶	10^7	۴	۳۰	۴۰<	۷۹/۵
۷	10^3	۱۰	۳۰	۴۰<	۹۵/۷
۸	10^7	۱۰	۳۰	۲۰–۴۰	۹۹/۲
۹	10^3	۴	۲۰	۴۰<	۸۴
۱۰	10^7	۴	۵	۴۰<	۶۵/۴
۱۱	10^7	۱۰	۵	۲۰–۴۰	۹۵/۷
۱۲	10^3	۴	۳۰	۴۰<	۸۹/۲
۱۳	10^7	۴	۳۰	۲۰–۴۰	۹۶
۱۴	10^3	۱۰	۳۰	۲۰–۴۰	۹۹/۹۹
۱۵	10^7	۱۰	۳۰	۴۰<	۹۵/۵
۱۶	10^3	۷	۳۰	۲۰–۴۰	۹۸/۹
۱۷	10^7	۷	۳۰	۲۰–۴۰	۹۷/۳
۱۸	10^6	۴	۳۵	۲۰–۴۰	۹۶/۷
۱۹	10^6	۱۰	۳۵	۲۰–۴۰	۹۹/۹۹
۲۰	10^6	۷	۵	۲۰–۴۰	۹۳/۸
۲۱	10^6	۷	۲۰	۲۰–۴۰	۹۷
۲۲	10^6	۷	۳۵	۲۰–۴۰	۹۹/۲
۲۳	10^6	۷	۳۵	۲۰–۴۰	۹۹/۲
۲۴	10^6	۷	۳۵	۴۰<	۹۷/۹
۲۵	10^6	۷	۳۵	۲۰–۴۰	۹۹/۲



شکل ۳) تاثیر ترکیبی متغیرهای آزمایش (وزن جاذب، غلظت سوسپانسیون باکتریایی) در راندمان جذب باکتری توسط منحنی RSM

نتایج حاصل از مقادیر ارایه‌شده توسط نرم‌افزار RSM در جدول ۳ و منحنی ترسیم‌شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

بحث

اکثر مردم از اثرات زیان‌بار آلودگی هوای آزاد بر محیط زیست و سلامتی خود مطلع هستند، ولی کیفیت هوای داخل ساختمان علی‌رغم اهمیت فراوان آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. افراد شاغل در محیط‌های بسته ممکن است درمعرض بیوآئروسل‌های فراوانی باشند، از این رو باید روش مناسبی برای پاکسازی تقریباً کامل هوای داخل ساختمان‌ها طرح‌ریزی شود. در این تحقیق، باکتری گرم‌منفی *اشرشیاکلی* به‌عنوان باکتری مدل به‌کار رفته است. انواع مختلف جاذب‌ها نظیر مواد پلیمری، جاذب‌های پایه سیلیکاتی، کربن فعال و خاکستر استخوان می‌توانند به‌عنوان جاذب مورد استفاده قرار گیرند [۲۱]. هرچند کربن فعال به‌عنوان جاذب متداول برای حذف اغلب آلاینده‌های آلی و یون‌های فلزی استفاده می‌شود، ولی در سال‌های اخیر استفاده از جاذب‌های ارزان دیگر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۲۲]. از میان جاذب‌های مختلف، خاکستر استخوان به‌دلیل ارزان‌بودن، عدم نیاز به مرحله فعال‌سازی، مقاومت فیزیکی بالاتر نسبت به کربن فعال، دسترسی آسان به مواد اولیه مورد نیاز و توانایی حذف انواع مختلف فلزات سنگین و رنگ‌های پایه اسیدی، کاربرد زیادی پیدا کرده است [۲۳]. از دیگر ویژگی‌های مهم خاکستر استخوان که به آن در برابر جاذب‌های دیگر، مخصوصاً کربن فعال برتری می‌بخشد، بازیافت این جاذب است که از طریق یک پروسه حرارتی ساده با دمای ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۳۰ دقیقه انجام می‌شود، به‌طوری که بیش از ۸۵٪ ظرفیت جذب آن قابل احیاست.

راندمان جذب باکتری *اشرشیاکلی* توسط خاکستر استخوان در این تحقیق ۹۹/۹۹٪ تعیین شد. در حالی که *ریورا* و همکاران در سال ۲۰۰۱، راندمان جذب این باکتری توسط کربن فعال را ۸۷/۸٪ گزارش کردند که این نتیجه، بیانگر کارآیی بالای خاکستر استخوان نسبت به کربن فعال در جذب باکتری است [۲۴]. مقایسه یافته‌های این مطالعه با نتایج گزارش‌شده توسط *ریورا* نشان می‌دهد علی‌رغم این‌که کربن فعال سطح ویژه بسیار بالاتری نسبت به خاکستر استخوان دارد، ولی نمی‌تواند جاذب مناسبی برای حذف باکتری‌ها باشد. زیرا کربن فعال به‌دلیل این که در ساختار خود دارای ترکیبات آلی بیشتری نسبت به خاکستر استخوان است، می‌تواند باعث تشکیل کلنی‌های باکتریایی و رهاسازی مجدد آنها در جریان هوا شود که این شرایط منجر به راندمان کمتر کربن فعال نسبت به خاکستر استخوان شده است [۲۴]. چنین شرایطی در حذف متابولیت‌های باکتریایی نظیر اندوتوکسین نیز گزارش شده است. به این صورت که کربن فعال، کارآیی چندانی در حذف این آلاینده‌ها نداشته، ولی خاکستر استخوان با توجه به شرایط ساختاری خاص خود می‌تواند این متابولیت‌ها را با راندمان بالاتری حذف نماید [۱۹]. *جیانگ* و همکاران در سال ۲۰۰۷، مطالعه‌ای در

زمینه جذب باکتری سودوموناس روی سه جاذب معدنی گوتیت، کائولینیت و مونتمورینولیت انجام دادند. آنها بعد از گذشت زمان ۵۰ دقیقه از عبور باکتری روی این سه جاذب، به این نتیجه رسیدند که ظرفیت جذب گوتیت> کائولینیت> مونتمورینولیت است. همچنین آنها نتایج مشابهی با نتایج مطالعه ما در مورد ارتباط مستقیم وزن جاذب با درصد جذب باکتری به‌دست آوردند [۲۵]. *یی* و همکاران در سال ۲۰۰۰، تاثیر شدت یونی و pH را در جذب باکتری باسیلوس‌سوبتیلیس روی سنگ سمباده و سطوح کوارتز مطالعه کردند. این محققان گزارش نمودند که جذب این باکتری در سطوح فوق، یک واکنش کاملاً برگشت‌پذیر است که تعادل فرآیند بعد از یک ساعت حاصل می‌شود و باکتری برای جذب در سنگ سمباده نسبت به کوارتز تمایل بیشتری دارد. از طرفی، شدت جذب باکتری در این سطوح با کاهش pH، کاهش شدت یونی و افزایش نسبت جرم باکتری به جرم جاذب افزایش می‌یابد [۲۶]. *گرینشپان* و همکاران در سال ۲۰۰۷ به بررسی کنترل آئروسل‌های داخل ساختمان پرداختند. آنها از باکتری *اشرشیاکلی* به‌عنوان باکتری مدل و از روش جذب انتشار یون استفاده کردند و بعد از مدت‌زمان ۳۰ دقیقه توانستند به راندمان جذب ۹۰٪ دست پیدا کنند [۲۷]، در حالی که در مطالعه حاضر با استفاده از جاذب خاکستر استخوان بعد از ۳۰ دقیقه، راندمان جذب ۹۹٪ باکتری *اشرشیاکلی* به‌دست آمد. هرچند نتایج به‌دست‌آمده در خصوص جذب عوامل باکتریایی در این مطالعه با سایر مطالعات متفاوت است، اما بررسی خصوصیات جاذب مورد استفاده در این مطالعه با خاکستر استخوان مطالعه‌شده توسط سایر محققان مطابقت بیشتری دارد. *چوی* و همکاران در سال ۲۰۰۵ با مطالعه ترکیب ساختار استخوان، به این نتیجه رسیدند که هیدروکسی‌آپاتیت‌کلسیم از اجزای اصلی این جاذب است [۲۸]. *آب* و همکاران در سال ۲۰۰۴ گزارش کردند که خاکستر استخوان در ساختار خود ۷۵-۷۰٪ فسفات‌کلسیم دارد که همان ترکیب اصلی هیدروکسی‌آپاتیت‌کلسیم است که با یافته‌های این مطالعه مطابقت دارد [۲۹].

در سیستم‌های جذب معمولاً برای بررسی تاثیر بار الکتریکی موجود در سطح جاذب از pH_{ZPC} استفاده می‌شود. مقدار عددی این پارامتر برای انواع مختلف جاذب‌ها متفاوت بوده و به اجزای تشکیل‌دهنده ساختار جاذب بستگی دارد. pH_{ZPC} به‌دست‌آمده در این تحقیق، ۸/۵ شد که در مقایسه با نتیجه مطالعه *غنی‌زاده* و همکاران در سال ۲۰۰۹ (۸/۳ =pH_{ZPC}) بالاتر است [۱۹] و دلیل آن می‌تواند مربوط به ویژگی‌های جاذب باشد. براساس محاسبات انجام‌شده، میزان سطح ویژه برای این جاذب در حدود ۱۰۰ مترمربع بر گرم تعیین شده است. این مقدار برابر با مقداری است که در مطالعه *چیونگ* و همکاران در سال ۲۰۰۲ در مورد حذف یون‌های روی و مس با استفاده از خاکستر استخوان به‌دست آمد [۲۳]، اما از مقادیر گزارش‌شده توسط *غنی‌زاده* و همکاران پایین‌تر است [۱۹]. *آب* و همکاران در سال ۲۰۰۴ مقدار عدد یدی خاکستر استخوان را ۹۸ میلی‌گرم بر گرم تعیین و گزارش کردند [۲۹]، در حالی که مقدار عدد یدی تعیین‌شده برای خاکستر استخوان در این مطالعه ۱۳۴/۴۴ میلی‌گرم بر گرم بود. مقادیر عدد یدی خاکستر استخوان تهیه‌شده در این مطالعه بیانگر این است که خاکستر استخوان بایستی سطح ویژه بیشتری نسبت به جاذب‌های دیگر داشته باشد که این مشخصه با تعیین سطح ویژه BET به‌اثبات رسید.

نتیجه‌گیری

کربن فعال علی‌رغم سطح زیاد نسبت به خاکستر استخوان، در پالایش و تصفیه هوای آلوده به *اشرشیاکلی*، راندمان کمتری دارد. بنابراین با انجام مطالعات تکمیلی، فرآیند جذب با خاکستر استخوان می‌تواند به‌عنوان روشی مناسب برای بهبود کیفیت باکتریایی هوای محیط‌های بسته (نظیر بخش‌های مختلف بیمارستان‌ها) مورد استفاده قرار گیرد. زیرا خاکستر استخوان با دانه‌بندی ۴۰-۲۰ مش در مدت‌زمان ۳۰ دقیقه می‌تواند با راندمان ۹۹/۹۹٪ باکتری *اشرشیاکلی* را جذب کند. نبولایزر مورد استفاده با دبی یک لیتر بر دقیقه می‌تواند به‌عنوان سیستم تولید بیوآئروسل مناسب مطرح باشد.

منابع

1- Grinshpun SA, Mainelis G. Evaluation of ionic air purifiers for reducing aerosol exposure in confined indoor spaces. Int J Environ Heal. 2005;15(4):235-45.

2- Dinno A, Glantz S. Clean indoor air Lawsi immediately reduces heart attacks. Prev Med. 2007;45(1):9-11.

3- Chow TT, Yang XY. Ventilation performance in operating theatres against airborne infection: Review of research activities and practical guidance. J Hosp Infect. 2004;56(2):85-92.

4- Coia JE. Nosocomial and laboratory-acquired infection with Escherichia coli 0157. J Hosp Infect. 1998;40(2):107- 13.

5- Ekhaise FO, Ighosewe OU, Ajakpovi OD. Hospital indoor airborne microflora in private and government owned hospitals in Benin City, Nigeria. J Med Sci. 2008;3(1):19-23.

6- Farnsworth JE, Goyal SM. Development of a method for bacteria and virus recovery from Heating, Ventilation and Air Conditioning (HVAC) filters. J Environ Monit. 2006;8(10):1006-13.

7- Prabhu N, Sangeetha M. A rapid method of evaluating microbial load in health care industry and application of alcohol to reduce nosocomial infection. J Acad Hosp Admin. 2006;18(1):1-12.

8- Gina Pugliese RN. Nosocomial bacterial pneumonia: An overview. Am J Infect Cont. 1987;15(6):249-65.

9- Dascalaki EG, Lagoudi A, Balaras CA, Gaglia AG. Air quality in hospital operating rooms. Build Environ. 2008;43(11):1945-52.

10- Howard JL, Hanssen AD. Principles of a clean operating room environment. J Arthroplas. 2007;22(7):6-11.

11- Ghiasvandian S. Nosocomial infection in the Intensive Care Unit (ICU). Iran J Nurs. 2001;8:27-34.

12- Rui Z, Guangbei TU, Jihong L. Study on biological contaminant control strategies under different ventilation models in hospital operating room. Build Environ. 2008;43(5):793-803.

4th ed. Washington: McGraw-Hill; 2003.
22- Ferrogarcia MA, Rivera-Utrilla J, Bautista-Toledo I. Bioadsorption of Pb(II), Cd(II) and Cr(VI) on activated carbon from aqueous solution. Carbon. 2003;41(2):323-30.
23- Cheung CW, Porter JF, McKay G. Combined diffusion model for the sorption of cadmium, copper and zinc ions onto bone char. Environ Sci Technol. 2002;35(7):1511-22.
24- Rivera J, Bautista I. Activated carbon surface modifications by adsorption of bacteria and their effect on aqueous lead adsorption. J Chem Technol Biot. 2001;76(12):1209-15.
25- Jiang D, Huang Q, Cai P, Rong X, Chen W. Adsorption of Pseudomonas putida on clay minerals and iron oxide: Colloid and surf B. Biointerfaces. 2007;54(2):217-21.
26- Yee N, Fein JB, Daughney CJ. Experimental study of the pH, ionic strength and reversibility behavior of bacteria-mineral adsorption. Geochemica Comochemica Acta. 2000;64(4):609-17.
27- Grinshpun S, Pyankov O, Huang R, Agranovski I. Removal of viable bioaerosol particles with a low-efficiency HVAC filter enhanced by continuous emission of unipolar air ions. Indoor Air. 2008;18(2):106-12.
28- Choy KKH, McKay G. Sorption of metal ions from aqueous solution using bone char. Environ Int. 2005;31(6):845-54.
29- Abe I, Iwasaki S, Tokimoto T, Kawasaki N, Nakamura T, Tanada S. Adsorption of fluoride ions onto carbonaceous materials. J Colloid Interface Sci. 2004;275(1):35-9.
13- Phussadee P, Prasert P. Activated carbon from eucalyptus camaldulensis Dehn bark using phosphoric acid activation. Bioresource Technol. 2008;99(17):8540-3.
14- Orfao JJM, Silva AIM, Pereira JCV. Adsorption of a reactive dye on chemically modified activated carbon: Influence of pH. J Colloid Interface Sci. 2006;296(2):480-9.
15- Ayllon M, Aznar M, Sanchez JL, Gea G, Arauzo J. Influence of temperature and heating rate on the fixed bed pyrolysis of meat and bone meal. Chem Engeen J. 2006;121(3):85-96.
16- ASTM.org [homepage on the Internet]. West Conshohocken: c1996-2011 [cited 2011 Jul 12]. Available from: http://www.astm.org/Standards/ D2972-88.htm
17- ASTM.org [homepage on the Internet]. West Conshohocken: c1996-2011 [cited 2011 Apr 9]. Available from: http://www.astm.org/Standards/ D4607.htm
18- Wand H, Vacca G. Removal of bacteria by filtration in planted and non-planted sand columns. Water Res. 2007;41(1):159-67.
19- Rezaee A, Ghanizadeh G, Behzadiannejad G, Yazdanbakhsh A, Siyadat SD. Adsorption of endotoxin from aqueous solution using bone char. Bull Environ Contam Toxicol. 2009;82(6):732-7.
20- Su S, Nie H, Zhu L, Chen T. Optimization of adsorption conditions of papain on dye affinity membrane using response surface methodology. Bioresource Technol. 2009;100(8):2336-40.
21- Metcalf E. Wastewater engineering: Treatment and reuse.