

مقایسه کارایی حذف جیوه از آب آشامیدنی به وسیله ستون‌های آکنده کربن فعال با زئولیت طبیعی کلینوپتی لئولیت و آنتراسیت

محمدحسین ساقی^۲

مریم سلیمی^۲

محمدتقی صمدی^۱

(دریافت ۸۶/۱۲/۲۰ پذیرش ۸۸/۳/۵)

چکیده

محدودیت منابع آبی و خطر بحران آب در ایران و اهمیت بازیابی آب از یک سو و از سویی دیگر افزایش آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی به وسیله فلزات سنگین از جمله جیوه که ناشی از ورود فاضلابهای صنعتی و شهری می‌باشد، یافتن راه‌حلهای قابل قبول زیست‌محیطی را در جهت حذف این ماده از منابع آبی ضروری می‌سازد. روشهای مختلفی برای حذف جیوه از منابع آب پیشنهاد گردیده است. این روشها علاوه بر تأثیر قابل قبول بر حذف ماده مذکور باید از لحاظ قابل اجرا بودن و داشتن صرفه اقتصادی نیز مورد توجه قرار گیرند. در این تحقیق از ستون‌های کربن فعال دانه‌ای، زئولیت و آنتراسیت به عنوان جاذبهای ارزان قیمت و پر بازده به منظور حذف جیوه استفاده گردید. قابلیت جاذبهای مذکور و نیز اثر عوامل مختلف مؤثر بر کارایی حذف شامل تغییرات pH که در محدوده مورد قبول برای آشامیدن می‌باشد (۸-۶)، تغییرات غلظت جیوه ورودی به سیستم (۱ ppm، ۰/۷۵، ۰/۵، ۰/۲۵) و تغییرات زمان تماس (۳، ۲، ۱، ۰/۵ ساعت) در حذف ماده مذکور مورد مطالعه قرار گرفت. اندازه‌گیری غلظت جیوه در نمونه‌های آب ورودی و خروجی از ستون‌ها به روش اسپکتروفتومتری در طول موج ۴۹۲ نانومتر با معرف دی تیزون انجام شد. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص گردید با کاهش غلظت ماده ورودی از ۱ ppm به ۰/۲۵ ppm در شرایط ثابت، درصد حذف جیوه در ستون‌های جاذب آنتراسیت، کربن فعال و زئولیت به ترتیب از ۲۲ درصد، ۶۳ درصد و ۵۵ درصد به ۲۸ درصد، ۷۲ درصد و ۶۴ درصد افزایش می‌یابد. همچنین در شرایط ثابت با افزایش زمان ماند از ۰/۵ ساعت به ۳ ساعت، درصد حذف جیوه به ترتیب برای ستون‌های آنتراسیت، کربن فعال و زئولیت از ۵۶، ۵۴ و ۵۴ درصد به ۴۲، ۸۶ و ۸۲ درصد افزایش پیدا می‌کند. همچنین افزایش pH در محدوده، موجب افزایش کارایی ستونها می‌گردد. در مجموع نقش عامل زمان ماند در کارایی حذف جیوه به وسیله ستون کربن فعال به مراتب بیشتر از ستون‌های زئولیت و آنتراسیت مورد مطالعه بوده است. با تغییر پارامترهای مختلف مورد مطالعه در این تحقیق، کارایی حذف جیوه با استفاده از ستون کربن فعال، زئولیت و آنتراسیت به ترتیب دامنه ۵۱ تا ۹۲ درصد، ۴۲ تا ۸۸ درصد و ۱۶ تا ۵۲ درصد داشت. بیشترین کارایی حذف مربوط به ستون آکنده کربن فعال بوده و با توجه به سهولت کاربرد، هزینه پائین و نیز کارایی حذف بالا، می‌توان کربن فعال را به عنوان مناسب‌ترین جاذب به منظور حذف جیوه از منابع آب آشامیدنی معرفی نمود.

واژه‌های کلیدی: جیوه، کربن فعال، زئولیت، آنتراسیت، آب آشامیدنی.

Comparison of Granular Activated Carbon, Natural Clinoptilolite Zeolite, and Anthracite Packed Columns in Removing Mercury from Drinking Water

Mohammad Taghi Samadi¹

Maryam Salimi²

Mohammad Hossein Saghil³

(Received Mar. 11, 2008 Accepted May 26, 2009)

Abstract

Development of effective methods for the removal of such pollutants as heavy metals (e.g., mercury) from surface and ground water resources introduced by municipal and industrial wastewaters seems to be inevitable, especially in the face of the importance of water reuse in combating water shortages, limited availability of water resources, and imminent risks of a water crisis in Iran. A number of methods are already available for the removal of mercury from water resources. However, these techniques must be investigated for their practicability and economy, in addition to their not only effectiveness. In this research, granular activated carbon,

1. Assist. Prof. of Environmental Health Eng., Faculty of Public Health and Center of Health Research, Hamedan University of Medical Sciences
2. Grad. Student of Environmental Health, Faculty of Public Health, Isfahan University of Medical Sciences
3. Faculty Member of Public Health and Center of Health Research, Sabzevar University of Medical Sciences (Corresponding Author) (+98 571) 4446030 Saghimohit@gmail.com

- ۱- استادیار گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت و مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی همدان
- ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان
- ۳- عضو هیئت علمی دانشگاه علوم پزشکی سبزوار (نویسنده مسئول) Saghimohit@gmail.com (۰۵۷۱) ۴۴۴۶۰۳۰

natural zeolite, and anthracite packed-columns were investigated as cheap and effective adsorbents for the removal of mercury. Moreover, the effects of changes in pH (6-8), influent mercury concentrations (0.25, 0.5, 0.75, and 1 ppm), contact time (0.5, 1, 2, 3 hr) were investigated. Mercury concentration in the samples was determined using a ditizon indicator and spectrophotometry at 492 nm. Results showed that decreasing influent mercury concentration from 1 ppm to 0.25 ppm (under constant conditions) increased the removal efficiencies of anthracite, granular activated carbon, and zeolite columns from 22%, 63%, and 55% to 28%, 72%, and 64%, respectively. Increasing contact time from 0.5 hr to 3 hr caused the removal efficiencies of these columns to increase from 22%, 56%, and 54% to 42%, 86%, and 82%, respectively. Also, increasing pH level led to increased removal efficiencies of the studied columns. It was found that contact time played a more effective role in enhancing mercury removal efficiency in the granular activated carbon column than in the other two columns. The ranges of mercury removal efficiency obtained for the granular activated carbon, natural zeolite, and anthracite columns under various conditions were (51%-92%), (42%-88%), and (16%-52%), respectively. Based on these results, granular activated carbon could be recommended as an effective and cheap adsorbent for the removal of mercury from drinking water resources.

Keywords: Mercury, Granular Activated Carbon, Zeolite, Anthracite, Drinking Water.

۱- مقدمه

با توجه به گسترش صنایع مختلف و نیز افزایش روز افزون استفاده از مواد گندزدا، باتری‌ها و سایر موادی که حاوی جیوه هستند و ورود آنها به محیط زیست و منابع آب، آلودگی آنها باعث افزایش مخاطرات بهداشتی برای جوامع بشری و محیط زیست گردیده است. استفاده از آب به عنوان مایه حیات، ساکنان برخی از شهرها را با مخاطراتی مواجه ساخته است. جیوه از فلزات سنگین محسوب می‌گردد و به فرم آلی و غیر آلی و فلزی وجود دارد [۱]. این عنصر دارای وزن اتمی ۲۰۰/۶ و عدد اتمی ۸۰ است که در شکل فلزی خود به صورت نمکهای تک و یا دو ظرفیتی یافت می‌گردد. جیوه یکی از دو عنصری است که در دمای اتاق می‌تواند به حالت مایع وجود داشته باشد [۲]. جیوه موجود در اتمسفر به صورت غیر آلی و بخار جیوه و نیز در بدن حیوانات و همچنین گیاهان، آب و خاک به صورت آلی و غیر آلی می‌باشد [۳]. منشأ اصلی پیدایش این فلز به طور طبیعی در محیط زیست به صورت تصعید گاز از پوسته زمین است که از این طریق سالانه ۲۵۰۰۰-۱۵۰۰۰۰ تن جیوه به محیط وارد می‌گردد [۳]. منبع وجود این فلز در منابع آب طبیعی، رسوبات و محلهای تخلیه روانابهای شهری به عنوان منابع غیر نقطه‌ای و فاضلابهای صنعتی به عنوان منابع نقطه‌ای می‌باشد [۴]. بسیاری از صنایع به طور مستقیم یا غیر مستقیم در تخلیه جیوه به محیط زیست سهیم هستند [۵]. اگر چه در برخی منابع طبیعی انواعی از فلزات سمی یافت می‌گردد، ولی وجود غلظتهای قابل ملاحظه جیوه در آب، معمولاً در اثر تخلیه پسابهای معدنی، صنعتی و کشاورزی اتفاق می‌افتد [۶]. شکل فلزی جیوه در ساختمان شیمیایی بعضی انواع رنگهای پلاستیکی و لامپ‌های فلورسنت وجود دارد. جیوه موجود در حشره‌کشها و آفت‌کشها و مواد ضد عفونی کننده و باتری غالباً به صورت غیر آلی بوده و در فاضلابهای برخی از کارخانه‌ها که وارد محیط زیست می‌شود بیشتر به صورت آلی مشاهده می‌گردد [۵]. در دهه‌های اخیر احتمال ورود این آلاینده شیمیایی به منابع آب، روز به روز در حال افزایش

است. این ماده نه تنها به صورت مستقیم بر سلامت انسان آسیب وارد می‌نماید، بلکه از طریق تراکم در بدن آبزیان نیز می‌تواند به صورت غیر مستقیم بر سلامتی انسان تأثیرگذار باشد. به طور کلی اثر آلاینده‌های موجود در آب شامل عوارض سمیت حاد بر سلامت انسان و نیز اثرات دراز مدت به علت مواجهه با مقدار اندک بوده که گاهی به صورت غیر اختصاصی بروز کرده و تشخیص آن دشوار است [۷]. براساس استانداردهای EPA امریکا^۱، میزان حداکثر غلظت مجاز (MCL)^۲ برای جیوه ۲ ppm در نظر گرفته شده است [۸]. ترکیبات جیوه در محیط به متیل مرکوری تبدیل شده سپس وارد بدن ماهی‌ها و سایر آبزیان گشته و در نهایت توسط انسان مصرف می‌شود. متیل مرکوری از راه دستگاه گوارش و در سیستم اعصاب مرکزی و کلیه‌ها توزیع گردیده و به صورت اختلالات عصبی تأخیری تظاهر می‌یابد. بلع املاح غیر آلی جیوه به صورت حاد در طی چند ساعت با علائم گاسترو آنتریت، کلاپس قلب و عروق، نکروز حاد، توپولی و مرگ تظاهر می‌یابد. جیوه در شکل غیر آلی تا حدود ۱۰ درصد از دستگاه گوارش جذب می‌شود و نسبت به فرم فلزی به مقدار کمتری وارد خون می‌گردد [۹]. در طی مواجهه شدن با بخار جیوه، ریه هدف اصلی محسوب می‌شود. شکل فلزی جیوه، محلول در چربی بوده و بعد از استنشاق از طریق آلوئل‌ها وارد جریان خون می‌شود [۷]. طبق استانداردهایی که برای جیوه در نظر گرفته شده است حد اکثر مجاز غلظت جیوه در آب آشامیدنی ۰/۰۰۱ میلی‌گرم در لیتر است که این مقدار کمتر از حد مجازی است که برای سایر فلزات در نظر گرفته شده است [۹].

تکنولوژی‌های متفاوتی برای حذف جیوه در دسترس می‌باشند که شامل ترسیب شیمیایی، انعقاد، استفاده از آهک، اسمز معکوس، تعویض یون و جذب سطحی می‌باشد [۱۰]. جذب سطحی فرایندی است که توسط آن، ترکیبات موجود در یک محلول بر روی یک سطح تجمع می‌یابد. فرایند جذب در مقایسه با دیگر

¹ U.S. Environmental Protection Agency

² Maximum Contaminant Level

منابع آب آشامیدنی در ایران صورت گرفته، به این دلیل و همچنین به دلایلی از قبیل انجام بررسی در غلظتهای پایین، استفاده از روش استاندارد و سورفکتانت CTAB^۲ برای اندازه‌گیری غلظت جیوه و مقایسه کارایی جاذبه‌های ارزان در دسترس در حذف ماده مذکور، این تحقیق می‌تواند حائز اهمیت باشد.

۲- مواد و روشها

۲-۱- روش اندازه‌گیری جیوه

در این تحقیق، روش اسپکتروفتومتری برای اندازه‌گیری جیوه مورد استفاده قرار گرفت. دی تیزون^۳ به‌عنوان یک معرف اسپکتروفتومتری متداول با یون‌های فلزی جیوه تشکیل کمپلکس رنگی خنثی که دارای حلالیت کمی در آب است، می‌نماید. اندازه‌گیری اسپکتروفتومتری جیوه با معرف دی تیزون مستلزم استخراج با موادی مانند کلروفرم و تتراکلرید کربن می‌باشد. در این تحقیق از سورفکتانت کاتیونی CTAB به‌منظور تجمع آنیون‌های دی تیزون استفاده گردیده است. در اثر استفاده از سورفکتانت کاتیونی CTAB بین کاتیون و سورفکتانت جاذبه الکترواستاتیکی ایجاد نمی‌شود و در نتیجه بین لیگاند و سورفکتانت رقابتی صورت نگرفته و کاتیون فلزی تشکیل کمپلکس را تسهیل نموده و منجر به افزایش حساسیت روش اندازه‌گیری می‌گردد [۱۴، ۱۸، ۱۹].

سورفکتانت کاتیونی CTAB یا N.N.N- trimethyl با فرمول کلی $C_{19}M_{42}BrN$ یا $(C_{16}M_{33})N(CM_3)_3Br$ دارای جرم مولکولی $364/48$ گرم بر مول و نقطه ذوب $233-237$ درجه سلسیوس است [۱۴].

برای تعیین غلظت جیوه در نمونه‌های مورد مطالعه ۱ میلی‌لیتر از محلول (۰/۱ مولار) CTAB را داخل بالن ۱۰ میلی‌لیتری ریخته شد و به آن ۲ میلی‌لیتر محلول دی تیزون $10^{-4} \times 5$ مولار و ۱ میلی‌لیتر محلول نمونه و یا استاندارد اضافه گردید. سپس pH مخلوط را با H_2SO_4 به $3/5$ رسانده و با استفاده از آب مقطر حجم نهایی به ۱۰ میلی‌لیتر افزایش یافت [۱۴ و ۲۰]. با در نظر گرفتن دامنه دقت روش انتخابی و دستگاه مورد نظر و با توجه به محدوده‌های مورد استفاده در سایر مطالعات مشابه، آزمایش با چهار غلظت ورودی متفاوت (۱ ppm و ۰/۷۵ و ۰/۵ و ۰/۲۵) با توجه به حداکثر غلظت مجاز ترکیبات جیوه در منابع آب آشامیدنی (بین ۱۰۰۰-۲۵۰ برابر حد مجاز در آب آشامیدنی) و با چهار زمان ماند مختلف (۳، ۱۰، ۲۰، ۵/ ساعت) که زمان معمول مورد استفاده در فرایندهای جذب سطحی می‌باشد و تغییرات pH که در محدوده مورد قبول ۶ تا ۸ برای آشامیدن می‌باشد، در یک سیستم ناپیوسته

فرایندهای تصفیه به منظور حذف جیوه دارای راندمان بالایی بوده و قادر است با هزینه کمتر، غلظتهای بالاتری از جیوه را حذف نماید [۱۱]. برای حذف آلاینده‌های مختلف از آب می‌توان از جاذبه‌های گوناگونی استفاده نمود. از این جاذبه‌ها می‌توان به کربن فعال و زئولیت و آنتراسیت اشاره کرد. جاذبه‌های مذکور از نظر ساختمانی قادر به جذب اجزا بر سطح خود بوده و مهم‌ترین ویژگی فیزیکی این مواد جاذب، سطح مخصوص قابل توجه آنها است که به لحاظ ساختمان متخلخلی که دارند، ایجاد می‌گردد. سطح مؤثر در کربن فعال ۴۰۰ تا ۱۶۰۰ متر مربع در گرم و در زئولیت و آنتراسیت ۳۰۰ تا ۷۵۰ مترمربع در گرم در نظر گرفته می‌شود [۸]. در تحقیقی درایت و همکاران نشان دادند که مناسب‌ترین pH برای حذف جیوه از آب آشامیدنی با استفاده از گرانول کربن فعال بین ۴ تا ۸ می‌باشد [۱۲]. جنک^۱ در تحقیقی نشان داد که زئولیت طبیعی قادر است فلزات سنگین را در pH خنثی با راندمان بالایی حذف نماید. وی همچنین نشان داد که کربن فعال مناسب‌ترین گزینه برای حذف فلزات سنگین از آبهای آشامیدنی است [۱۳]. در تحقیقی با عنوان حذف جیوه از فاضلابهای صنعتی به روش شیمیایی نمونه‌های نه واحد صنعتی اصفهان به روش طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس غلظت جیوه به روش شیمیایی با استفاده از پلی سولفید و زئولیت کاهش داده شد [۱۴]. در تحقیقی دیگر با عنوان جدا سازی مواد آلی و معدنی توسط کربن فعال مشخص گردید جاذب مذکور قادر به حذف طلا از مخلوط یا محلول حاصل و همچنین مواد آلی رودآمین، آلومین و نیترو بنزن به‌وسیله کربن جذب می‌شوند [۱۵]. همچنین در مطالعه‌ای که برای حذف جیوه از آب با استفاده از رزین‌های تبادل یونی انجام یافت، مشخص گردید که این رزین‌ها کارایی خوبی در حذف جیوه دارند [۱۶]. در تحقیق دیگری که در چین صورت گرفت، مشخص گردید که کربن فعال تولید شده از لجن آلی فاضلاب کارایی بالایی در حذف جیوه از منابع آب آشامیدنی دارد، ولی عواملی مانند pH، غلظت ماده ورودی و زمان تماس، تأثیر قابل توجهی در کارایی حذف این سیستم دارند [۱۷].

در این تحقیق سعی گردید تا کارایی جاذبه‌های ارزان قیمت و طبیعی زئولیت کلینوپتی لئولایت و آنتراسیت با کربن فعال دانه‌ای در حذف جیوه از منابع آب آشامیدنی مورد مطالعه قرار گیرد و تفاوت‌های جذب مواد مذکور در حذف جیوه مشخص گردد. همچنین تغییرات مربوط به عوامل مؤثر در کارایی حذف مانند pH، غلظت اولیه جیوه و زمان ماند مورد بررسی قرار گرفت. تاکنون مطالعات محدودی در خصوص اندازه‌گیری غلظت دلخواه حذف جیوه از

² Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide

³ Detizone

¹ Genc

انجام یافت. در نهایت طیف جذبی مخلوط نمونه در طول موج ۴۹۲ نانومتر قرائت گردید.

۲-۲- نحوه ساخت و بهره برداری ستون‌های مبادله کننده

برای ساختن ستون‌های مبادله کننده، از بورت‌هایی با حجم ۱۰۰ میلی لیتر استفاده گردید. به این ترتیب که قسمت پایین بورت که جزء حجم اندازه‌گیری شده بورت نمی‌باشد، به وسیله اسفنج پوشانده و مواد مبادله کننده با وزن مشخص در ستون مربوطه ریخته و برای حذف فضاهای خالی و هوای موجود در ستون مبادله کننده چندین بار آب از داخل ستون عبور داده شد.

برای تعیین خصوصیات فیزیکی مبادله کننده‌ها، وزن مشخصی از مبادله کننده‌های مورد مطالعه درون ستون بورت ریخته شده و حجمی از ستون که توسط مبادله کننده اشغال گردیده بود، قرائت گردید. سپس ستون تا سطح مبادله کننده از آب پر شده و شیر بورت برای تخلیه آب درون ستون مبادله کننده، باز گردید.

۲-۳- حجم آب خروجی از ستون

حجم مبادله کننده موجود در ستون از رابطه چگالی با حجم و جرم محاسبه گردید. برای تعیین کارایی جذب و زمان ماند بهینه برای حذف جیوه با سیستم ناپیوسته^۱ هر سه ستون کربن فعال، زئولیت و آنتراسیت توسط آب نمک ۲۰ درصد احیا گردید و پس از شست و شو با آب مقطر، محلولهایی با غلظت مشخص از جیوه تهیه شد و به ستون‌های مبادله کننده، وارد گردید. پس از پر شدن ستون، شیر بورت بسته شد و زمان ماندهای مختلفی به آنها داده شده و پس از گذشت زمان ماند مورد نظر، شیر بورت باز شده و غلظت جیوه مطابق روش آزمایشگاهی ذکر شده تعیین و در نهایت کارایی ستون مورد بررسی، محاسبه گردید.

۳- نتایج و بحث

این تحقیق با سه عامل متغیر غلظت جیوه در آب ورودی به ستون‌ها، زمان ماند و pH بر روی هر ماده جاذب مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق در شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ و جدول‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است. در مجموع از بررسی کارایی حذف جیوه از آب آشامیدنی به وسیله ستون آکنده کربن فعال دانه‌ای، ستون زئولیت و آنتراسیت نتایج زیر به دست آمد:

۱- با افزایش pH، کارایی حذف در هر سه ستون افزایش می‌یابد (شکل ۱).

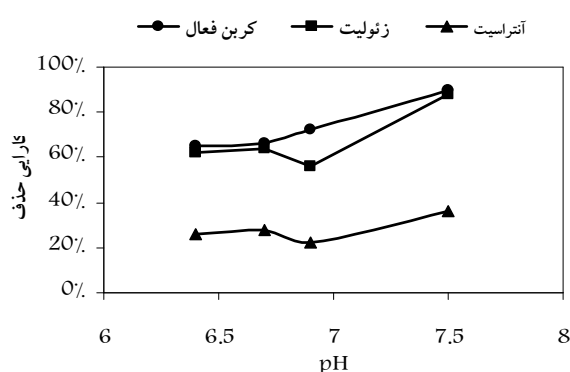
۲- در ستون کربن فعال در زمان ماندهای مختلف و غلظتهای متفاوت، درصد جذب بیشتر از ستون‌های دیگر بوده و آنتراسیت کمترین میزان حذف جیوه را در این تحقیق به خود اختصاص داد (شکل‌های ۲ و ۴).

۳- در هر سه ستون کربن فعال، زئولیت و آنتراسیت، بیشترین میزان حذف در غلظت ۰/۲۵ ppm به دست آمد و با افزایش غلظت، میزان حذف کاهش یافت (شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

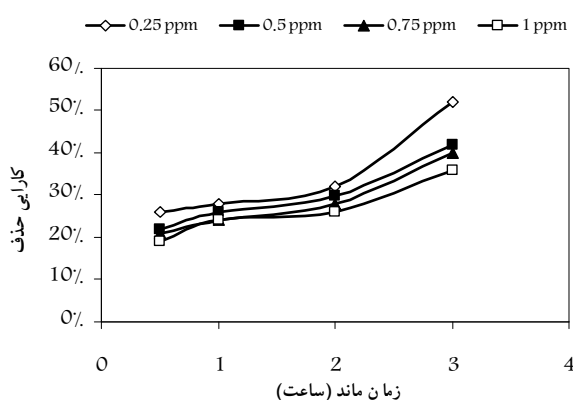
۴- شرایط بهینه برای هر سه ستون در غلظت ورودی ۰/۲۵ ppm، و زمان ماند ۳ ساعت به دست آمد که نتایج آن در جدول‌های ۱ و ۲ آمده است.

۵- تغییرات زمان ماند، در ستون آنتراسیت کمترین تأثیر و در ستون‌های کربن فعال و زئولیت بیشترین تأثیر را در کارایی حذف جیوه داشت. داده‌های حاصل از سه ستون، کربن فعال دانه‌ای، زئولیت و آنتراسیت بر حسب تغییرات غلظت ورودی، زمان ماند و pH، مورد آنالیز آماری t-test قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز آماری مشخص ساخت که بین افزایش pH و درصد حذف، رابطه معنی‌داری وجود دارد. همچنین مشخص گردید که با افزایش زمان ماند در شرایط ثابت، درصد حذف افزایش می‌یابد. ($p < 0/05$).

۶- احیای ستون‌ها به وسیله آب نمک ۲۰ درصد انجام گرفت که می‌تواند روش مناسبی برای احیا محسوب گردد.



شکل ۱- تأثیر تغییرات pH بر کارایی حذف جیوه در ستون‌های مورد مطالعه



شکل ۲- تأثیر زمان تماس و غلظت ورودی بر کارایی حذف جیوه در ستون آنتراسیت

¹ Batch

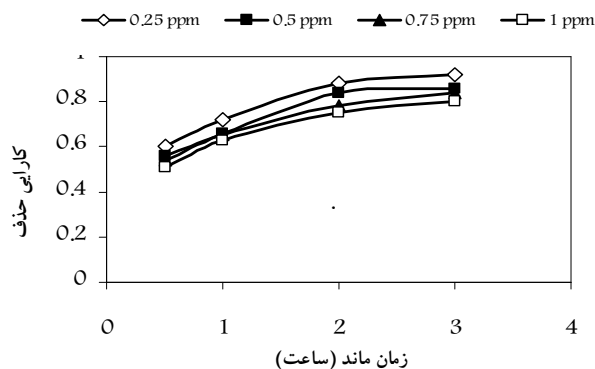
جدول ۲- کارایی حذف جیوه در غلظتهای مورد مطالعه برای سه ستون کربن فعال، آنتراسیت و زئولیت در شرایط بهینه زمان ماند (زمان ماند ۳ ساعت)

غلظت ورودی (ppm)	کارایی حذف		
	زئولیت (درصد)	آنتراسیت (درصد)	کربن (درصد)
۰/۲۵	۸۸	۵۲	۹۲
۰/۵	۸۲	۴۲	۸۶
۰/۷۵	۷۷	۴۰	۸۴
۱	۷۴	۳۶	۸۰

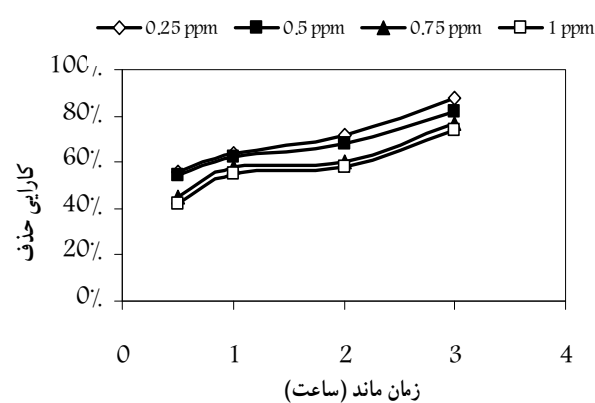
در تحقیق درایت و همکاران در مناسبترین pH یعنی ۴ تا ۸ و زمان ماند ۱۲۰ دقیقه، بیشترین درصد حذف جیوه ۹۳ درصد با گرانول کربن فعال به دست آمد [۱۲]. در تحقیقی که بر روی فاضلابهای صنعتی اصفهان به روش طیف سنجی جذب اتمی بخار سرد صورت گرفت، روش پلی سولفید پس از بهینه سازی شرایط، جیوه را ۹۶ درصد کاهش داد [۱۵]. در تحقیق دیگری کربن فعال منجر به حذف ۹۰ درصد طلا، ۹۶/۶ درصد رود آمین، ۸۱/۲ درصد آلبومین و ۹۷/۵۷ درصد نیتروبنزن شد [۱۴]. تحقیقات نشان می دهد تغییرات دمایی و pH می تواند تا ۲۳ درصد کارایی حذف را دچار نوسان سازد [۱۶]. در پژوهشی در چین مشخص شد که کربن فعال تولید شده از لجن فاضلاب می تواند بین ۶۰ تا ۸۰ درصد در حذف جیوه از منابع آب کارایی داشته باشد [۱۷].

۴- نتیجه گیری

با تغییر عوامل مؤثر در کارایی حذف که در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت، کارایی حذف برای ستون کربن فعال، زئولیت و آنتراسیت به ترتیب در محدوده ۵۱ تا ۹۲ درصد، ۴۲ تا ۸۸ درصد و ۱۶ تا ۵۲ درصد به دست آمد. بیشترین کارایی حذف مربوط به ستون آکنده کربن فعال بود. در مجموع کربن فعال در مقایسه با جاذبهای زئولیت و آنتراسیت کارایی بیشتری برای حذف جیوه دارد. همچنین کربن فعال از لحاظ اقتصادی نیز ارزان و مقرون به صرفه است و می تواند به عنوان یک جاذب مناسب مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳- تأثیر زمان تماس و غلظت ورودی بر کارایی حذف جیوه در ستون زئولیت



شکل ۴- تأثیر زمان تماس و غلظت ورودی بر کارایی حذف جیوه در ستون کربن فعال

جدول ۱- کارایی حذف جیوه در زمانهای ماند مورد مطالعه برای ۳ ستون کربن فعال، آنتراسیت و زئولیت در شرایط بهینه غلظت ورودی (غلظت ۰/۲۵ ppm)

زمان ماند (ساعت)	کارایی حذف		
	زئولیت (درصد)	آنتراسیت (درصد)	کربن فعال (درصد)
۰/۵	۵۶	۲۲	۶۰
۱	۶۴	۲۸	۷۲
۲	۷۲	۳۲	۸۸
۳	۸۸	۵۲	۹۲

۵- مراجع

- ۱- شریعت پناهی، م. (۱۳۷۲). *مبانی بهداشت محیط*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- ۲- شریعت پناهی، م. (۱۳۷۷). *اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب*، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- ۳- کی نژاد، م. ع.، و ابراهیمی، س. (۱۳۸۰). *مهندسی محیط زیست آب و فاضلاب*، انتشارات سهند، تبریز.
- ۴- اسدی، م.، و نبی زاده، ر. (۱۳۷۷). *مدیریت مواد زائد خطرناک*، انتشارات سازمان حفاظت محیط زیست، تهران.

- ۵- ناصری، س.، و قانعان، م. (۱۳۸۱). مدیریت کیفیت آب، انتشارات نصر، تهران.
- ۶- ملاح، م. (۱۳۷۷). "تعیین ساختار و بررسی خواص تبادل یک نوع زئولیت." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران.
- ۷- ابوالحمد، گ.، زاهدی، چ.، و خدایاری، ش. (۱۳۸۲). "بهبود سازی کربن فعال به روش فعال‌سازی شیمیایی." مجله مهندسی شیمی ایران، ۸، ۲۰-۲۷.
- 8- AWWA, APHA, WPCF. (1994). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 18th Ed., American Health Association Publication Office, USA.
- 9- Singh, H.B., Kumar, B., and Sharma R.L. (1989). "Direct spectrophotometric determination of trace amounts of mercury in aqueous media as its dithizonate complex in the presence of a neutral surfactant." *J. of Analyt.*, 114, 853-855.
- 10- Saglam, N., Say, R., Denizil, A., Patir, S., and Arca, M.Y. (1999). "Biosorption of inorganic mercury and alkyl mercury species on to *Phanerochaete chrysosporium mycelium*." *J. Process Biochem*, 34, 725-730.
- 11- Tchobanoglous, G., and Burton, F. (1991). *Wastewater engineering treatment, disposal and reuse*, 4th Ed., McGraw-Hill, Metcalf and Eddy, Boston.
- ۱۲- درایت، ج.، رضایی، ع.، مرتضوی، س.، یمینی، ی.، خوانین، ع.، و سلیمانی، ا. (۱۳۸۴). "مطالعه عوامل موثر در حذف جیوه از محلول‌های مائی با استفاده از گرانول کربن فعال." فصلنامه علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه. ۹ (۱)، ۴۴-۵۱.
- 13- Genc-fuhrman, H., Mikkelsen, P.S., and Ledin, A. (2007). "Simultaneous removal of As, Cd, Cu, Ni and Zn from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents." *Water Research*, 41, 591-602.
- ۱۴- طالبی، م.، تولی، ت.، و حسین زاده، م. (۱۳۸۱). "حذف جیوه از فاضلاب‌های صنعتی به روش شیمیایی." اولین سمینار شیمی محیط و زیست ایران، دانشگاه یاسوج، ۳۱.
- ۱۵- بازدار، م. (۱۳۷۹). "جداسازی مواد معدنی و آلی توسط کربن فعال." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- 16- Chiarle, M., and Rovatti, M. (2000). "Mercury removal of water by ion exchange resins adsorption." *J. of Water Research*, 34 (11), 2971-2978.
- 17- Zhang, F., and Nriagu, O. (2005). "Mercury removal from water using activated carbons derived from organic sewage sludge." *J. of Water Research*, 39 (2-3), 389-395.
- 18- Shah, R., and Devi, S. (1994). "Spectrophotometric determination of micro quantities of silver using dithizone in the presence of cetyl trimethyl ammonium bromide." *Indian J. of chem.*, 34, 925-927.
- 19- Ullman, M. (2003). *Encyclopedia of industrial chemistry*, 6th Ed., Wiley-VCH Publishers, N.Y.
- 20- Skodras, G., Diamantopoulou, I., and Sakellaropoulos, G.P. (2007). "Role of activated carbon structural properties and surface chemistry in mercury adsorption." *Desalination*, 210 (1-3), 281-286.