



حذف بخار جیوه از هوای مطب‌های دندان‌پزشکی با استفاده از یک سامانه پالایش گر مبتنی بر نانوذرات نقره

چیمین سعیدی^۱، محمد جواد عصار^{۲*}، فرشید قربانی شهنا^۳، زهرا خاموردی^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۴/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۵/۲۲

چکیده

زمینه و هدف: جیوه یک آلاینده سمی با قابلیت تجمع‌پذیری زیستی بوده که اثرات مخربی بر محیط زیست و سلامت انسان دارد. تلاش‌های بسیاری برای حذف جیوه در محیط زیست انجام شده است. نانوذرات نقره یکی از موادی است که برای جذب جیوه و تشکیل آمالگام جیوه از پتانسیل بالایی برخوردار است. هدف از این مطالعه، حذف بخار جیوه از هوای مطب‌های دندان‌پزشکی با استفاده از یک سیستم پالایشگر مبتنی بر نانوذرات نقره می‌باشد.

روش بررسی: در این مطالعه، ابتدا نانوذرات نقره بر روی بستری از جنس فوم پوشش داده شده، و ویژگی‌های شیمیایی و ساختاری آن با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی UV-VIS-NIR و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) متصل به طیف‌سنجی X-ray انتشار انرژی (EDS) تعیین گردید. سپس راندمان پالایشگر از نظر حذف بخار جیوه در شرایط شبیه‌سازی شده در آزمایشگاه و شرایط واقعی در مطب دندان‌پزشکی، توسط روش طیف‌سنجی جذب اتمی بخار سرد (CVAAS) مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج: تصاویر SEM، حاکی از سنتز نانوذرات نقره با اندازه 30 nm در محلول کلونییدی، و توزیع یکنواخت و مناسبی از نانوذرات نقره پوشش داده شده بر فوم بود. طیف EDS مرتبط با SEM نیز وجود نانوذرات نقره پوشش داده شده بر فوم را تایید نمود. بین غلظت بخار جیوه در حالات خاموش ($3.42 \mu\text{g.m}^{-3}$) و روشن ($0.51 \pm 0.31 \mu\text{g.m}^{-3}$) بودن سامانه پالایش گر اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. راندمان حذف جیوه سامانه پالایش گر نیز ۹۵٪ محاسبه گردید.

نتیجه‌گیری: پالایش گر مبتنی بر فوم پوشش داده شده با نانوذرات نقره، به علت برخورداری از مزایایی مانند سهولت بهره‌برداری، ظرفیت جذب عملیات بسیار کارآمد و مقرون به صرفه بودن، جهت حذف بخار جیوه از هوای مطب‌های دندان‌پزشکی از قابلیت بالایی برخوردار می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: حذف بخار جیوه، نانوذرات نقره، سامانه پالایش گر هوا، مطب دندان‌پزشکی

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۲. (نویسنده مسئول) استادیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. پست الکترونیک: Asari@umsha.ac.ir

۳. دانشیار گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.

۴. استاد گروه ترمیمی و زیبایی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران.



مقدمه

امروزه تولید و نشر آلاینده های سمی زندگی بشر را تهدید می کند. جیوه و ترکیبات آن به عنوان مواد بالقوه خطرناک شناخته شده و در گروه اصلی آلاینده های زیست محیطی طبقه بندی می گردند [۱]. جیوه از منابع مختلف طبیعی و انسانی در اتمسفر انتشار می یابد [۲]. از دیرباز تاکنون نگرانی های زیادی در رابطه با آلودگی هوا ناشی از جیوه وجود داشته، مواجهه با سطوح بالای جیوه موجب ایجاد اثرات مخرب بر سیستم عصبی، کلیه ها، عضلات و سیستم ایمنی می شود [۳]. جیوه معمولاً به سه شکل اصلی شامل جیوه عنصری، ترکیبات معدنی و آلی وجود دارد و بخار جیوه عنصری را می توان منبع خطرناک آلودگی هوا به حساب آورد [۴]. اشکال مختلف جیوه بر میکروارگانیسم ها، گیاهان و بی مهرگان آبی، ماهی ها، پستانداران دریایی، پرندگان، گیاهان و انسان اثرات نامطلوبی دارند [۵]. مواجهات شغلی با جیوه عمدتاً در واحدهای کلرآلکالی صنایع پتروشیمی، معادن جیوه، کارخانه های تولید دماسنج، معادن طلا، الکترولیز نمک طعام و در مطب های دندانپزشکی رخ می دهد [۶]. خطرات ناشی از مواجهه شغلی با جیوه در مشاغل مختلف در طی چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است [۷]. بر اساس مطالعات انجام شده دندان پزشکان به دلیل کار با آمالگام مورد استفاده جهت ترمیم دندان، با بخار جیوه در تماس هستند [۸-۹]. آمالگام علی رغم سمی بودن به علت قیمت پایین و استحکام بالاتر و مهر و موم شدن بهتر با دندان، استفاده بسیار زیادی در دندانپزشکی دارد [۱۰].

در حال حاضر تحقیقات زیادی در زمینه توسعه استراتژی ها و فن آوری های کاهش جیوه در حال انجام است. تکنولوژی تزریق کربن فعال (Activated carbon injection: ACI)، یکی از روش های پر کاربرد کنترل جیوه عنصری می باشد، که در حال حاضر استفاده گسترده ای دارد. در حالی که روش های ته نشینی الکترواستاتیک (ESP: Electrostatic precipitators) تنها قادر به کنترل جیوه معدنی بوده و واحدهای دی سولفوراسیون جریان گاز (Flue gas desulfurization: FGD) نیز تنها می تواند جیوه آلی را حذف را کند [۲ و ۶]. نتایج مطالعات انجام شده حاکی از آن است که ساختار متخلخل کربن فعال، مهم ترین عامل جذب در این جاذب می باشد [۲]. تمایل ضعیف بین کربن های اصلاح نشده (فاقد جایگاه های فعال ویژه) و جیوه عنصری، و نیز افت فشار بالا

از جمله مشکلات عمده در ارتباط با تکنولوژی ACI در بستر ثابت می باشد. علاوه بر این، از گوگرد پوشش شده بر کربن نیز برای جذب بخار جیوه با راندمان بالا در بستر ثابت استفاده می شود، که در این روش، مشکل زباله های سمی حائز اهمیت است [۶]. از پیشرفت های موثری که امروزه در زمینه کنترل آلودگی هوا صورت گرفته، می توان به استفاده از فناوری نانو، و نقش موثر نانوکامپوزیت ها در کنترل آلودگی هوا و حفظ محیط زیست اشاره نمود [۱۴]. ظرفیت جذب جاذب های نانومقیاس، به علت مساحت سطحی بالا، حجم منافذ و ساختار کریستالی در مقایسه با سایر جاذب های معمولی، به طور قابل ملاحظه ای بیش تر می باشد [۱۵]. علاوه بر راندمان بالای جاذب در جذب جیوه، توسعه استفاده از یک جاذب کم هزینه و مقرون به صرفه نیز همواره حائز اهمیت بسیار بوده و بسیاری از محققان روش های افزایش توانایی جاذب ها در جذب جیوه را به همراه کاهش هزینه ها مورد مطالعه قرار داده اند. وزارت انرژی امریکا هزینه های پیش بینی شده برای کنترل جیوه به میزان ۹۰٪ را بین ۲۵،۰۰۰ تا ۷۰،۰۰۰ دلار به ازای حذف هر پوند جیوه برآورد نموده است [۱۶].

لذا با توجه به هزینه بالا و ناکارآمدی بسترهای کربن فعال، اکسیدها، سولفیدها و هالوژن های فلزی، خاکستر و مواد معدنی در جهت حذف بخار جیوه، و با اذعان به اهمیت فناوری نانو در زمینه کنترل آلودگی هوا و توانایی نانوذرات نقره (AgNPs) برای جذب و ایجاد آمالگام پایدار با جیوه، این مطالعه با هدف طراحی و ساخت یک پالایشگر مبتنی بر نانوذرات نقره، به منظور حذف بخار جیوه از هوای مطب های دندانپزشکی انجام پذیرفت.

روش بررسی

مواد شیمیایی

در کلیه مراحل آزمایش از آب دیونیزه (TKA, Smart2Pure, Germany) و گاز آرگون به عنوان گاز حامل استفاده گردید. محلول مادر (1000 mg.l^{-1}) جیوه (II)، با استفاده از حل نمودن نمک کلرید جیوه تهیه گردید. محلول استاندارد مادر جیوه قبل از استفاده، در دمای 4°C نگاه داشته شد. محلول های استاندارد کاربردی Hg(II) در سطوح غلظتی مورد نیاز، توسط رقیق نمودن مرحله ای محلول استاندارد مادر، بلافاصله قبل از استفاده، توسط اسیدنیتریک 0.5 mol.l^{-1} آماده گردید. عامل احیاء کننده (SnCl_2) ۲/۵٪ به صورت تازه و روزانه تهیه گردید. برای انجام سنتز نانوذرات نقره نیز از نقره نیترات 0.01 M ، بوروهیدرید



زمان نقطه شکست (Break through time (BTT و ظرفیت جذب جاذب به صورت برخط (On-line)، مستقیماً به داخل طیف‌سنج جذب اتمی بخار سرد (CVAAS) وارد گردید. جهت ارزیابی عملکرد جاذب نیز ظرفیت جذب برحسب $\mu\text{g.g}^{-1}$ در دو حالت اندازه‌گیری شد. نقطه شکست (Breakpoint) به‌عنوان زمان آغاز خروج بخار جیوه از جاذب، و زمان گذر شکست کل (Total breakthrough time) به‌عنوان زمانی که بخار جیوه خروجی با ورودی برابر گردد.

به‌منظور تهیه جاذب مورد استفاده در سیستم پالایشگر، ابتدا فوم‌های برش داده شده به مدت ۱۲ h در محلول کلوئیدی نانوذرات نقره سنتز شده با روش سیترا سدیم، و متعاقب آن، h ۲ در حمام اولتراسونیک قرار داده شد. سپس فوم‌ها با آب مقطر شستشو، و به مدت ۲۴ h در آون با دمای 80°C خشک گردید. در ادامه، فوم‌های پوشش شده، درون حلقه‌هایی از جنس مقوای ضخیم و محکم به قطر ۱۱ cm و ضخامت ۳/۵ cm چسبانیده شد تا جهت ارزیابی راندمان جاذب در شرایط واقعی، در سیستم پالایشگر تعبیه گردد. برای شبیه‌سازی محیط کار دندان‌پزشکی در آزمایشگاه، دبی متناسب با میزان مکش هواکش سیستم، توسط پمپ نمونه‌برداری محیطی توسط گازمتر تر بر روی دبی 25 l.min^{-1} تنظیم، و با قرار دادن جاذب تهیه شده در مسیر خروجی محفظه تولید بخار جیوه [۱۷]، زمان نقطه شکست با استفاده از طیف‌سنج جذب اتمی بخار سرد (CVAAS) به صورت برخط تعیین گردید. همچنین به‌منظور اطمینان از قابلیت پالایشگر در جذب بخار جیوه در شرایط واقعی، پس از شبیه‌سازی محیط کار دندان‌پزشکی در آزمایشگاه، با لحاظ سرعت دهانه هود 100 fpm ناشی از تعبیه جاذب، و با در نظر گرفتن حداکثر غلظت بخار جیوه قابل انتظار در هوای مطب‌های دندان‌پزشکی [۱۸]، مدت زمان لازم جهت اشباع جاذب، بالغ بر ۱۵ روز کاری برآورد گردید.

بررسی کارایی سامانه پالایش گرد‌مطب دندان‌پزشکی

در این مرحله، ابتدا سامانه پالایش گر با استفاده از یک دستگاه هواکش با دور موتور 1800 rpm و دبی $400\text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ خریداری شده از شرکت آروین تک تهران، و لوله‌ی انعطاف‌پذیر آلومینیومی با بازویی به طول ۱۳۰ cm، قطر دهانه ۵ cm و توانایی گردش 360° درجه مدل MT50 ساخت کمپانی FUMEX سوئد طراحی و ساخته شد. سپس جاذب آماده شده در سامانه پالایش گر تعبیه و بعد از اطمینان از سرعت خطی مناسب مکش هوا در دهانه هود

سدیم 0.02 M و تری‌سیترا سدیم ۱٪ استفاده شد.

تجهیزات

برای تعیین پیک جذبی UV-VIS-NIR محلول کلوئیدی نانوذرات نقره از دستگاه طیف‌سنج – Lambda 950 Perkin Elmer استفاده گردید. اندازه و مورفولوژی نانوذرات سنتز شده و محتوای عنصری و مشخصه‌های ساختاری جاذب، توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مجهز به JEOL JSM-EDS 7500F ساخت شرکت ZEISS تعیین، و جهت بررسی میزان توانایی جذب بخار جیوه پالایشگر نیز از سیستم بخار سرد دستگاه جذب اتمی مدل AAnalyst700 که از طریق نرم افزار WinLab32™ کنترل می‌شد، استفاده گردید.

سنتز و ویژگی یابی نانوذرات نقره و ساخت جاذب

با توجه به اهداف و فرضیات مطالعه، ابتدا نانوذرات نقره با استفاده از عامل احیاء‌کننده تری‌سیترا سدیم سنتز شد. بدین‌منظور، ابتدا ۵۰ ml محلول نیترا نقره 0.01 M تا رسیدن به دمای جوش حرارت داده شد. سپس ۱۰ ml تری‌سیترا سدیم ۱٪، قطره قطره در حین مخلوط شدن، به محلول اضافه گردید. حرارت تا زمان تغییر رنگ محلول ادامه یافت و بعد از بروز تغییر رنگ، محلول جهت خنک شدن در دمای اتاق قرار گرفت. در ادامه، پیک جذبی محلول کلوئیدی نانوذرات نقره سنتز شده توسط طیف سنج UV-VIS-NIR اندازه‌گیری گردید. در نهایت نانوذرات سنتز شده، با کمک حمام اولتراسونیک مدل SONICA در فرکانس 2200 MHz و دمای 60°C به‌صورت مجزا بر روی فوم پوشش شده و جاذب تهیه گردید.

بررسی کارایی جذب جاذب در آزمایشگاه

در این مرحله، ابتدا کارایی جذب جاذب در مقیاس آزمایشگاهی اندازه‌گیری شد. وزن و الک مش جاذب به ترتیب ۱۰۰ و ۴۰ – ۲۰ بود، که درون یک لوله کوارتزی (با طول $185/6\text{ mm}$ ، قطر بیرونی $7/9\text{ mm}$ و قطر داخلی $4/9\text{ mm}$) قرار داده شد. جهت انجام آزمایش، ابتدا غلظت‌های معین بخار جیوه (اتم‌سفر استاندارد)، مطابق روش پیشنهادی عصاره و همکاران [۱۷]، با استفاده از تزریق محلول کلرید جیوه (II) و عامل احیاء‌کننده (SnCl_2) ۲/۵٪ به داخل یک محفظه جداسازی مخصوص تهیه، و توسط گاز آرگون درون کیسه‌های نمونه‌برداری تدار (ساخت کمپانی SKC انگلستان) پر گردید. سپس بخار جیوه داخل کیسه توسط پمپ نمونه‌برداری فردی با دبی 1 ml.min^{-1} به داخل لوله حاوی جاذب هدایت، و نهایتاً جهت تعیین



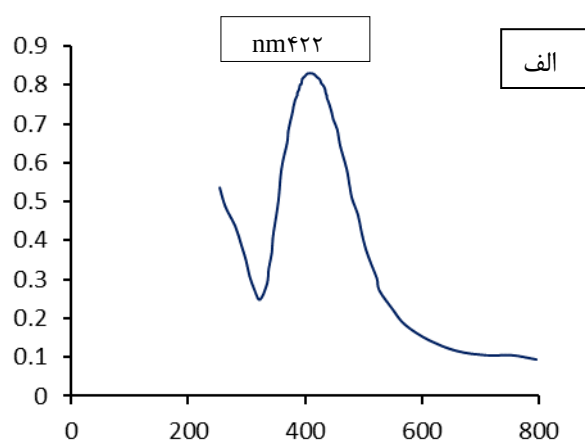
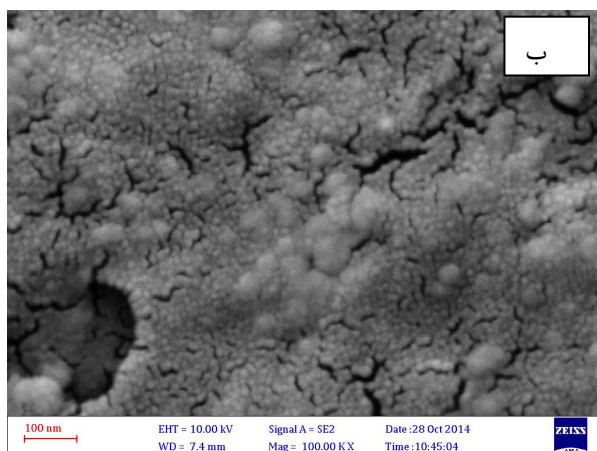
سپس با آب دیونیزه به حجم رسانیده شد. سپس دستگاه CVAAS تنظیم، و بعد از قرائت مقادیر جذب استانداردهای کاربردی و رسم منحنی استاندارد مربوطه، غلظت جیوه در نمونه هوا تعیین گردید. و میزان تکرار پذیری با انحراف استاندارد نسبی (R.S.D.%) نشان داده شد.

یافته‌ها

سنتز و ویژگی‌یابی نانوذرات نقره: محلول کلئیدی حاصل از سنتز نانوذرات نقره، با استفاده از روش‌های طیف‌سنجی UV-VIS-NIR و ویژگی‌یابی SEM، طیف جذبی UV-VIS-NIR محلول مورد بررسی، به ترتیب در طول موج ۴۲۲ nm نشان داده شد. به منظور حصول اطمینان از اعتبار یافته‌های فوق و کسب اطلاعات مورفولوژیکی اضافی مرتبط با شکل و ابعاد نانوذرات، با استفاده از SEM، از نانوذرات سنتز شده، تصویربرداری گردید. تصویر SEM، با این واقعیت که نانوذرات سنتز شده دارای قطر میانگین ۳۰ nm می‌باشند، مطابقت داشت. طیف جذبی و تصویر SEM نانوذرات سنتز شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

توسط آنومتر پره‌ای مدل AM4201 در مطب دندان پزشکی نصب و راه اندازی گردید. جهت بررسی راندمان سیستم پالایشگر حین انجام عملیات ترمیم دندان، ۳ نمونه هوا در هر یک از حالات خاموش و روشن بودن سیستم، از منطقه تنفسی دندان پزشکی جمع‌آوری شد. نمونه‌برداری، مطابق روش شماره ۶۰۰۹ انستیتوی ملی بهداشت و ایمنی شغلی (NIOSH)، با استفاده از پمپ نمونه‌بردار با دبی پائین ($200-50 \text{ ml.min}^{-1}$) مدل ۲۲۲-۳، فلومتر الکترونیکی مدل DC-Lite BIOS Drycal و لوله‌های جاذب سطحی هاپکالایت (Hopcalite) (کلا ساخت کمپانی SKC انگلستان)، با دبی 200 ml.min^{-1} به مدت ۱۲۰ min در مجاورت یونیت دندان پزشکی انجام شد [۱۹]. نمونه‌ها سپس جهت تجزیه به آزمایشگاه مرکز تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی همدان منتقل گردید.

جهت تعیین مقدار جیوه در نمونه‌های هوای جمع‌آوری شده، ابتدا لوله‌های جاذب، پشم شیشه و جاذب جلوئی هر لوله به صورت جداگانه در یک بالن ژوژه ۵۰ ml قرار داده شد و ۲/۵ ml HNO_3 غلیظ و به دنبال آن ۲/۵ ml HCl غلیظ به آن اضافه گردید. نمونه به مدت ۱ h ساعت در دمای اتاق باقی مانده، و



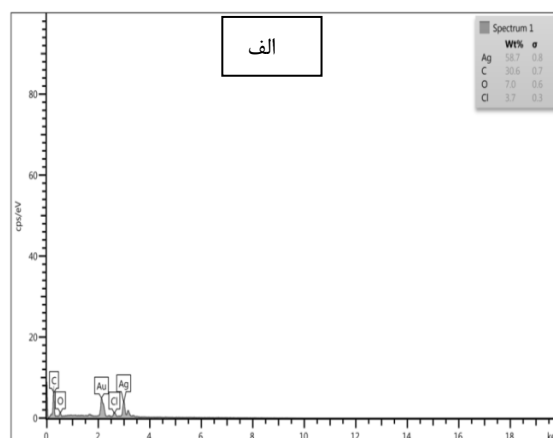
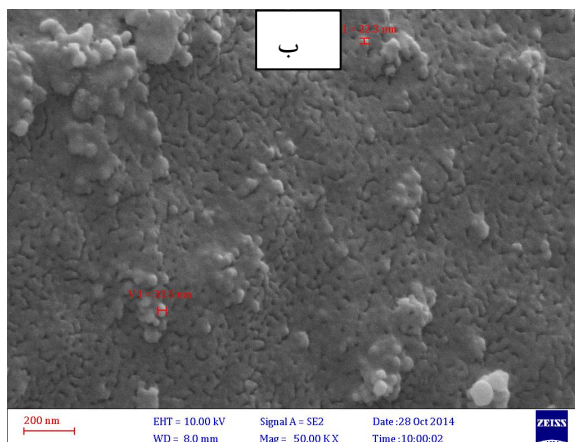
شکل ۱: الف) طیف جذبی UV-VIS-NIR نانوذرات نقره، و ب) تصویر SEM نانوذرات نقره

فوم پوشش داده شده با نقره باشد. علاوه بر این، همان‌طور که در شکل ۲-الف مشاهده می‌گردد، تصویر SEM فوم پوشش داده شده با نانوذرات نقره نیز، پوشش یکنواخت خوبی را در مقیاس نانویی نشان داد و هیچ‌گونه انباشتگی نانوذرات در تعامل با فوم

همان‌طور که در تصویر SEM جاذب مشاهده می‌گردد، توزیع یکنواخت و مناسبی از نانوذرات نقره پوشش شده بر فوم در مقیاس نانو یافت شد برای تجزیه عنصری جاذب، طیف EDS مرتبط با SEM، مورد استفاده قرار گرفت. در این تجزیه، پرتو الکتریکی صرفاً بر نقره متمرکز شد، بنابراین نتایج می‌تواند گویای



مشاهده نشد (شکل ۲-ب).



شکل ۲: الف) طیف EDS جاذب، و ب) تصویر SEM جاذب

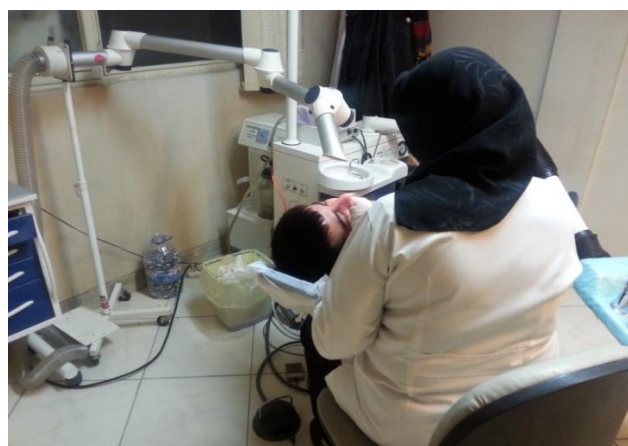
نتایج آزمایشات جذب دینامیکی جاذب در جدول ۱ خلاصه شده است. یافته‌ها نشان داد که زمان نقطه شکست در جاذب،

جدول ۱ نتایج جذب دینامیکی جاذب کامپوزیتی مبتنی برنانوذرات نقره

جاذب	نقطه شکست (min)	ظرفیت جذب بخار جیوه در نقطه شکست ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	زمان گذر شکست کل (min)	ظرفیت جذب بخار جیوه در زمان گذر شکست کل ($\mu\text{g.g}^{-1}$)
فوم پوشش شده با نانوذرات نقره	۹	۳۶۰	۱۳	۵۲۰
فوم پوشش نشده	۰/۴۵	۳/۴۲	۰/۷۵	۵/۷

بحث

سیستم پالایشگر مستقر در مطب دندانپزشکی در شکل ۳ نشان داده شده است. جهت اطمینان از کارایی سیستم پالایشگر در مطب‌های دندانپزشکی، در ۲ حالت خاموش و روشن بودن سیستم، ۳ نمونه هوا با دبی 200 ml.min^{-1} به مدت ۱۲۰ min از منطقه تنفسی دندان پزشک جمع‌آوری گردید. غلظت بخار جیوه در حالات خاموش و روشن بودن سیستم به ترتیب $9/43 \pm 0/34 \mu\text{g.m}^{-3}$ با انحراف معیار نسبی ۹/۳٪ و $0/51 \pm 0/31 \mu\text{g.m}^{-3}$ با انحراف معیار نسبی ۵/۳٪ به دست آمد، که نتایج حاکی از وجود اختلاف معنی‌دار بین حالات مورد مطالعه بود. همچنین راندمان حذف جیوه سیستم پالایشگر نیز ۹۵٪ محاسبه گردید.



شکل ۳: نحوه استقرار سیستم پالایشگر در مطب دندانپزشکی



بحث

طیف جذبی UV-VIS-NIR محلول کلئیدی نانوذرات سنتز شده با روش سیترا سدیم در این مطالعه، در طول موج ۴۲۲ nm مشاهده گردید (شکل ۱-الف). مطالعات انجام شده در زمینه سنتز و ویژگی‌یابی نانوذرات نقره، روش طیف‌سنجی UV-VIS را به‌عنوان روشی ساده و قابل اعتماد جهت کسب اطلاعاتی در زمینه اندازه، شکل و غلظت نانوذرات سنتز شده در واحد سطح معرفی کرده‌اند. نتایج این مطالعات این مساله را در پژوهش حاضر تأیید می‌کنند و نتایج حاصل حاکی از آن است که با افزایش اندازه نانوذرات نقره، طول موج طیف جذبی به سمت طول موج‌های قرمز شیف‌ت پیدا می‌کند. از طرفی میزان شدت طیف جذبی UV-VIS بیان‌کننده تعداد و غلظت نانوذرات سنتز شده می‌باشد، که خود به نوع احیاء‌کننده بستگی دارد [۲۲-۲۰]. در این راستا، می‌توان به مطالعه آشریتا و همکاران (۲۰۱۳) اشاره نمود که با سنتز نانوذرات نقره با روش سیترا سدیم، و ویژگی‌یابی توسط روش طیف‌سنجی UV-VIS، ارتباط اندازه نانوذرات با طیف جذبی UV-VIS را نشان دادند. در این مطالعه، روش طیف‌سنجی UV-VIS به‌عنوان روشی مناسب جهت بررسی و ویژگی‌یابی نانوذرات معرفی، و حداکثر پیک جذبی نانوذرات نقره در ۴۳۰ نانومتر مشاهده گردید [۲۳].

همان‌طور که در تصویر SEM مشاهده گردید (شکل ۱-ب)، قطر نانوذرات نقره سنتز شده حدود ۳۰ nm به‌دست آمد که با نتایج به‌دست آمده از طیف‌سنجی جذبی UV-VIS-NIR مطابقت داشت. نتایج این بخش از مطالعه با نتایج مطالعه امانی و همکاران (۲۰۱۲) در خصوص سنتز نانوذرات نقره با روش‌های تترابورات سدیم و سیترا سدیم، و توسط طیف‌سنجی UV-VIS و TEM و ویژگی‌یابی نمودند، در یک‌راستا می‌باشد. محققین مذکور نشان دادند که نانوذرات سنتز شده با روش تترابورات سدیم دارای اندازه ۱۲-۳۰ nm و پیک جذبی ۳۲۰ nm بوده، در حالی که نانوذرات سنتز شده با روش سیترا سدیم، دارای اندازه ۴۰-۲۰ nm و حداکثر پیک جذبی ۴۲۰ nm می‌باشد [۲۴].

در این مطالعه جهت پوشش‌دادن نانوذرات نقره بر روی بستر فوم، از روش ترسیب با استفاده از دستگاه اولتراسونیک استفاده شد. این روش پوشش‌دهی، در کلیه مراحل آزمایش از کارایی بسیار خوبی برخوردار بود و همان‌طور که در شکل ۲-ب مشاهده

می‌گردد، تصویر SEM بستر فوم پوشش داده شده با نانوذرات نقره، پوشش یکنواختی را در مقیاس نانو نشان می‌دهد. این یافته، همچنین با نتایج مطالعه Perelshtein و همکاران (۲۰۰۹) در استفاده از روش اولتراسونیک برای پوشش نانوذرات نقره بر روی سطح پلاستیک انجام شد، هم‌خوانی دارد. محققین مذکور نشان دادند که روش اولتراسونیک روشی کاملاً مناسب و قابل اطمینان در پوشش‌دهی بوده و میزان پوشش‌دهی بستر توسط نانوذرات نقره با غلظت نانوذرات و مدت زمان انجام اولتراسونیک رابطه مستقیم دارد [۲۵]. سایر مطالعات انجام شده در این خصوص نیز، روش اولتراسونیک را روشی مناسب، راحت و اقتصادی برای پوشش‌دادن بسترهای مختلف توسط نانوذرات معرفی کرده‌اند [۳۰-۲۶].

با توجه به مشکلات ناشی از فراریت زیاد و واکنش‌پذیری بسیار کم بخار جیوه و همچنین ظرفیت جذب پایین ناشی از اختلاط ضعیف، پایداری حرارتی کم و هزینه زیاد جاذب‌های تجاری موجود، در این تحقیق جهت کنترل بخار جیوه از جاذب کامپوزیتی مبتنی بر نانوذرات نقره پوشش‌شده بر فوم استفاده گردید. همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شد، ظرفیت جذب دینامیکی کل جاذب کامپوزیتی بعد از پوشش فوم با نانوذرات نقره، حدود ۱۰۰ برابر افزایش یافته و بعد از گذشت ۱۳ دقیقه، به ۵۲ mgHg/gr /۰ می‌رسد. مطالعات متعددی در زمینه کنترل و حذف بخار جیوه در هوا با استفاده از فناوری نانو انجام شده است [۳۷-۳۰] که استفاده از نانوذرات نقره با توجه به خواص فیزیکی و شیمیایی بی‌نظیر، برهم‌کنش قابل توجه و افزایش قدرت جذب در مقادیر بسیار کم جاذب، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. جانسون (Johnson) و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه‌ای، توانایی جذب بخار جیوه آزاد شده از لامپ‌های فلورسنت شکسته شده را توسط نانوذرات نقره، مس، سیلیس، نیکل و روی بررسی، و با توانایی جذب بخار جیوه توسط مواد در مقیاس میکرو مقایسه نمودند. نتایج این تحقیق نشان داد که کارایی جذب بخار جیوه مواد نانو به‌ویژه نانوذرات نقره از مواد در مقیاس میکرو بسیار بیش‌تر بوده است [۳۸].

مقایسه نتایج مطالعه حاضر با مطالعات مشابه، حاکی از ظرفیت جذب قابل ملاحظه جاذب کامپوزیتی و راندمان حذف بخار جیوه بالای پالایشگر می‌باشد. پیتونیاک (pitoniak) و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه‌ای، توانایی بستر نانو کامپوزیتی سیلیکا-تیتانیوم را در جذب و کنترل بخار جیوه بررسی نمودند. نتایج این بررسی‌ها



[۴۳]. در این مطالعه، بین غلظت بخار جیوه در حالات خاموش و روشن بودن سیستم پالایشگر اختلاف معنی‌دار مشاهده، و راندمان حذف سیستم نیز ۹۵٪ محاسبه گردید. این یافته که با توجه به ظرفیت جذب بالای جاذب توسعه داده شده چندان نیز دور از انتظار نبود، را در درجه اول می‌توان با تشکیل آمالگام بین نانوذرات نقره و جیوه عنصری مرتبط دانست. آمالگاماسیون قدیمی‌ترین روش شناخته جذب بخار جیوه بوده و آمالگام نقره با جیوه، در دمای اتاق بسیار پایدار است [۴۴]. از دیگر عوامل موثر بر افزایش راندمان جذب پالایشگر می‌توان به کاهش دبی و افت فشار ناشی از نصب جاذب، غلظت پائین بخار جیوه و عدم وجود عوامل مداخله‌گر در هوای مطب‌های دندان‌پزشکی اشاره نمود. زیرا دبی و غلظت بالای جیوه و همچنین وجود ترکیبات مداخله‌گر، با اشباع سریع جاذب، سبب کاهش راندمان پالایشگر خواهد شد. این یافته با نتایج مبنی بر کاهش راندمان جاذب ناشی از افزایش دبی و غلظت بخار جیوه گزارش شده در سایر مطالعات، همخوانی دارد [۴۵ و ۱۷].

در خصوص نقش عوامل مداخله‌گر در جذب بخار جیوه، می‌توان مطالعه لی (Li) و همکاران (۲۰۰۷) را ذکر نمود [۳۶]. در این مطالعه که به‌منظور حذف جیوه عنصری ناشی از احتراق زغال سنگ انجام شد، بالا بودن غلظت جیوه عنصری و وجود بخار آب به‌عنوان عوامل کاهش کارایی بستر نانوکامپوزیتی، و وجود گازهای اسیدی عامل افزایش کارایی جاذب معرفی گردید.

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که فوم پوشش‌شده با نانوذرات نقره سنتز شده به روش سیترات سدیم، به علت برخورداری از ظرفیت جذب عملیاتی بالا، جهت کنترل و حذف بخار جیوه در مطب‌های دندان‌پزشکی، دارای راندمان ۹۵٪ می‌باشد. نتایج همچنین نشان داد که کارایی جذب بخار جیوه به ویژگی‌های ساختاری کامپوزیت وابسته بوده و بهینه‌سازی شرایط آزمایشگاهی حین سنتز نانوذرات نقره، نیاز به انجام مطالعات بیش‌تر دارد. این مطالعه همچنین بر استفاده از جاذب نانوکامپوزیتی پیشنهادی به‌عنوان یک جاذب مناسب مقرون به‌صرفه و با سهولت بهره‌برداری، جهت استفاده در سیستم‌های پالایشگر هوا در سایر عرصه‌های کاری در مواجهه با بخار جیوه تأکید دارد.

نشان داد که جیوه عنصری و اکسید جیوه با کمک بستر نانوکامپوزیتی با راندمان ۹۰٪ جذب شده، و ظرفیت جذب بسترنیز 10 mgHg/gr به‌دست آمد [۳۳].

در مطالعه مالیوبا (Malyuba) و همکاران (۲۰۰۵) که جهت بررسی توانایی جذب بخار جیوه توسط بستر نانوکامپوزیتی حاوی نانومواد کلایت‌کننده بر روی یک بستر سیلیسی، در همین راستا انجام شد، بیش‌ترین و کم‌ترین ظرفیت جذب بستر نانوکامپوزیتی به ترتیب معادل ۱۲ و 33 mgHg/gr گزارش گردید [۱۶]. در تحقیق دیگری جهت بررسی توانایی کنترل و جذب بخار جیوه بستر نانوکامپوزیتی مبتنی بر نانوذرات اکسید آهن ۳ ظرفیتی پوشش‌شده بر بستر شیشه‌ای، توسط بورادری (borderi) و همکاران (۲۰۰۴) انجام شد، ظرفیت جذب نانوکامپوزیت توسعه داده شده، 139 mgHg/gr تعیین گردید [۳۹]. همچنین در مطالعه اریکی (Eriki) و همکاران (۲۰۰۳)، که یک بستر جاذب جدید مبتنی بر اکسید تیتانیوم جهت حذف بخار جیوه حاصل از احتراق زغال‌سنگ مورد بررسی قرار گرفت، ظرفیت بستر جهت جذب بخار جیوه 1512 mgHg/gr به دست آمد [۴۰].

علت پائین بودن نسبی ظرفیت جذب به‌دست آمده در این مطالعه در مقایسه با سایر مطالعات پیش‌گفت را می‌توان با تعداد نانوذرات پوشش‌شده در واحد جرم بستر (فوم) مرتبط دانست، که این موضوع، خود از عدم کنترل شرایط آزمایشگاهی از قبیل نوع و میزان عامل احیاء‌کننده مصرفی و عدم کنترل pH در حین سنتز نانوذرات و همچنین عدم استفاده از ترکیبات اصلاح‌کننده سطح جهت پوشش‌دهی بستر ناشی می‌شود. زیرا همان‌طور که در دیگر مطالعات نیز تأکید گردیده، تعداد و غلظت نانوذرات سنتز شده با نوع و میزان عامل احیاء‌کننده مصرفی ارتباط مستقیم دارد [۲۲-۲۰]. و از طرفی مقدار جذب جیوه با اندازه نانوذرات نسبت عکس داشته، و نانوذرات چندضلعی نسبت به نانوذرات کروی جیوه بیش‌تری جذب می‌نماید [۴۱]. کنترل pH محلول نانوذرات نقره حین سنتز نیز نقش مهمی در بهبود کارایی جذب نانوذرات نقره دارد. نتایج مطالعه چیترا (chitra) و همکاران نشان داد که با افزایش pH، میزان جذب بخار جیوه بیش‌تر می‌شود [۴۲]. همچنین در مطالعات به استفاده از ترکیبات اصلاح‌کننده سطح، جهت افزایش قدرت پیوند بین نانوذرات و بسترها تأکید ویژه‌ای شده است. با این استراتژی، کنترل خوب ضخامت نانوذرات و همچنین ویژگی‌های سطحی با اطمینان بیش‌تری انجام می‌شود



منابع

1. Patrick L. Mercury toxicity and antioxidants: Part 1: role of glutathione and alpha-lipoic acid in the treatment of mercury toxicity. *Alternative medicine review: a journal of clinical therapeutic*. 2002;7(6):456-71.
2. Rezaee A, Derayat J, Mortazavi S, Yamini Y, Jafarzadeh M. Removal of mercury from chlor-alkali industry wastewater using *Acetobacter xylinum* cellulose. *American Journal of Environmental Sciences*. 2005;1(2):102.
3. Rezaee A, Derayat J, Godini H, Pourtaghi G. Adsorption of mercury from synthetic solutions by an *Acetobacter xylinum* biofilm. *Res J Env Sci*. 2008;2(5):401-07.
4. Zhao B, Zhang Z, Jin J, Pan W-P. Simulation of mercury capture by sorbent injection using a simplified model. *Journal of hazardous materials*. 2009;170(2):1179-85.
5. Scallan K, Lucas D, Koshland C. A novel uv-vis spectroscopic method to detect elemental mercury using gold nanoparticles. *Epidemiology*. 2006;17(6):S493.
6. Nor Kamarudin KS, Mohamad M, Nik Mohamed Fathilah N, Mohamed M. Effects of PVP concentration on the formation of size and shape of gold (au) nanoparticles for mercury adsorption. *Journal of Applied Sciences*. 2010;10(24):3374-8.
7. Neghab M, Chobineh A. R, Hassanzadeh J, A. G. The prevalence of subclinical symptoms of mercury poisoning in dentistry due to occupational exposure amalgam. *Iran Occupational Health*. 2011;8(3): 120-128.
8. Hasani Tabatabaei M, Golbabaie F, Shariati B. Evaluation of mercury vapor in dental offices in Tehran. *Journal of Dental Medicine*. 2007;20(1):46-52.
9. Stone ME, Cohen ME, Debban BA. Mercury vapor levels in exhaust air from dental vacuum systems. *dental materials*. 2007;23(5):527-32.
10. Zolfaghari G, Esmaili-Sari A, Ghasempouri SM, Faghihzadeh S. Evaluation of environmental and occupational exposure to mercury among Iranian dentists. *Science of the total environment*. 2007;381(1):59-67.
11. Wu S, Uddin MA, Sasaoka E. Characteristics of the removal of mercury vapor in coal derived fuel gas over iron oxide sorbents. *Fuel*. 2006;85(2):213-8.
12. Alptekin G. A New Non-carbon Sorbent for Hg Removal from Flue Gases. *Powder Technology*, Jan. 2008;180:1-2.
13. Philip L, Deshusses MA. The control of mercury vapor using biotrickling filters. *Chemosphere*. 2008;70(3):411-7.
14. Mostaghni M. Synthesis and application of nanotechnology encompasses compounds in the environment. *First National Conference on Nanotechnology*; Esfahan 1386.
15. Jadhav, R. A. Meyer, H. Development and Evaluation of Nanoscale Sorbents for Mercury Capture from Warm Fuel Gas. *Gas technology institute*. 2005
16. Abu-Daibes, M. A. Pinto, N. G. Synthesis and characterization of a nano-structured sorbent for the direct removal of mercury vapor from flue gases by chelation. *Chemical Engineering Science*. 2005; 60: 1901–10
17. Assari MJ, Abbas R, Ahmad JJ, Abdolrahman B. Optimization of a Novel Setup for an On-Line Study of Elemental Mercury Adsorption by Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometry. *Journal of Research in Health Sciences*. 2013;13(1):37-42.
18. Tabatabaei, m. Golbabaie, F. Shariatei, B. Evaluation of mercury vapor in dental offices in tehran. *Journal of University of Medical Sciences and Health Services Tehran*. 1385; 19(3): 46-52.
19. NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM). 15 August 1994; 4th ed: [Available from: www.NationalInstituteofOccupationalSafety&Health.com]
20. Desai, R. Mankad, V. Gupta, S. K. Jha, P. K. Size Distribution of Silver Nanoparticles: UV-Visible Spectroscopic Assessment. *Nanoscience and Nanotechnology Letters*, 2012; 4(1): 30-34.
21. Hussain, J. I. Kumar, S. Hashmi, A. A. Khan, Z. Silver nanoparticles: preparation, characterization, and kinetics. *Adv. Mat. Lett*. 2011; 2(3): 188-194
22. Šileikaitė, A. Prosyčevs, I. Puišo, J. Juraitis, A. Guobienė, A.. Analysis of silver nanoparticles produced by chemical reduction of silver salt solution. *Mater. Sci.-Medzg*, 2006; 12: 287-291.
23. Aashritha, Sh. Synthesis of silver nanoparticles by chemical reduction method and their antifungal activity. *International Research Journal of Pharmacy*. 2013; 4(10): 111-13
24. Amany, A. El-Rab, S. F. G. Effect of reducing and protecting agents on size of silver nanoparticles and their anti-bacterial activity. *Der Pharma Chemica*. 2012; 4(1): 53-65.
25. Perelshtein, I., Applerot, G., Perkash, N., Guibert, G., Mikhailov, S., & Gedanken, A. (2008). Sonochemical coating of silver nanoparticles on textile fabrics (nylon, polyester and cotton) and their antibacterial activity. *Nanotechnology*, 19(24), 245705.
26. Ye, X. Zhou, Y. Chen, J. Sun, Y. Deposition of silver nanoparticles on silica spheres via ultrasound irradiation. *Applied surface science*. 2007; 253(14): 6264-67.



27. Pol, V. G. Srivastava, D. N. Palchik, O. Palchik, V. Slifkin, M. A. Weiss, A. M. Gedanken, A. Sonochemical deposition of silver nanoparticles on silica spheres. *Langmuir*. 2002 ;18(8): 3352-57.
28. Applerot, G. Perkash, N. Amirian, G. Girshevitz, O. Gedanken, A. Coating of glass with ZnO via ultrasonic irradiation and a study of its antibacterial properties. *Applied surface science*. 2009; 256(3): S3-S8.
29. Kotlyar, A. Perkash, N. Amiryan, G. Meyer, M. Zimmermann, W. Gedanken, A. Coating silver nanoparticles on poly (methyl methacrylate) chips and spheres via ultrasound irradiation. *Journal of applied polymer science*. 2007; 104(5): 2868-76.
30. Perkash, N. Amirian, G. Applerot, G. Efendiev, E. Kaganovskii, Y. Ghule, A. V. Gedanken, A. Depositing silver nanoparticles on/in a glass slide by the sonochemical method. *Nanotechnology*. 2008; 19(43).
31. Li, Y., Murphy, P. D., Wu, C. Y., Powers, K. W., & Bonzongo, J. C. J. Development of silica/vanadia/titania catalysts for removal of elemental mercury from coal-combustion flue gas. *Environmental science & technology*, 2008; 42(14): 5304-5309
32. Jamir, R. Nanotechnology for water treatment. *Asian textile conference*. 2005
33. Pitoniak, E., Wu, C. Y., Londeree, D., Mazyck, D., Bonzongo, J. C., Powers, K., & Sigmund, W. Nanostructured silica-gel doped with TiO₂ for mercury vapor control. *Journal of Nanoparticle Research*, 2003; 5(3-4): 281-292.
34. Izquierdo MT, Ballesteros D, Juan R, Garcia-Diez E, Rubio B, Ruiz C, M. Pino MR. Tail-end Hg capture on Au/carbon-monolith regenerable sorbents. *J Hazard Mater* 2011; 193: 304-310.
35. Pitoniak, E., Wu, C. Y., Mazyck, D. W., Powers, K. W., & Sigmund, W. Adsorption enhancement mechanisms of silica-titania nanocomposites for elemental mercury vapor removal. *Environmental science & technology*, 2005; 39(5), 1269-1274.
36. Li, Y., Murphy, P., & Wu, C. Y. Removal of elemental mercury from simulated coal-combustion flue gas using a SiO₂-TiO₂ nanocomposite. *Fuel processing technology*, 2008; 89(6): 567-573.
37. Dong, J., Xu, Z., & Kuznicki, S. M. Mercury removal from flue gases by novel regenerable magnetic nanocomposite sorbents. *Environmental science & technology*, 2009; 43(9): 3266-3271.
38. Johnson, N. C. Manchester, S. Sarin, L. Gao, Y. Kulaots, I. Hurt, R. H. Mercury vapor release from broken compact fluorescent lamps and in situ capture by new nanomaterial sorbents. *Environmental science & technology*, 2008; 42(15): 5772-78.
39. Borderieux, S. Wu, C. Y. Bonzongo, J. C. Powers, K. Control of elemental mercury vapor in combustion systems using Fe₂O₃ nanoparticles. *Aerosol Air Qual. Res*, 2004; 4(1): 74-90.
40. Pitoniak, E. Wu, C. Y. Londeree, D. Mazyck, D. Bonzongo, J. C. Powers, K. Sigmund, W. Nanostructured silica-gel doped with TiO₂ for mercury vapor control. *Journal of Nanoparticle Research*. 2003; 5(3-4): 281-92.
41. Nor Kamarudin, K. S. Mohamad, M. F. Synthesis of gold (Au) nanoparticles for mercury adsorption. *American Journal of Applied Sciences*, 2010; 7(6): 835-39.
42. Chitra, K. Annadurai, G. Antibacterial Activity of pH-Dependent Biosynthesized Silver Nanoparticles against Clinical Pathogen. *BioMed research international*; 2014.
43. Jankiewicz, B. J. Jamiola, D., Choma, J. Jaroniec, M. Silica-metal core-shell nanostructures. *Advances in colloid and interface science*. 2012; 170(1): 28-47.
44. Wang, Y. Yang, F. Yang, X. Colorimetric detection of mercury (II) ion using unmodified silver nanoparticles and mercury-specific oligonucleotides. *ACS applied materials & interfaces*. 2010; 2(2): 339-42
45. Skodras, G. Diamantopoulou, I. Pantoleontos, G. Sakellariopoulos, G. P. Kinetic studies of elemental mercury adsorption in activated carbon fixed bed reactor. *Journal of hazardous materials*. 2008; 158(1): 1-13.



Research Article

Removal of mercury vapor from ambient air of dental clinics using an air cleaning system based on silver nanoparticles

Chiman Saeidi¹, Mohammad Javad Asari^{2*}, Farshid Ghorbani -Shahna³, Zahra Khamverdi⁴

Received: 2 July 2015

Accepted: 13 September 2015

Abstract

Background & objective: Mercury is a toxic and bio-accumulative pollutant that has adverse effects on environmental and human health. There have been a number of attempts to regulate mercury emissions to the atmosphere. Silver nanoparticles are a number of materials that have highly potential to absorb mercury and formation of mercury amalgam. The aim of this study is removal of mercury vapors in the dental clinic using an air cleaning system based on silver nanoparticles.

Methods: In this study, silver nanoparticles coated on the bed of foam and chemical and structural properties were determined using a number of methods such as UV-VIS-NIR spectroscopy and Scanning Electron Microscope (SEM) connected the X-ray Emission Spectroscopy Energy (EDS). The air cleaning system efficiency to remove of the mercury vapor in simulated conditions in the laboratory and real conditions in the dental clinic were measured by Cold Vapor Atomic Absorption Spectroscopy (CVAAS).

Results: The images of SEM, showed that average size of silver nanoparticles in colloidal solution was ~30nm and distribution of silver nanoparticles coated on foam was good. EDS spectrum confirmed associated the presence of silver nanoparticles coated on foam. The significantly difference observed between the concentration of mercury vapor in the off state ($9.43 \pm 0.342 \mu\text{g.m}^{-3}$) and on state ($0.51 \pm 0.031 \mu\text{g.m}^{-3}$) of the air cleaning system. The mercury vapor removal efficiency of the air cleaning system was calculated 95%.

Conclusion: The air cleaning system based on foam coated by silver nanoparticles, undertaken to provide the advantages such as use facilitating, highly efficient operational capacity and cost effective, have highly sufficiency to remove mercury vapor from dental clinics.

Keywords: Mercury vapor removal, Silver nanoparticles, Air cleaning system, Dental clinic

Please cite this article as: Saeidi Ch, Asari M, Ghorbani-Shahna F, Khamverdi Z. Removal of mercury vapor from ambient air of dental clinics using an air cleaning system based on silver nanoparticles. *Journal of Occupational Hygiene Engineering*. 2015; 2(1):1-10.

1. Msc student of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

2*. (Corresponding author): Department of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: Asari@umsha.ac.ir.

3. Department of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.

4. Department of Operative Dentistry, Dental Faculty, Hamadan University of Medical Science, Hamadan, Iran.