

## طراحی سیستم تولید بیوآئروسول به منظور حذف/شیرشیا کلی از هوای آلوده با استفاده از خاکستر استخوان

عباس رضایی\* *PhD*، مریم رامین<sup>۱</sup> *BSc*، قادر غنی‌زاده<sup>۲</sup> *PhD*، فیروز ولی‌پور<sup>۱</sup> *MSc*

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

<sup>۱</sup>گروه بهداشت محیط و حرفه‌ای، دانشکده علوم پزشکی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

<sup>۲</sup>مرکز تحقیقات بهداشت و "دانشکده بهداشت"، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله (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 بیوآئروسول وجود دارد. این مطالعه با هدف طراحی سیستمی مناسب برای تولید بیوآئروسول به منظور حذف/شیرشیا 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 آئروسول باکتریایی در محدوده  $10^3-10^7$  عدد باکتری در هر میلی‌لیتر هوا با نیولایزر تهیه و در سیستم تزریق شد. داده‌ها به کمک نرم افزار 7 RSM تفسیر شد.

**یافته‌ها:** راندمان حذف/شیرشیا 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 به ترتیب 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٪ به دست آمد.

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

**کلیدواژه‌ها:** بیوآئروسول، خاکستر استخوان، شیرشیا کلی، آلودگی میکروبی هوا

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

Rezayee A.\* *PhD*, Ramin M.<sup>1</sup> *BSc*, Ghanizadeh Gh.<sup>2</sup> *PhD*, Valipour F.<sup>1</sup> *MSc*

\*Department of Environmental & Professional Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>1</sup>Department of Environmental & Professional Health, Faculty of Medical Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>"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<sup>th</sup> 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

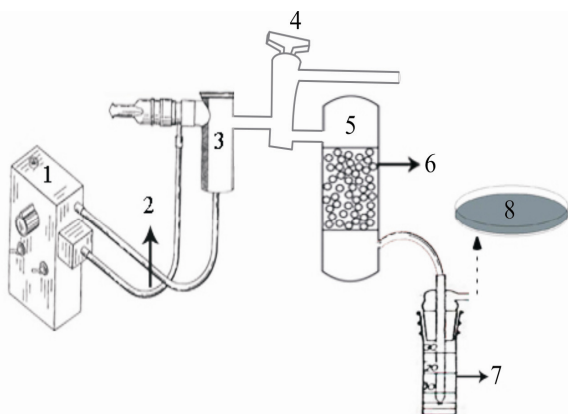
## مقدمه

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*، *پسودوموناس آئروژینوزا*، *انتروباکتر و کلبسیلا پنومونیه* ایجاد می‌شود [۹]. براساس موارد فوق، کمیته کنترل عفونت‌های بیمارستانی، کاهش مصرف بعضی آنتی‌بیوتیک‌ها به‌خصوص ونکومايسين 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 راه کارهای 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 میکروپ‌ها از عامل آلی موجود در این جاذب است که می‌تواند راندمان جذب میکروپ‌ها را کاهش دهد [۱۴]. مطالعات انجام‌شده در سال‌های اخیر نشان می‌دهد که خاکستر حاصل

آلودگی هوای داخل ساختمان یکی از مهم‌ترین عوامل مخاطره‌آمیز است که می‌تواند سلامتی افراد را در جوامع مختلف توسعه‌یافته و درحال توسعه به‌شدت تحت تأثیر 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 تأثیر 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 فیزیولوژیکی 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 مجاز 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 هوابردار 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 ارائه‌دهنده 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 آئروسول‌های محتوی عوامل بیماری‌زا در هوای این مراکز نشان می‌دهد [۶]. براساس آمارهای جهانی، سالانه ۱۷ تا ۲۹ میلیارد دلار و براساس آمارهای

برای تهیه دانسیته باکتریایی لازم در آئروسول وارده به سیستم، ابتدا کلنی‌های باکتریایی در محلول بافر نرمال سالین استریل وارد شدند و سپس دانسیته  $0.5 \times 10^8$  مک‌فارلند (معادل  $1/5 \times 10^8$  باکتری در هر میلی‌لیتر) توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (Unico 2100 SUV-VIS؛ ساخت ایالات متحده آمریکا) با طول موج  $620 \text{ nm}$  تهیه شد. در مرحله بعد، نمونه‌های باکتریایی لازم با رقت  $10^3 - 10^7$  باکتری، تهیه و برای آزمون‌های حذف/شیرشیا کلی توسط خاکستر استخوان استفاده شدند [۱۸، ۱۹]. سیستم مورد استفاده متشکل از یک ستون شیشه‌ای به طول ۸ سانتی‌متر و قطر  $1/2$  سانتی‌متر، 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 (VixOne، PN 70358-08؛ ساخت کشور آلمان) با گنجایش ۱۲ لیتر، دبی  $2700$  میلی‌لیتر بر دقیقه و قدرت ۵۰ وات قرار گرفت تا به بیوآئروسول تبدیل شود. تمامی اتصالات توسط شیلنگ‌های آزمایشگاهی (تایگون؛ ساخت کشور چین) با قطر داخلی  $1/4$  اینچ، قطر خارجی  $3/8$  اینچ و ضخامت دیواره  $1/16$  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) ایمینیجر حاوی نرمال سالین برای نمونه‌برداری از خروجی سیستم، (۸) پلیت حاوی محیط کشت EMB آگار

وسایل به‌کاررفته در سیستم با الکل  $70\%$ ، اسیدکلریدریک  $5\%$ ، اشعه UV، اتوکلاو و فور استریل شدند. به‌منظور تعیین میزان حذف باکتری توسط سیستم طراحی شده، نمونه‌برداری با دبی ثابت  $1000$  میلی‌لیتر بر دقیقه در فواصل زمانی ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ دقیقه در داخل یک میکروایمینیجر حاوی  $2$  میلی‌لیتر محلول نرمال سالین استریل انجام شد. برای تأمین دبی  $1000$  میلی‌لیتر بر دقیقه، یک سه‌راهی شیشه‌ای به‌کارگرفته شد که حجم  $1700$  میلی‌لیتر بر دقیقه اضافی را از لوله سوم به مخزن نبولایزر برگشت می‌داد. سپس از محتویات ایمینیجر به‌میزان  $0.5$  میلی‌لیتر روی پلیت EMB آگار (محیط کشت اختصاصی برای رشد/شیرشیا کلی) ریخته شد و پلیت‌ها

از سوزاندن یا احتراق زایدات استخوان در دمای بالا ( $900 - 400$  درجه سانتی‌گراد) می‌تواند به‌عنوان جاذب برای حذف آلاینده‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد [۱۵]. با توجه به فراوانی ماده اولیه در دسترس و قابلیت تهیه خاکستر استخوان در شرایط مختلف نظیر شرایط آزمایشگاهی و شرایط صحرایی، در این مطالعه سیستم تولید بیوآئروسول برای تصفیه هوای آلوده به باکتری/شیرشیا کلی (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 بیوآئروسول 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 بیوآئروسول 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 بیوآئروسول به‌منظور حذف باکتری/شیرشیا کلی 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  $450$  درجه سانتی‌گراد و مدت زمان  $4/5$  ساعت انجام شد [۱۵]. خاکسترهای استخوان با استفاده از ال‌ک‌های استاندارد ASTM (انجمن آمریکایی آزمایش و مواد) با اندازه‌های  $20 - 60$  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<sub>ZPC</sub> جاذب نیز با استفاده از محلول نمک طعام  $0.1$  نرمال و محلول‌های سود و اسیدکلریدریک  $0.1$  نرمال با روش تیتراسیون اندازه‌گیری شد. سویه باکتریایی/شیرشیا کلی (ATCC0: 25922) به‌عنوان مدلی برای ایجاد آلودگی باکتریایی در هوا از آزمایشگاه مرجع، تهیه و در مطالعات تولید بیوآئروسول و تصفیه هوای آلوده با عامل باکتریایی مورد استفاده قرار گرفت.

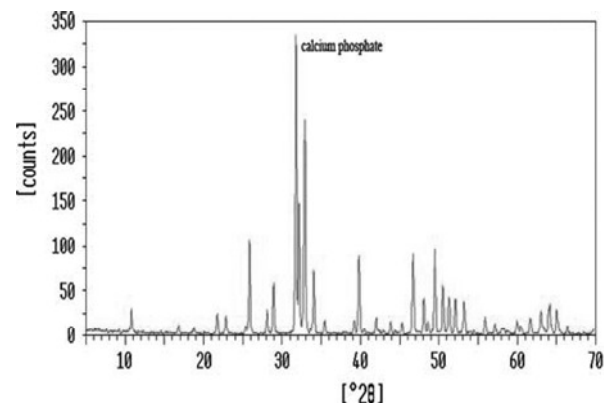
به مدت ۲۴-۱۸ ساعت در گرمخانه با دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند و پس از مدت مذکور، نتیجه رشد باکتری/اشریشیاکلی در هر نمونه با چشم غیرمسلح شمارش شد. برای به دست آوردن نتایج قابل قبول از میان متغیرهای مورد نظر، از نسخه ۷ نرم‌افزار روش‌شناسی رویه پاسخ (RSM) به عنوان روش نوین آماری استفاده شد [۲۰]. در این روش، حد بالا و پایین 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 جذب (۱۰-۱) گرم، غلظت سوسپانسیون باکتریایی (۱۰<sup>۷</sup>-۱۰<sup>۳</sup>) باکتری در هر میلی‌لیتر، زمان (۳۵-۵ دقیقه) و اندازه ذرات جذب (۲۰-۴۰) مش و بزرگتر از (۴۰) بود.

جدول (۱) ویژگی‌های خاکستر استخوان مورد استفاده در مطالعه

مشخصه	مقدار	واحد
pH <sub>zpc</sub>	۸/۵	-
سطح ویژه جذب	۱۰۰	m <sup>2</sup> /g
دانسیته ظاهری	۰/۷۶۸	g/cm <sup>3</sup>
عدد پدی	۱۳۴/۴۴	mg/g
دانه‌بندی	۲۰-۴۰ و <۴۰	mesh

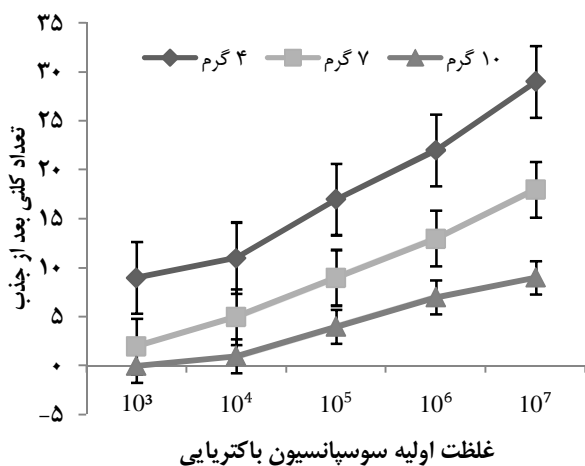
## نتایج

ویژگی‌های تعیین شده خاکستر استخوان از قبیل: pH<sub>zpc</sub>، سطح ویژه جذب، دانسیته ظاهری، عدد پدی و دانه‌بندی در جدول ۱ نشان داده شده است. خاکستر استخوان دارای خصوصیات ظاهری غیر کریستالی بود و ترکیب غالب موجود در ساختار این نوع خاکستر استخوان، هیدروکسی آپاتیت کلسیم با فرمول Ca<sub>5</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>OH بود. این نتایج با بررسی پیک‌های غالب موجود در منحنی تهیه شده توسط XRD و مقایسه آن با کارت‌های استاندارد به دست آمد (شکل ۲).

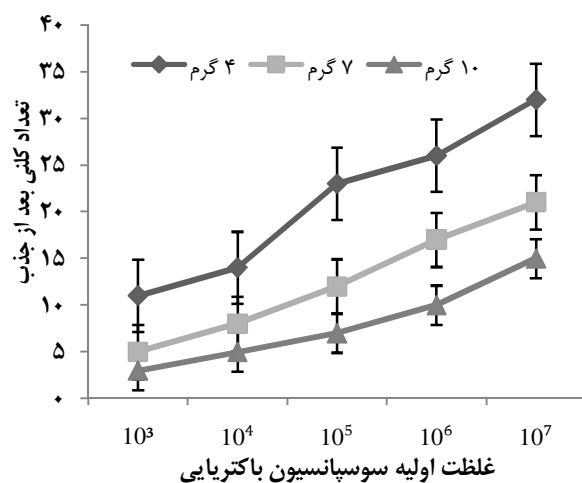


شکل (۲) تصویر XRD ذرات خاکستر استخوان (محور افقی، زاویه تابش و بازتابش و محور عمودی، شدت شمارش را نشان می‌دهد).

نتایج حاصل از جذب باکتری/اشریشیاکلی 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 جذب شده افزایش یافت. به طوری که در سوسپانسیون باکتریایی ۱۰<sup>۳</sup> 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 نشان دهنده تاثیر جرم جاذب در جذب/اشریشیاکلی 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 ۲۰-۴۰ مش نسبت به اندازه‌های بزرگتر از ۴۰ مش، راندمان بیشتری را در جذب/اشریشیاکلی از خود نشان داد (نمودارهای ۱ و ۲). از طرفی، دانه‌بندی جاذب در محدوده ۲۰-۴۰ مش با جرم ۱۰ گرم، سوسپانسیون باکتریایی (CFU) ۱۰<sup>۳</sup> را در مدت زمان ۳۰ دقیقه با راندمان ۹۹/۹۹٪ جذب کرد (جدول ۲).



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



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

نتایج حاصل از مقادیر ارایه شده توسط نرم افزار RSM در جدول ۳ و منحنی ترسیم شده در شکل ۳ نشان داده شده است.

## بحث

اکثر مردم از اثرات زیان بار آلودگی هوای آزاد بر محیط زیست و سلامتی خود مطلع هستند، ولی کیفیت هوای داخل ساختمان علی رغم اهمیت فراوان آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. افراد شاغل در محیط های بسته ممکن است در معرض بیوآئروسول های فراوانی باشند، از این رو باید روش مناسبی برای پاکسازی تقریباً کامل هوای داخل ساختمان ها طرح ریزی شود. در این تحقیق، باکتری گرم منفی *اشرشیاکلی* به عنوان باکتری مدل به کار رفته است. انواع مختلف جاذب ها نظیر مواد پلیمری، جاذب های پایه سیلیکاتی، کربن فعال و خاکستر استخوان می توانند به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گیرند [۲۱]. هر چند کربن فعال به عنوان جاذب متداول برای حذف اغلب آلاینده های آلی و یون های فلزی استفاده می شود، ولی در سال های اخیر استفاده از جاذب های ارزان دیگر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است [۲۲]. از میان جاذب های مختلف، خاکستر استخوان به دلیل ارزان بودن، عدم نیاز به مرحله فعال سازی، مقاومت فیزیکی بالاتر نسبت به کربن فعال، دسترسی آسان به مواد اولیه مورد نیاز و توانایی حذف انواع مختلف فلزات سنگین و رنگ های پایه اسیدی، کاربرد زیادی پیدا کرده است [۲۳]. از دیگر ویژگی های مهم خاکستر استخوان که به آن در برابر جاذب های دیگر، مخصوصاً کربن فعال برتری می بخشد، بازیافت این جاذب است که از طریق یک پروسه حرارتی ساده با دمای ۲۰۰ درجه سانتی گراد به مدت ۳۰ دقیقه انجام می شود، به طوری که بیش از ۸۵٪ ظرفیت جذب آن قابل احیاست.

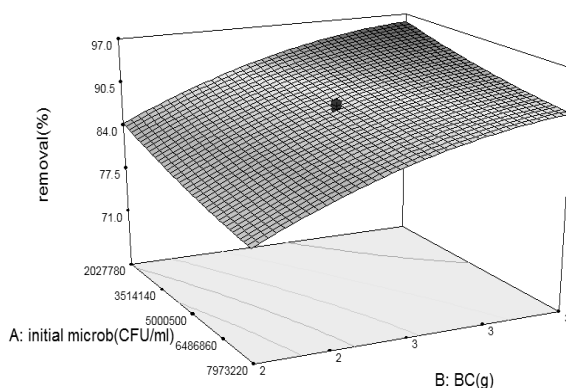
راندمان جذب باکتری *اشرشیاکلی* توسط خاکستر استخوان در این تحقیق ۹۹/۹۹٪ تعیین شد. در حالی که ریبورا و همکاران در سال ۲۰۰۱، راندمان جذب این باکتری توسط کربن فعال را ۸۷/۸٪ گزارش کردند که این نتیجه، بیانگر کارایی بالای خاکستر استخوان نسبت به کربن فعال در جذب باکتری است [۲۴]. مقایسه یافته های این مطالعه با نتایج گزارش شده توسط ریبورا نشان می دهد علی رغم این که کربن فعال سطح ویژه بسیار بالاتری نسبت به خاکستر استخوان دارد، ولی نمی تواند جاذب مناسبی برای حذف باکتری ها باشد. زیرا کربن فعال به دلیل این که در ساختار خود دارای ترکیبات آلی بیشتری نسبت به خاکستر استخوان است، می تواند باعث تشکیل کلنی های 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 متابولیت های باکتریایی نظیر اندوتوکسین نیز گزارش شده است. به این صورت که کربن فعال، کارایی چندانی در حذف این آلاینده ها نداشته، ولی خاکستر استخوان با توجه به شرایط ساختاری خاص خود می تواند این متابولیت ها را با راندمان بالاتری حذف نماید [۱۹]. جیانگ و همکاران در سال ۲۰۰۷، مطالعه ای در

جدول ۲) تاثیر زمان در حذف میکروب/اشرشیاکلی (CFU ۱۰<sup>۲</sup>) با شرایط ۱۰ گرم جاذب و دانه بندی ۴۰-۲۰ مش

زمان نمونه برداری (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 میلی لیتر)	مقدار جاذب (گرم)	زمان (دقیقه)	اندازه جاذب (مش)	درصد جذب
۱	۱۰ <sup>۳</sup>	۴	۲۰	۴۰<	۹۴
۲	۱۰ <sup>۷</sup>	۴	۵	۲۰-۴۰	۸۶
۳	۱۰ <sup>۳</sup>	۱۰	۲۰	۲۰-۴۰	۹۱
۴	۱۰ <sup>۷</sup>	۱۰	۵	۴۰<	۸۴
۵	۱۰ <sup>۳</sup>	۴	۳۰	۲۰-۴۰	۹۷
۶	۱۰ <sup>۷</sup>	۴	۳۰	۴۰<	۷۹/۵
۷	۱۰ <sup>۳</sup>	۱۰	۳۰	۴۰<	۹۵/۷
۸	۱۰ <sup>۷</sup>	۱۰	۳۰	۲۰-۴۰	۹۹/۲
۹	۱۰ <sup>۳</sup>	۴	۲۰	۴۰<	۸۴
۱۰	۱۰ <sup>۷</sup>	۴	۵	۴۰<	۶۵/۴
۱۱	۱۰ <sup>۷</sup>	۱۰	۵	۲۰-۴۰	۹۵/۷
۱۲	۱۰ <sup>۳</sup>	۴	۳۰	۴۰<	۸۹/۲
۱۳	۱۰ <sup>۷</sup>	۴	۳۰	۲۰-۴۰	۹۶
۱۴	۱۰ <sup>۳</sup>	۱۰	۳۰	۲۰-۴۰	۹۹/۹۹
۱۵	۱۰ <sup>۷</sup>	۱۰	۳۰	۴۰<	۹۵/۵
۱۶	۱۰ <sup>۳</sup>	۷	۳۰	۲۰-۴۰	۹۸/۹
۱۷	۱۰ <sup>۷</sup>	۷	۳۰	۲۰-۴۰	۹۷/۳
۱۸	۱۰ <sup>۶</sup>	۴	۳۵	۲۰-۴۰	۹۶/۷
۱۹	۱۰ <sup>۶</sup>	۱۰	۳۵	۲۰-۴۰	۹۹/۹۹
۲۰	۱۰ <sup>۶</sup>	۷	۵	۲۰-۴۰	۹۳/۸
۲۱	۱۰ <sup>۶</sup>	۷	۲۰	۲۰-۴۰	۹۷
۲۲	۱۰ <sup>۶</sup>	۷	۳۵	۲۰-۴۰	۹۹/۲
۲۳	۱۰ <sup>۶</sup>	۷	۳۵	۲۰-۴۰	۹۹/۲
۲۴	۱۰ <sup>۶</sup>	۷	۳۵	۴۰<	۹۷/۹
۲۵	۱۰ <sup>۶</sup>	۷	۳۵	۲۰-۴۰	۹۹/۲



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

در حالی که مقدار عدد یدی تعیین شده برای خاکستر استخوان در این مطالعه ۱۳۴/۴۴ میلی گرم بر گرم بود. مقادیر عدد یدی خاکستر استخوان تهیه شده 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 به اثبات رسید.

### نتیجه گیری

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 میکرون در مدت زمان 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 بیوائروسل 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 Laws 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.

زمینه جذب باکتری سودوموناس روی سه جاذب معدنی گوتیت، کائولینیت و مونتمو رینولیت 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 < مونتمو رینولیت است. همچنین آنها نتایج مشابهی با نتایج مطالعه ما در مورد ارتباط مستقیم وزن جاذب با درصد جذب باکتری به دست آوردند [۲۵]. یی و همکاران در سال ۲۰۰۰، تاثیر شدت یونی و pH را در جذب باکتری باسیلوس سوبتیلیس روی سنگ سمباده و سطوح کوارتز مطالعه کردند. این محققان گزارش نمودند که جذب این باکتری در سطوح فوق، یک واکنش کاملاً برگشت پذیر 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]. گریشپان و همکاران در سال ۲۰۰۷ به بررسی کنترل آئروسول‌های داخل ساختمان پرداختند. آنها از باکتری *اشرشیاکلی* به‌عنوان باکتری مدل و از روش جذب انتشار یون استفاده کردند و بعد از مدت زمان 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* به دست آمد. هر چند نتایج به دست آمده 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 مطالعه شده توسط سایر محققان مطابقت بیشتری دارد. چوی و همکاران در سال ۲۰۰۵ با مطالعه ترکیب ساختار استخوان، به این نتیجه رسیدند که هیدروکسی آپاتیت کلسیم از اجزای اصلی این جاذب است [۲۸]. آب و همکاران در سال ۲۰۰۴ گزارش کردند که خاکستر استخوان در ساختار خود ۷۵-۷۰٪ فسفات کلسیم دارد که همان ترکیب اصلی هیدروکسی آپاتیت کلسیم است که با یافته‌های این مطالعه مطابقت دارد [۲۹].

در سیستم‌های جذب معمولاً برای بررسی تاثیر بار الکتریکی موجود در سطح جاذب از pH<sub>ZPC</sub> استفاده می‌شود. مقدار عددی این پارامتر برای انواع مختلف جاذب‌ها متفاوت بوده و به اجزای تشکیل دهنده ساختار جاذب بستگی دارد. pH<sub>ZPC</sub> به دست آمده در این تحقیق، ۸/۵ شد که در مقایسه با نتیجه مطالعه غنی زاده و همکاران در سال ۲۰۰۹ (۸/۳) pH<sub>ZPC</sub> بالاتر است [۱۹] و دلیل آن می‌تواند مربوط به ویژگی‌های جاذب باشد. براساس محاسبات انجام شده، 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 به دست آمد [۲۳]. اما از مقادیر گزارش شده توسط غنی زاده و همکاران پایین تر است [۱۹]. آب و همکاران در سال ۲۰۰۴ مقدار عدد یدی خاکستر استخوان را ۹۸ میلی گرم بر گرم تعیین و گزارش کردند [۲۹].

4<sup>th</sup> 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 Engen 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*.