



بررسی اثر pH آب آلوده بر میزان جداسازی آلاینده‌های فلزی با کمک نانوساختارهای حاصل از الکترواکسایش نیکل

نادیا گراوند

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران

صبا موسیوند*

گروه فیزیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، لرستان، ایران

چکیده

جذب سطحی فلزات به وسیله نانوذرات یک فناوری سازگار با محیط زیست است که در سال‌های اخیر به عنوان عامل مؤثری برای از بین بردن آلودگی‌های آلی و یون‌های فلزات سنگین از آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این پژوهش فرآیند الکترواکسایش نیکل در یک سلول الکتروشیمیایی حاوی دو الکترود آند و کاتد از جنس نیکل و نیز محلول الکترولیت آبی - آلی با موفقیت انجام شد و کاربرد نانوساختارهای تولید شده در حذف آلاینده‌های فلزی کبالت و کادمیوم از آب آلوده آزمایشگاهی بررسی شد. آلاینده‌های سنگین فلزی به طور مستقیم با کمک نانوساختارهای تولید شده از الکترواکسایش نیکل از آب آلوده با pH متفاوت در بازه ۱ تا ۱۴، در سلول الکترواکسیداسیون با موفقیت جداسازی شدند. نتایج آنالیز جذب اتمی، AAS نشان داد که با اعمال بهترین شرایط آزمایشگاهی (ولتاژ ۲۵۷، غلظت ۵۰ ppm کبالت و ۱۰۰ ppm کادمیوم، زمان ۴۵ دقیقه و pH= ۷/۵) حذف کبالت به میزان ۹۹/۹٪ و درصد حذف کادمیوم ۹۹/۲۳٪ انجام می‌گیرد. در حذف همزمان کبالت و کادمیوم از آب آلوده میزان جذب این عناصر توسط نانوساختارهای نیکل برای کبالت ۹۹/۲٪ و برای کادمیوم ۹۸/۱٪ مشاهده شد.

واژگان کلیدی: الکترواکسایش نیکل، آلاینده‌های فلزی، pH، نانوساختار، آب آلوده

مقدمه

آلودگی آب آشامیدنی با فلزات سنگین یک مشکل جدی در سرتاسر جهان است. در سالیان اخیر حذف فلزات سنگین از پساب‌های آلوده به علت سرطان‌زایی‌شان مورد توجه قرار گرفته است. این فلزات حتی در غلظت کم نیز می‌توانند برای ارگانیزم‌ها سمی باشند؛ این مواد سمی به طور دائم از راه تخلیه فاضلاب به رودخانه‌ها و جویبارها وارد می‌شوند و روان آب‌های حاصل از مزارع کشاورزی اغلب سهم کمتری از آلودگی را در اختیار دارند. این فلزات به راحتی توسط حیوانات دریایی جذب می‌شوند و از آنجا می‌توانند وارد زنجیره غذایی انسان شوند که در نهایت منجر به بروز خطرات زیادی برای سلامتی مصرف‌کنندگان گردند (Torkshavand et al, 2014). بررسی حذف فلزات سنگین از فاضلاب‌های صنعتی به وسیله نانوذرات در طی سالیان اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. کبالت و کادمیوم از جمله فلزات سنگین هستند که از طریق منابع گوناگون به محیط زیست، پیکره گیاهان و نهایتاً زنجیره غذایی انسان‌ها و حیوانات راه می‌یابند و خسارت‌های جدی به بار می‌آورند. فناوری‌های متعددی برای حذف مؤثر فلزات سمی از آب بررسی شده‌اند مانند مبادله یونی، انجماد، انعقاد، جذب بیولوژیکی، فیلتراسیون غشاء، استخراج با حلال، الکترولیز و فرآیند جذب سطحی بر روی مواد جاذب (Shahanshahi and Mosivand, 2019) و (Mosivand et al., 2019). اغلب این روش‌ها معایب قابل‌توجهی مانند نیاز به انرژی بالا، هزینه‌بر بودن فرآیند، راندمان کم، نیاز به مواد شیمیایی خاص و... دارند. جذب سطحی فلزات به وسیله نانوذرات یک فناوری سازگار با محیط زیست است که در سال‌های اخیر به عنوان عامل مؤثری برای از بین بردن آلودگی‌های آلی و یون‌های فلزات سنگین از آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته‌اند. جاذب‌های نانوساختار در مقایسه با مواد معمولی عمدتاً به دلیل ناحیه سطحی زیاد، کارایی بسیار بالاتری دارند و میزان جذب سریع‌تری در تصفیه آب از خود نشان می‌دهند (Piri Fathabad et al., 2018). انواع مختلفی از نانومواد کارآمد، کم هزینه، سازگار با محیط زیست با ویژگی‌های منحصر به فرد بالقوه برای سم‌زدایی از پساب‌های صنعتی، آب‌های زیرزمینی، آب‌های سطحی و آب آشامیدنی پیشنهاد شده است. یک جاذب ایده‌آل برای تصفیه فاضلاب باید شرایط زیر را دارا باشد: ۱- سازگار با محیط زیست باشد ۲- ظرفیت جذب بالایی به ویژه در مورد آلودگی‌های در غلظت کم از خود نشان دهد ۳- آلاینده‌های جذب شده را بتوان به راحتی از سطح آن حذف کرد ۴- قابل بازیافت باشد؛ در سال‌های اخیر بسیاری از مطالعات ثابت کرده‌اند که نانومواد می‌توانند بیشتر این الزامات را برآورده سازند (Kazeminezhad and Mosivand, 2017) و (Mosivand et al, 2018).

روش تحقیق

در این تحقیق جداسازی آلاینده ای فلزی کبالت و کادمیوم از آب به روش الکترواکسایش نیکل در یک سلول الکتروشیمیایی محتوی دو الکتروود آند و کاتد از جنس نیکل و نیز محلول الکترولیت انجام شد و اثر تغییرات ولتاژ اعمالی بر روی میزان کارایی جذب آلاینده توسط نانوساختارهای اکسید نیکل بررسی شد. در این روش آب آلوده آزمایشگاهی به عنوان الکترولیت استفاده شد. برای این منظور مقادیر مشخصی از نمک سولفات کبالت ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) یا سولفات کادمیوم ($3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$) و سولفات سدیم (Na_2SO_4) برای برقراری جریان الکتریکی محلول در ۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر حل شد؛ سپس الکترودهای تهیه شده از فلز نیکل را داخل این محلول الکترولیت قرار داده و با اعمال ولتاژ و جریان مناسب به صورت مستقیم اقدام به حذف کبالت و کادمیوم از آب آلوده مصنوعی (آزمایشگاهی) نمودیم. در ادامه و بعد از دستیابی به بهترین شرایط حذف به این روش، دو نمونه آب آلوده واقعی از رودخانه‌های سیمره و کارون تهیه شد و با استفاده از روش الکترواکسیداسیون تحت شرایط بهینه آزمایشگاه به حذف کبالت و کادمیوم موجود در آب پرداختیم.

در تحقیقات آزمایشگاهی یکی از پارامترهای مهم که نقش بسزایی در نتیجه آزمایش دارد pH محلول است. در این تحقیق اثر تغییرات pH در محدوده ۱۳/۵-۱/۵ را بر راندمان جذب مورد مطالعه قرار دادیم. pH محلول اولیه در حدود ۴/۵ بود، بنابراین به این منظور دو گروه محلول از سولفات کبالت و کادمیوم به همراه سولفات سدیم به ترتیبی که در بالا گفته شد، تهیه کردیم و pH را برای



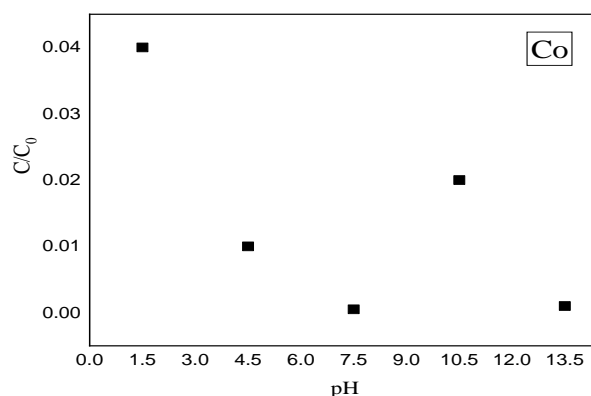
آن‌ها ۱/۵، ۴/۵، ۷/۵، ۱۰/۵ و ۱۳/۵ در نظر گرفتیم. برای رساندن pH محلول به کمتر از ۴/۵ چند قطره اسید کلریدریک و برای pHهای بالاتر از آن چند قطره NaOH به محلول اضافه شد. آزمایش‌های مربوط به حذف عنصر کبالت با اعمال ولتاژ ۲۵، و در محلول با غلظت ۵۰ ppm فلز آلاینده و زمان ۴۵ min و برای آب آلوده به کادمیوم در ولتاژ ۲۵، غلظت ۱۰۰ ppm و زمان ۳۰ min در pHهای مختلف انجام شد. نسبت میزان غلظت کبالت و کادمیوم بعد به قبل از جداسازی آلاینده (C/C_0) با دستگاه جذب اتمی AAS تعیین شد. شناسایی ساختار محصولات تولید شده به وسیله‌ی دستگاه پراش پرتو ایکس XRD، مدل X'Pert PRO انجام شد و تصویربرداری از نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی، SEM مدل MIRA 3-LMU صورت پذیرفت. غلظت عناصر کبالت و کادمیوم بر حسب ppm در آب با دستگاه جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها

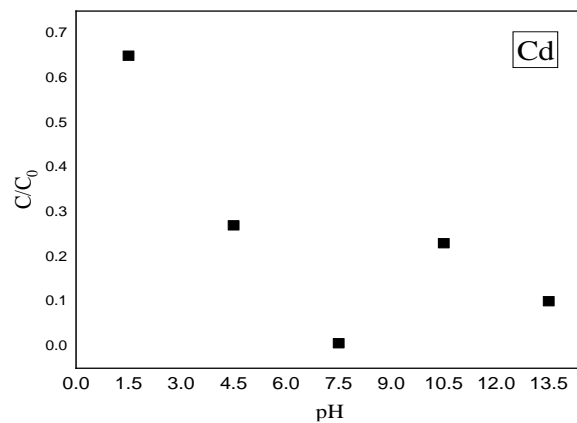
نسبت میزان غلظت کبالت و کادمیوم موجود در آب، بعد به قبل از جداسازی آلاینده (C/C_0) که با دستگاه جذب اتمی AAS تعیین شده است به ترتیب در نمودارهای ۱ و ۲ نشان داده شده است. داده‌های حاصل از این بررسی نشان داد در $pH=7.5$ بیشترین مقدار جذب هر دو عنصر وجود دارد که میزان حذف عنصر کبالت ۹۹/۹٪ و برای عنصر کادمیوم ۹۹/۳٪ بدست آمد. این نتیجه میزان تأثیر و اهمیت عامل pH را آشکار می‌سازد.

به منظور حذف هم‌زمان کبالت و کادمیوم از آب آلوده با توجه به شرایط بهینه به دست آمده، نمونه آب آلوده‌ای تهیه شد که شامل هر دو عنصر کبالت و کادمیوم است. پارامترهای بهینه در این نمونه غلظت ۵۰ ppm برای کبالت و ۱۰۰ ppm کادمیوم، $pH=7.5$ ، غلظت ۱۰۰ mM سولفات سدیم، ولتاژ ۲۵ V است اما برای انتخاب زمان بهینه از آنجا که برای کبالت زمان بهینه را ۴۵ دقیقه و برای کادمیوم ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شده بود دو نمونه را یکی در مدت زمان ۴۵ min و دیگری را در زمان ۳۰ min بطور جداگانه با هم مقایسه کردیم تا بهترین نتیجه را کسب نماییم. نتایج بدست آمده از آنالیز جذب اتمی دو نمونه بالا توسط دستگاه AAS در زمان بهینه ۴۵ دقیقه نشان داد که جذب کبالت ۹۹/۲۱٪ و جذب کادمیوم ۹۸/۲۳٪ صورت گرفته است.

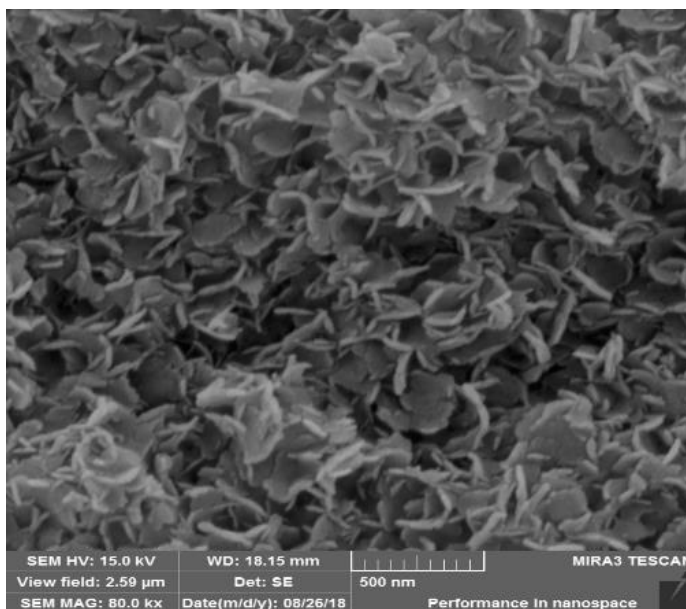
به جهت کسب اطلاعاتی در مورد رسوب جاذب عناصر کبالت و کادمیوم از آب آلوده، رسوب حاصل از نمونه‌هایی که تحت شرایط بهینه تولید شدند و بیشترین جذب کبالت و کادمیوم را داشتند خشک شده و سپس توسط دستگاه SEM مورد بررسی قرار گرفتند. تصاویر مربوط به نمونه‌های بهینه در جذب کبالت و کادمیوم با استفاده از دستگاه SEM به ترتیب در شکل‌های ۳ و ۴ آورده شده است. این تصاویر نانوساختار بودن رسوب جاذب آلاینده‌ها را به وضوح نشان می‌دهند.



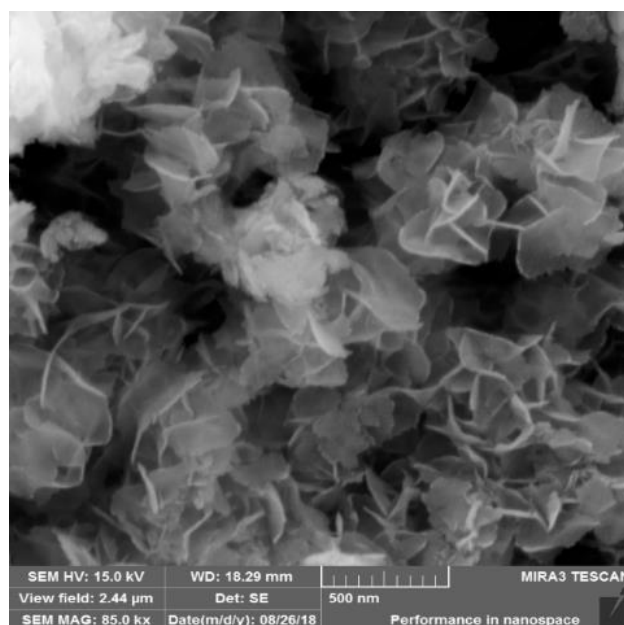
شکل ۱. نسبت C/C_0 کبالت بر حسب تغییرات pH.



شکل ۲. نسبت C/C_0 کادمیوم بر حسب تغییرات pH.



شکل ۳. تصویر SEM رسوب نمونه بهینه حذف کبالت.



شکل ۴. تصویر SEM رسوب نمونه بهینه حذف کادمیوم.

بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق با کمک روش الکترواکسایش نیکل در یک سلول الکتروشیمیایی دارای دو الکترود آند و کاتد از جنس نیکل و نیز محلول الکترولیت آبی - آلی محتوی آب آلوده، حذف آلاینده های فلزی کبالت و کادمیوم از آب با موفقیت انجام شد. در این روش آلاینده های سنگین فلزی از آب آلوده با pH متغیر بین ۱ تا ۱۴، به طور مستقیم با کمک نانوساختارهای تولید شده از الکترواکسایش نیکل در سلول الکترواکسیداسیون با موفقیت حذف شدند. نتایج آنالیز جذب اتمی، AAS نشان داد که در شرایط بهینه آزمایشگاهی، ولتاژ ۲۵V، غلظت ۵۰ppm کبالت و ۱۰۰ppm کادمیوم، زمان ۴۵ دقیقه و pH= ۷/۵، حذف کبالت به میزان ۹۹/۹٪ و درصد حذف کادمیوم ۹۹/۲۳٪ صورت می پذیرد. در روش حذف همزمان کبالت و کادمیوم از آب آلوده میزان جداسازی این عناصر از آب، در مورد کبالت ۹۹/۲٪ و برای کادمیوم ۹۸/۱٪ اندازه گیری شد.

پیشنهاد می شود کارایی روش الکترواکسایش نیکل در حذف سایر فلزات سنگین آلاینده از جمله سرب، جیوه، مس و مورد بررسی قرار گیرد.

منابع

- I. Kazeminezhad and S. Mosivand. (2017). Elimination of copper and nickel from wastewater by electrooxidation method. Journal of Magnetism and Magnetic Materials. Vol. 422. 84-92.
- Saba Mosivand, Iraj Kazeminezhad, Shirin Piri Fathabad. (2019). Easy, fast, and efficient removal of heavy metals from laboratory and real wastewater using electrocrystallized iron nanostructures. Microchemical Journal. Vol. 146. 534-543.
- Saba Mosivand, Lorena M. A. Monzon, Iraj Kazeminezhad, Anup Kumar and J. Michael D. Coey. (2018). Pulsed electrochemical and electroless techniques for efficient removal of Sb and Pb from water. Environmental Science Water Research & Technology. Vol. 4, 2179-2190.



Shirin Piri Fathabad, Saba Mosivand, Iraj Kazeminezhad. (2018). Synthesis and Characterization of Electro-Crystallized Alumina Nanoparticles and Investigation of Their Application in Removal of Cobalt and Cadmium from Seimareh and Karoon Rivers in Iran. Journal of electronic materials. Vol. 47, No. 12. 7034-7052.

Z. Torkshavand, M. Gholami, M. Farzadkia, A. Esrafil. (2014). Adsorption of Cu^{2+} from aqueous solution onto modified glass beads with 3-aminopropyltriethoxysilane. Iranian Journal of Health, Safety and Environment. Vol. 1. No. 3. 101-110.

Zeinab Shahanshahi, Saba Mosivand. (2019). Electro-crystallized SnO_2 nanoparticles for river-water heavy-metal ion pollutant removal process. Seyedeh Applied Physics A. Vol. 125:652. 1-11.



Investigating the effect of pH of contaminated water on the separation rate of metal pollutants with the help of nanostructures obtained from electro-oxidation of nickel

Nadia Garavand

Department of Physic, Faculty of Basic sciences,
Lorestan University, Khorram-Abad, Lorestan, Iran

Saba Mosivand*

Department of Physic, Faculty of Basic sciences,
Lorestan University, Khorram-Abad, Lorestan, Iran

Abstract

The surface absorption of metals by nanoparticles is an environmentally friendly technology that has been investigated in recent years as an effective factor for removing organic pollutants and heavy metal ions from water and wastewater. In this research, the nickel electrooxidation process was successfully carried out in an electrochemical cell containing two nickel anode and cathode electrodes and an aqueous-organic electrolyte solution, and the application of the produced nanostructures in the removal of cobalt and cadmium metal pollutants from polluted laboratory water was investigated. Heavy metal pollutants were directly separated with the help of nanostructures produced by nickel electrooxidation from polluted water with different pH in the range of 1 to 14 in the electrooxidation cell. The results of atomic absorption analysis, AAS showed that by applying the best laboratory conditions (voltage V25, concentration of cobalt 50 ppm and cadmium 100 ppm, time 45 minutes and pH = 7.5), cobalt removal was 99.9% and cadmium removal percentage was 23.99. % is done. In the simultaneous removal of cobalt and cadmium from contaminated water, the rate of absorption of these elements by nickel nanostructures was 99.2% for cobalt and 98.1% for cadmium.

Keywords: Electrooxidation of nickel, Metal pollutants, pH, Nanostructure, Contaminated water