Evaluation of the Sawdust Modified with Diethylenetriamine as an Effective Adsorbent for Fe (III) Removal from Water

A. Ostovan¹, Sh. Elhami²

1. Former Graduate Student of Analytical Chemistry, Khuzestan Science & Research Branch, Isalmic Azad University, Ahwaz, Iran

2. Assist. Prof., Department of Chemistry, Ahwaz Branch, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran (Corresponding Author) Sh.elhami@aiuahvaz.ir

(Received Oct. 6, 2016 Accepted Feb. 6, 2017

To cite this article :

Ostovan, A., Elhami, Sh., 2018, "Evaluation of the sawdust modified with diethylenetriamine as an effective adsorbent for Fe (III) removal from water" Journal of Water and Wastewater, 29(2), 29-37. Doi: 10.22093/wwj.2017. 62973.2253. (In Persian)

Abstract

Heavy metals are environmental pollutants that nowadays a lot of efforts are made to remove them. In this research, the sawdust modified with diethylenetriamine as an effective adsorbent for Fe (III) removal from water samples was conducted. First, the sawdust was modified by diethylenetriamine. SEM analysis showed that the particle surface is changed by modification. Then the effective factors in Fe (III) removal such as pH, adsorbent dose, shaker speed and contact time were studied and optimized. The optimum conditions were employed for various Fe (III) concentrations (20-300 mg L-1) and in all cases, the removal rate was significant. The adsorbent has high capacity for Fe (III) removal in a way that it removed more than 95.0±0.3 % of Fe (III) (50 mg/L) by 1.5 g/L of adsorbent in 15 minutes. The Langmuir and Freundlich isotherms were applied to the adsorption process and their constants were evaluated. The adsorption equilibrium data fitted well to Langmuir isotherm. The maximum Langmuir adsorption capacity of Fe (III) ions was 200.0 mg/g. According to kinetics experiments of Fe (III), the adsorption process had more conformity to pseudosecond-order kinetic model. This method was successfully applied for Fe (III) removal from potable water, well water, river water and industrial wastewater samples.

Keywords: Fe (III), Modified Sawdust, Removal, Diethylenetriamine, Langmuir Isotherm.

مجله آب و فاضلاب ۲۳۰۰ ۲۰۰۰ ۲۹۷۰ ۲۹۱، شماره ۲. سال ۱۳۹۷

بررسی خاک ارہ اصلاح شدہ با دیاتیلن تری آمین به عنوان یک جاذب مؤثر برای حذف آهن (III) از نمونه های آبی

آذيتا استوان'، شهلا الهامي

۱ - دانشآموخته کارشناسی ارشد شیمی تجزیه، گروه شیمی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران ۲ - استادیار گروه شیمی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران (نویسنده مسئول) Sh.elhami@aiuahvaz.ir

(دریافت ۹٥/٧/١٥ پذیرش ۹٥/٧/١٩)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید: استوان، آ،، الهامی، ش.، ۱۳۹۷، " بررسی خاک اره اصلاح شده با دی اتیلن تری آمین به عنوان یک جاذب مؤثر برای حذف آهن (III) از نمونه های آبی" مجله آب و فاضلاب، ۲۹(۲)، ۳۷–۲۹. Doi: 10.22093/wwj.2017. 62973.2253

چکيده

فلزات سنگین یکی از آلایندههای محیط زیست است که امروزه تلاش زیادی برای حذف آن انجام می شود. در این پژوهش، خاک اره اصلاح شده با دی اتیلن تری آمین به عنوان یک جاذب مؤثر به منظور حذف آهن (III) از نمونه های آبی، مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا خاک اره توسط دی اتیلن تری آمین اصلاح شد. آنالیز SEM نشان داد که سطح ذرات در اثـر اصـلاح تغییـر یافتـه است. سپس فاکتورهای مؤثر بر فرایند حذف، از قبیل PH محلول، دز جاذب، زمان تماس و دور شیکر بهینه شدند. شـرایط بهینـه بـرای غلظتهای مختلف آهن بین ۲۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر به کار برده شد؛ در تمام حالات، میزان حذف قابل توجـه بـود. در شـرایط بهینه بیش از ۲۰+ ± ۹۰ درصد آهن به غلظت ٥٠ میلی گرم در لیتر با به کار گیری دز جاذب «از است. دادههای جـدر تعاد او دقیقه حذف شد که نشان دهنده ظرفیت بالا و عملکرد سریع جاذب در حذف آهن است. دادههای جـدر تعادلی با اسـتفاده از مدلهای ایزوترمی لانگمیر و فروندلیچ بررسی شد. دادههای تعادل جذب سطحی به خوبی با هم دمای لانگمیـر مطابقـت داشت. بیشینه ظرفیت جذب تعادلی لانگمیر معادل ۲۰۰ میلی گرم در گرم برآورد شد. بر اساس نتایچ آزمایشها، سینتیک فرایند جذب با مدل های ایزوترمی و نموندلیچ بررسی شد. داده های تعادل جذب سطحی به خوبی با هم دمای لانگمیـر مطابقـت داشت. مدل های ایزوترمی و فروندلیچ بررسی شد. داده مای تعادل جذب سطحی به خوبی با هم دمای لانگمیـر مطابقـت داشت. مدل های ایزوترمی و فروندلیچ بررسی شد. داده های تعادل جذب سطحی به خوبی با هم دمای لانگمیـر مطابقـت داشت. مدل های ایزوترمی و فروندلیچ بررسی شد. داده های تعادل جذب سطحی به خوبی با هم دمای لانگمیـر مطابقـت داشت.

واژههای کلیدی: آهن (III)، خاک اره اصلاح شده، حذف، دیاتیلن تری آمین، همدمای لانگمیر، نمونههای آبی

۱ – مقدمه

یونهای فلزات سنگین، مواد مضری هستند که در پسابهای صنایع مختلف وجود دارند. حضور روز افزون فلزات سنگین در آبهای سطحی و زیرزمینی یکی از نگرانیهای مهم محیط زیستی است (Soliman Aboul-Magd et al. 2011). آبهای سطحی و زیرزمینی مهم ترین منابع آب آشامیدنی هستند .(Wang et al). آبه که او زارات منگ

آهن یکی از فلزات سنگین و چهارمین عنصر فـراوان در پوسـته زمین است که اهمیت زیادی در بیوسفر دارد. پساب صنایعـی مانند

تولید فولاد، کک زغال سنگ، معادن و غیره حاوی مقادیر زیادی آهن است و ورود بیش از حد آهن موجب آلودگی محیط زیست میشود (Wang et al. 2008). مقادیر بالای آهن در آب، طعم، بو و ظاهر نامطلوبی ایجاد میکند(Kousalya et al. 2011).

اگر چه آهن یک عنصر ضروری در بدن محسوب می شود، مصرف بیش از حد آن باعث اثرات سوء در سلامتی انسان می شود. مصرف زیاد آهن موجب مسمومیت شدید با آهن، آسیب به دستگاه گوارش و کبد می شود (Kousalya et al. 2010). بنابراین حفظ

تعادل آهن در بدن برای سلامت انسان ضروری است (Ahmed). (2011

سازمان بهداشت جهانی ، میزان مجاز آهن در آب آشامیدنی را ۲/۰ میلیگرم در لیتر تعیین کرده است (Khalil et al. 2013).

تـاكنون روش هـاي مختلفـي ماننـد: تعـويض يـون -Aboul). (Papassiopi et al. 2010) کاهش (Magda & Alhaddad 2012) انعقادالكتروني (Vasudevan et al. 2009)، غشاء (Habib et al. (Aly et al. 2012، اسمز معكوس (Aly et al. 2012) و جذب سطحی به منظور حذف یون های آهن(III) به کار برده شده است. جذب سطحي بهعلت دارا بودن مزايايي چون سادگي عملكرد و تنوع زیاد جاذب، یک روش مؤثر در حذف انواع آلاینده ااز جمله فلزات سنگين است. جاذب هاي مختلفي به منظور حذف یونهای آهن (III) گزارش شده است که از جمله می توان به موارد زير اشار، نمود: نانو ذرات پليگرسکيت (Middea et al. 2013). باگاس نیشکر (Soliman et al. 2011)، کیتوسان اصلاح شده .(Wang et al. 2008; Kousalya et al. 2010; Khalil et al. 2013; Namdeo & Baipai 2008) خاک ارہ اصلاح شدہ با آليزارين رد اس و همچنين اريوكروم بلك تي (Ahmed 2011). پودر نانو آلومینیوم اکسید(Mahmoud 2015)، نانورس اصلاح شده Bhattacharyya & Gupta 2009; Natkanski et al. (Kumar Rana et al. 2012) اصلاح شده (2013، ارگانوسیلیکای اصلاح و كربن اكتيو اصلاح شده (Ucer et al. 2005).

مهم ترین معایب روش جذب سطحی ظرفیت کم بعضی از جاذبها، قیمت بالای آنها، مشکل بودن احیای دوباره جاذبها و مشکلات زیست محیطی آنهاست (Han et al. 2008). در سالهای اخیر توجه زیادی به جاذبهای طبیعی به ویژه ضایعات کشاورزی شده است. از آنجایی که این ضایعات جزیی از طبیعت میباشند، دوستدار محیط زیست بوده و همچنین ارزان قیمت و در دسترس هستند.

در این پژوهش خاک اره بهعنوان مهمترین ضایعات صنعت چوب انتخاب شد و با یک آمین اصلاح شد. از خاک اره اصلاح شده برای حذف یون های آهن (III) استفاده شد و عوامل فیزیکی و شیمیایی مؤثر در حذف، بهینهسازی شد.



۲ – روش تجربی ۲ – ۱ – دستگاهها و مواد شیمیایی

برای اندازه گیری جذب اتمی آهن، از دستگاه اسپکتر ومتری جذب اتمی سری ICE ساخت کشور آمریکا، در طول موج مخصوص این فلز (۲۴۸/۳ ساخت کشور آمریکا، در طول موج استفاده از pH متر ۲۴۸/۳ نانومتر) استفاده شد. تعیین pH استفاده از pH متر ATC مدل GP353 ساخت ژاپن انجام شد. برای تهیه محلول ۲۰۰۰ میلی گرم در لیتر آهن (III)، مقدار ۸۶۴/۰ گرم از نمک سولفات آهن آمونیاکی محصول مرک^۳ آلمان در ۱۰ میلی لیتر اسید هیدروکلریک غلیظ حل شد و سپس در بالن ۱۰۰ میلی لیتری با آب مقطر به حجم رسانده شد. تمامی محلول های دارای غلظت کمتر، با رقیق سازی در بالن ژوژه های مورد نظر از این محلول مادر تهیه شد.

۲-۲- آمادهسازی جاذب

برای آمادهسازی جاذب، ابتدا خاک اره پس از شست و شوی فراوان با آب شهر و سپس با آب مقطر در یک آون در دمای ۱۱۰ درجه سلسیوس بهمدت یک شبانه روز نگهداری شد تا کاملاً خشک شود، سپس به وسیله دستگاه خردکن آسیاب شد و از الک ۵/۰میلیمتری گذرانده شد. در مرحله بعد به نمونه های ۵گرمی از این خاک اره، ۷۰ میلی لیتر اسیدکلریدریک غلیظ افزوده شد و پس این خاک اره، ۲۰ میلی لیتر اسیدکلریدریک غلیظ افزوده شد و پس از ۲ ساعت اسیدکلریدریک اضافی توسط کاغذ صافی خارج شده و سپس ۳۰ میلی متر دی اتیلن تری آمین اضافه شد و بعد از گذشت ۲ ساعت جاذب فوق با آب مقطر شست و شو شد تا جایی که کاملاً عاری از دی اتیلن تری آمین شود. پس از آن در آون با دمای ۵۰ درجه سلسیوس به مدت ۱۸ ساعت خشک شد & Sharifi 2014)

۲-۳- روش کار

برای انجام فرایند حذف آهن از محلولهای آبی، با استفاده از خاک اره اصلاح شده، ۱۰۰ میلیلیتر محلول حاوی آهن (III) به غلظت ۵۰ میلیگرم در لیتر و pH مورد نظر، به ارلنی حاوی ۲/۰گرم خاک اره اصلاح شده اضافه شد. ارلنها بر روی شیکر با دور ۱۰۰ rpm دمدت ۳۰ دقیقه قرار گرفت و تکان داده شد. بعد از آن مخلوط درون ارلن، با کاغذ صافی، صاف شده و غلظت آهن (III)

Vol.29, No. 2, 2018

۳,

¹ World Health Organization (WHO)

² Palygorskite nanoparticles

³ Merck

Journal of Water and Wastewater



Fig. 1. SEM images of a) sawdust b), sawdust + HCl c), modified sawdust by diethylenetriamine شکل ۱ – تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی a) خاک اره ا)، خاک اره اسیدی شده c) و خاک اره اصلاح شده با دی اتیلن تری آمین با بزرگنمایی ۵۰۰۰ برابر

این محلول بهوسیله دستگاه جذب اتمی اندازهگیری شد و خروج آهن(III) محاسبه شد. لازم به ذکر است انجام کلیه آزمایش ها در دمای ۱±۲۵ درجه سلسیوس و با سه بار تکرار بوده است.

۳- نتایج و بحث

خاک ار، توسط دی اتیلن تری آمین اصلاح شد. حضور گرو،های آمینی بر روی این جاذب موجب شد این جاذب توانایی زیادی در حذف فلزات سنگین و به ویژه آهن(III) داشته باشد. پژوهش های اولیه نشان داد که جاذب اصلاح شده قادر است بیش از ۸۰ در صد آهن را حذف کند در صورتی که خاک اره چنین توانایی را نداشت و فقط حدود ۳۰ درصد آهن در شرایط یکسان حذف شد. به منظور افزایش کارایی جاذب اصلاح شده، شرایط مختلف شیمیایی و فیزیکی بهینه سازی شد.

۳-۱- نتایج تصویربرداری توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی ' تصاویر SEM خاک اره، خاک اره اسیدی شده و خاک اره اصلاح شده با دی اتیلن تری آمین در شکل ۱ نشان داده شده است. شکل ۱- ۵ مربوط به خاک اره است که دارای یک سطح تقریباً صاف با تعدادی منافذ ریز است. بهنظر می رسد بعد از اسیدی شدن ساختار خاک اره شکسته شده و میکروپرزهایی در سطح آن ایجاد شده است (شکل ۱- ۵). پس از ساخت خاک اره اصلاح شده، تراکم پرزها بسیار بیشتر شده است (شکل ۱- ۵). بنابراین ظرفیت جذب سطحی در خاک اره اصلاح شده افزایش یافته است زیرا جذب سطحی یک پدیده سطحی است و افزایش سطح باعث افزایش ظرفیت جذب سطحی می شود.

¹ Scanning Electron Microscope (SEM)



۲-۳ - بررسی اثر عوامل مؤثر بر حذف آهن (III)
۳-۲-۱ - بررسی اثر PH معلول نمونه بر حذف آهن را نشان شکل ۲ نتایج تأثیر PH محلول نمونه بر حذف آهن را نشان ۵۰ میدهد. برای بهینهسازی PH از محلولهای آهن با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد. در PH بیشتر از ۳/۵ رسوبات ریزی میلی گرم در لیتر استفاده شد. در H بیشتر از ۳/۵ رسوبات ریزی اندان در محلول مشاهده میشد که علت آن تشکیل هیدروکسید آهن بود لذا PH بیشتر از ۳/۵ رسوبات ریزی میلی گرم در لیتر استفاده شد. در H بیشتر از ۳/۵ رسوبات ریزی میلی گرم در لیتر استفاده شد. در PH بیشتر از ۳/۵ رسوبات ریزی اندان ایر ایر ۳ بهعنوان بهینه انتخاب شد. بعضی از پژوهشهای انجام شده در زمینه جـذب سطحـی آهــن (III) دارای PH بهینـه نـزدیک به ۳ میباشـند ; ۲۰۱۱ (Khalil et al. 2013; Soliman et al. 2015; Natkanski et al. 2013)



Fig. 2. Effect of pH on Fe (III) removal (Volume= 100 ml., Initial Fe (III) conc. = 50 mg/L, adsorbent dose = 2.0 g /L, Contact time= 30 min, shaker speed= 100 rpm)
۱۰۰ تغییرات درصد حذف در PH های مختلف (شرایط: حجم میلی لیتر، غلظت آهن(III) ۵۰ گرم در لیتر، زمان تماس ۳۰ دقیقه، دور شیکر ۱۰۰ دور دردقیقه ، دز جاذب ۲/۰ گرم بر لیتر)

Journal of Water and Wastewater

۳-۲-۲-بررسی اثر دز جاذب

یکی از عوامل مهم در فرایند جذب سطحی مقدار جاذب مورد نظر است که هرچه از مقدار جاذب کمتری استفاده شود، مسلماً به صرفهتر خواهد بود به شرط آنکه کارایی لازم را داشته باشد. در این روش دز جاذب در گستره ۲/۰ تا ۴ گرم در لیتر بررسی شد. شکل ۳ نشان میدهد مقدار بسیار اندک جاذب به میزان ۳/۰ گرم در لیتر حدود ۲/۰±۰/۰۸ درصد آهن را از محلول آبی را حذف میکند که این بیانگر کارایی بسیار بالای جاذب است. اما برای آنکه حـذف بالای ۳/۰± ۹۰ درصد صورت گیرد به ۱/۵ گرم در لیتر جاذب نیاز است. بنابراین در مراحل بعدی از ۱/۵ گرم در لیتر جادب استفاده شد.



Fig. 3. Effect of adsorbent dose on Fe (III) removal (Volume=100 ml, Initial Fe (III) conc.= 50 mg/L, pH =3, Contact time= 30 min, shaker speed=100 rpm) (III) (III) شکل ۳– اثر مقادیر مختلف جاذب روی خروج آهن (شرایط: حجم ۱۰۰ میلی لیتر، غلظت آهن(III) ۵۰ گرم در لیتر، زمان تماس ۳۰ دقیقه، دور شیکر ۱۰۰ دور دردقیقه ،pH برابر ۳)

۳–۲–۳– بررسی اثر زمان تماس و دور شیکر بهمنظور بررسی زمان تماس، بازه زمانی ۲ تا ۹۰ دقیقه مورد مطالعه قرار گرفت. در تمامی آزمایش های انجام شده غلظت آهن ۵۰ میلی گرم در لیتر، pH محلول برابر ۳ و دز جاذب ۱/۵ گرم در لیتر بود. نتایج نشان داد که در زمان کوتاه ۲ دقیقه بیشتر از ۲/۰± ۸۵/۱ درصد آهن حذف شد، اما برای حذف بیش از ۳/۰±۰/۰۰ درصد آهن (III)، زمان حداقل ۱۰ دقیقه لازم است (شکل ۴).

بنابراین در مراحل بعدی زمان تماس ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱، این روش در مقایسه با

دیگر روشها دارای زمان تماس کوتاهتری است و ایـن از مزایـای مهم این روش است.

۳-۲-۴- بررسی اثر غلظت اولیه آهن (III)

در تمامی آزمایش های انجام گرفته، از محلول های با غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر استفاده شد. برای بررسی توانایی این روش در خروج آهن (III) با غلظت های دیگر در شرایط بهینه ارائه شده، غلظت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت که نتایج آن در شکل ۵ آمده است. نتایج حاکی از آن است که این جاذب امکان جذب بسیار زیادی در حذف آهن (III) دارد. به طوری که برای محلول بسیار غلیظ آهن (III) (غلظت ۲۰۰ میلی گرم در لیتر) فقط با دز جاذب ۵/۱ گرم در لیتر در مدت کوتاه ۱۵ دقیقه به میزان بیش از ۲/۰±۵/۰۵ درصد آهن حذف شد. مقایسه این روش با روش های دیگر در جدول ۱، نشان می ده د که گستره غلظت این روش ، از بعضی از روش ها بهتر (Oztas et al. 2008) و به بعضی دیگر در دیک است(Oztas et al. 2008).

۲-۳ همدمای لانگمیر و فروندلیچ

در این پژوهش، همدمای لانگمیر و فروندلیچ بـرای بررسـی جـذب سطحی آهن (III) بر روی خاک اره اصلاح شده بـهکـار گرفتـه شـد. هرکدام از همدماها برای غلظت.های اولیه ۱۰۰ تا ۴۰۰ میلیگـرم در



Fig. 4. Effect of contact time on Fe (III) removal (Volume= 100 ml., Initial Fe (III) conc.= 50 mg/L, pH =3, adsorbent dose=1.5 g/L, shaker speed=100 rpm) (III) شکل ۴- اثر زمان تماس روی خروج آهن (شرایط: حجم ۱۰۰ میلی لیتر، غلظت آهن(III) ۵۰ میلی گرم در لیتر، دز جاذب ۱/۵ گرم در لیتر، دور شیکر ۱۰۰ دور دردقیقه ,pH برابر ۳



Journal of Water and Wastewater

Vol.29, No. 2, 2018

Adsorbent	Con. of Fe(III)	Contact time	Removal	q _m	Ref.
	(mg/L)	(min)	(%)	(mg/g)	
Modified chitosan	280	150	Not given	243.54	5
Chitosan/(Polyvinyl	1.12-56	Not given	99	6.16	9
Alcohol)/Zeolite Electrospun					
Composite Nanofibrous					
Aluminum oxide	25-100	50	Not given	14.28	14
Nanopowder					
Modified Montmorillonite and	10-250	Not given	Not given	Mont. :22.6	15
Kaolinite				Kaolinite: 9.3	
Modified Montmorillonite and	10-50	300	55.4	Kaolinite: 9.7	17
Kaolinite				Mont. :23.8	
Raw and treated clinoptilolite	20-400	30-40	Not given	104.0	23
Bentonite and Coal bottom ash	536-3194	30	82	Bentonite : 1667	24
				Coal bottom ash: 182	
Dowex-Marathon resin	2800-8400	50	Not given	23860	25
Modified sawdust	5-300	15	~100	200.0	This
					study

جدول ۱ – مقایسه روش حاضر با دیگر روشهای جذب سطحی برای حذف آهن (III)

$$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_L q_m} + \frac{C_e}{q_m}$$
(1)

۲۵±۲



لیتر، در شرایط بهینه شده قبلی، زمان ۱۲۰ دقیقه و .

معادله ۱ بیان می شو د

Fig. 5. Effect of the initial Fe (III) concentration on Fe (III) removal

(Volume= 100 ml., Contact time= 15 min, pH =3, adsorbent dose=1.5 g/L, shaker speed=100 rpm.) شکل ۵- اثر غلظت اولیه روی خروج آهن(III)



می شود

$$\log q_e = \log K_f + \frac{1}{n} \log C_e$$
 (۲)

که در آن K_f ثابت فروندلیچ است که بستگی به ظرفیت جذب سطحی توسط جاذب دارد. برای بهدست آوردن پارامترهای این ایزوترم تغییرات log qe نسبت به log Ce رسم شد که پارامترها در جدول ۲ قابل مشاهده است.

۳–۳– بررسی سینتیک جذب سینتیک جذب بهمنظور بررسی عوامل مؤثر بر سرعت فرایند جذب مورد بررسی قرار میگیرد. مدلهای سینتیکی شبه مرتبه اول و شبه مرتبه دوم برای مطالعات سینتیک جذب سطحی بهکار میروند. معادله شبه مرتبه اول توسط لاگرگرن در سال ۱۸۹۸ بیان شد. معادله ۳ بهصورت وسیعی در جذب سیستمهای مایع روی بستر حامد استفاده شده است

$$\log (q_e - q_t) = \log q_e - \left(\frac{\kappa_1}{2.303}\right)t \tag{(7)}$$

q_t و q_e بهترتیب مقدار یون جذب شده به ازای واحـد جـرم جـاذب



Fig. 6. Langmuir isotherm for Fe (III) adsorption on modified sawdust شکل ۶- همدمای لانگمیر برای جذب سطحی آهن(III) روی خاک اره اصلاح شده

Table 2. Langmuir and Freundlich isotherm parameters for Fe (III) adsorption on modified sawdust

Langmuir isotherm parameters		Freundlich isotherm parameters		
q _m (mg/g)	k _l (L/mg)	R _L	$\frac{K_{f}}{(mg^{1-n} L^{n}/g)}$	n
200.0	0.03	0.40	24.70	2.77

$$\frac{t}{q_{t}} = \frac{1}{K_{2} q_{e}^{2}} + \frac{1}{q_{e}} t$$
 (f)

modified sawdust

Pseudo- First -order equation				
Concentration	q _e , _{exp}	K ₁	q _e	\mathbb{R}^2
(mg/L)	(mg/g)	(min ⁻¹)	(mg/g)	
50	32.34	0.036	2.11	0.877
200	98.33	0.025	13.36	0.778
Pseudo-second-or	der equatio	n		
Pseudo-second-or Concentration	der equatio q _e , exp	n K ₁	q _e	R ²
Pseudo-second-or Concentration (mg/L)	der equatio q _e , exp (mg/g)	n K ₁ (min ⁻¹)	q _e (mg/g)	R ²
Pseudo-second-or Concentration (mg/L) 50	rder equation q _e , exp (mg/g) 32.34	K ₁ (min ⁻¹) 0.137	q e (mg/g) 32.25	R ² 0.999

۳-۴- حذف آهن در نمونه های واقعی

برای مطالعه نمونههای واقعی، چهار گونه آب شامل آب شرب شهری، آب رودخانه، آب چاه و پساب صنعتی انتخاب شد. ابتدا در تعیین غلظت آهن (III) نمونههای فوق، مشخص شد بهجز پساب صنعتی که دارای ۰/۵۸ میلیگرم در لیتر آهن (III) است، در بقیه



شد و بعد از آن در شرایط بهینه ذکر شده عمل حذف انجام شد. جذب محلول صاف شده با دستگاه جذب اتمی اندازهگیری شد و درصد خروج آهن (III) محاسبه شد که در تمامی موارد خروج آهن (III) به میزان بالای ۹۳ درصد بهدست آمد و این بیانگر کارایی جاذب در حذف آهن از نمونههای واقعی است (جدول ۴).

۴-نتیجهگیری

در این پژوهش یک روش ساده، سریع، مؤثر و دوستدار محیط زیست برای حذف آهن (III) از نمونههای آبی توسعه یافت. نتایج نشان داد که خاکاره اصلاح شده با دیاتیلن تری آمین، می تواند بهعنوان یک جاذب بسیار مؤثر برای حذف آهن (III) از نمونه های آبی مختلف مورد استفاده قرار گیرد. عکس های SEM به روشنی نشان داد که بعد از اصلاح، تعداد زیادی پرز در سطح جاذب تولید شده است. تولید پرز در سطح جاذب به معنی افزایش سطح جاذب مىباشد؛ از آنجايي كه فرايند جذب سطحي ارتباط مستقيم با سطح جاذب دارد، بنابراین افزایش سطح جاذب موجب افزایش کارایی جاذب می شود. از طرف دیگر دی اتیلن تری آمین متصل شده به خاک اره، دارای اتمهای N است که یک نقش کلیدی در اتصال به آهن (III) دارند. به این دلایل می توان گفت که این جاذب شرایط فیزیکی و شیمیایی بسیار مناسبی برای حذف آهن (III) از نمونههای آبی دارد. نتایج نشان داد که در شرایط بهینه ۹۵/۰±۰/۳ درصد آهلن (III) به غلظت ۵۰ میلی گرم در لیتر و حدود ۰/۵±۰/۰ درصد آهن (III) به غلظت ۵ و ۱۰ میلی گرم در لیتر حذف شد. از مزایای مهم این روش زمان کوتاه آن است. بیشترین ظرفیت جذب سطحی بهدست آمده از معادله لانگمیر ۲۰۰ میلیگرم بر گرم بود که نسبت به بعضی از روش های مقایسه شده بیشتر است. بنابراین این جاذب برای جداسازی و حذف آهن(III) بسیار مؤثر است.

۲۰۰ جذف آهن(III) از نمونه های واقعی (شرایط: حجم ۱۰۰ میلیلیتر، دز جاذب ۱/۵ گرم در لیتر، دور شیکر ۱۰۰ دور دردقیقه، میلیلیتر، دز جاذب ۱/۵ گرم در لیتر، دور شیکر ۱۰۰ دور دردقیقه، رابر ۳) زمان تماس ۱۵ دقیقه PH، برابر ۳) Table 4. Fe (III) removal from real samples (Volume=100 ml., absorbent dose=1.5 g/l, shaker

Sample Added Found ^a Becovery					
Sample	(ng/mL)	round (ng/mL)			
The state	(ng/mL)	(ng/mL)	(%)		
Tap water	0	Not	~ 100		
	50	detected	~ 100		
	100	Not	93.9		
		detected			
		6.1±0.1			
River water 1	0	Not	~ 100		
	50	detected	~ 100		
	100	Not	95.6		
		detected			
		4.4±0.1			
River water 2	0	Not	~ 100		
	50	detected	~ 100		
	100	Not	93.8		
		detected			
		6.2±0.1			
Well water	10	Not	~ 100		
	50	detected	~ 100		
	100	Not	98.5		
		detected			
		1.5 ± 0.05			
Industrial	10	Not	~ 100		
wastewater	50	detected	~ 100		
	100	Not	93.2		
	100	detected	10.2		
		6.8 ± 0.2			

نمونهها غلظت آهن در زير حد تشخيص بود.

با توجه به اینکه برای تهیه نمونه ها، لازم است مقدار نمونه حقیقی درصد قابل توجهی از حجم کل ظرف باشد، در این روش بجای به حجم رساندن محلول های مختلف توسط آب مقطر، محلول ها به وسیله آب شهر دزفول، آب رودخانه دز، آب رودخانه سیمره خرم آباد، آب چاه و پساب کارخانه صنعتی به حجم رسانده

References

- Aboul-Magda, A.A.S. & Al-Haddad, O.A., 2012, "Kinetics and mechanism of ion exchange of Fe³⁺, Cd²⁺ and Na⁺/H⁺ on Lewatite S-100 cation exchanger in aqueous and aqueous-detergent media", *J. Saudi Chem. Soci.*, 16, 395-404.
- Ahmed, S.A., 2011, "Batch and fixed-bed column techniques for removal of Cu(II) and Fe(III) using carbohydrate natural polymer modified complexing agents", *Carbohyd. Polym.*, 83, 1470-1478.
- Bhattacharyya, K.G. & Gupta, S.S., 2008, "Adsorption of Fe(III), Co(II) and Ni(II) on ZrO-kaolinite and ZrOmontmorillonite surfaces in aqueous medium", *Colloid Surface A*, 317, 71-79.

Journal of Water and Wastewater

مجله آب و فاضلاب ۲۹،۲۹۷ میلاره ۲، سال ۱۳۹۷

- Bhattacharyya, K.G. & Gupta, S.S., 2009, "Calcined tetrabutylammonium kaolinite and montmorillonite and adsorption of Fe(II), Co(II) and Ni(II) from solution", *Appl. Clay Sci.*, 46, 216-221.
- Elhami, Sh. & Sharifi, M., 2014, "Development of an efficient procedure for the preconcentration of copper(II) after solid phase extraction on modified sawdust", *Bull. Chem. Soc. Ethiop.*, 28(3), 321-328
- Habiba, U., Afifi, A.M., Salleh, A. & Chin Ang, B., 2017, "Chitosan/(polyvinyl alcohol)/zeolite electrospun composite nanofibrous membrane for adsorption of Cr⁶⁺, Fe³⁺ and Ni²⁺", *Journal of Hazardous Materials*, 322, 182-194.
- Han, R., Ding, D., Xu, Y., Zou, W. & Wang, Y., Li, Y. & Zou, L., 2008, "Use of rice husk for the adsorption of congo red from aqueous solution in column mode", *Bioresource Technol.*, 99, 2938-2946.
- Kasim, N., Mohammad, A.W. & Sheikh Abdullah, S.R., 2016, "Performance of membrane filtration in the removal of iron and manganese from Malaysia's groundwater", *Membr. Water Treat.*, 7(4), 277-296.
- Khalil, M.M.H., Al-Wakeel, K.Z., Abd El Rehim, S.S. & Abd El Monem, H., 2013, "Efficient removal of ferric ions from aqueous medium by amine modified chitosan Resins", *J. Environ. Chem. Eng.*, 1, 566-573.
- Kousalya, G.N., Rajiv Gandhi, M., Sairam Sundaram, C. & Meenakshi, S., 2010, "Synthesis of nanohydroxyapatite chitin/chitosan hybrid biocomposites for the removal of Fe(III)", *Carbohyd. Polym.*, 82, 594-599.
- Kumar Rana, V., Selvaraj, M., Parambadath, S., Chu, S.W., Park, S.S., Mishra, S., et al., 2012, "Heterocyclic triurea isocyanurate bridged groups modified periodic mesoporous organosilica synthesized for Fe(III) adsorption", J. Solid State Chem., 194, 392-399.
- Aly, M. A.S., Kamel, M.M., Hamdy, A., Mohammed, K.Z. & Abbas, M.A., 2012, "Reverse osmosis pretreatment: removal of iron in groundwater desalination plant in shupramant-Giza - A case study", *Curr. World Environ.*, 7(1), 23-32
- Mahmoud, M. A., 2015, "Kinetics and thermodynamics of aluminum oxide nanopowder as adsorbent for Fe (III) from aqueous solution", *Beni-Suef Univ. J. Bas. Appl. Sci.*, 4, 142-149
- Marcu, C., Axente, D. & Balla, A., 2016, "Study of Fe(III) adsorption onto Dowex-Marathon resin, as a rate determining step of the U(IV) oxidation in 235U enrichment column", *Journal of Radioanal. Nucl. Chem.*, 308, 179-185.
- Middea, A., Fernandes, T.L.A.P., Neumann, R., Gomes, O.F.M. & Spinelli, L.S., 2013, "Evaluation of Fe(III) adsorption onto palygorskite surfaces", *Appl. Surf. Sci.*, 282, 253-258.
- Namdeo, M. & Bajpai, S.K., 2008, "Chitosan-magnetite nanocomposites (CMNs) as magnetic carrier particles for removal of Fe(III) from aqueous solutions", *Colloid Surface A*, 320, 161-168.
- Natkański, P., Kuśtrowski, P., Białas, A., Piwowarska, Z. & Michalik, M., 2013, "Thermal stability of montmorillonite polyacrylamide and polyacrylate nanocomposites and adsorption of Fe(III) ions", *Appl. Clay Sci.*, 75-76, 153-157.
- Orakwue, E.O., Asokbunyarat, V., Rene, E.R., Lens, P.N.L. & Annachhatre, A., 2016, "Adsorption of iron(II) from acid mine drainage contaminated groundwater using coal fly ash, coal bottomAsh, and bentonite clay", *Water Air Soil Pollut.*, 227, 74-86.
- Oztas, N.A., Karabakan, A. & Topal, O., 2008, "Removal of Fe(III) ion from aqueous solution by adsorption on raw and treated clinoptilolite samples", *Micropor. Mesopor. Mat.*, 111, 200-205.
- Papassiopi, N., Vaxevanidou, K. & Paspaliaris, I., 2010, "Effectiveness of iron reducing bacteria for the removal of iron from bauxite ores", *Miner. Eng.*, 23, 25-31.
- Soliman Aboul-Magd, A.A., Al-Rashed Al-Husain, S. & Ahmed Al-Zahrani, S., 2011, "Batch adsorptive removal of Fe(III), Cu(II) and Zn(II) ions in aqueous and aqueous organic–HCl media by Dowex HYRW2-Na polisher resin as adsorbents", *Arab. J. Chem.*, doi:10.1016/j.arabjc.2011.04.002
- Soliman, E.M., Ahmed, S.A. & Fadl, A.A., 2011, "Reactivity of sugar cane bagasse as a natural solid phase extractor for selective removal of Fe(III) and heavy-metal ions from natural water samples", *Arab. J. Chem.*, 4, 63-70.
- Ucer, A., Uyanik, A., Cay, S. & Ozkan, Y., 2005, "Immobilisation of tannic acid onto activated carbon to improve Fe(III) adsorption", *Separat. Purif. Technol.*, 44, 11-17.
- Vasudevan, I. S., Jayaraj, J., Lakshmi, J. & Sozhan, G., 2009, "Removal of iron from drinking water by electrocoagulation: Adsorption and kinetics studies", *Korean Journal of Chem. Eng.*, 26(4), 1058-1064.
- Wang, M., Xu, L., Zhai, M., Peng, J., Li, J. & Wei, G., 2008, "γ-ray radiation-induced synthesis and Fe(III) ion adsorption of carboxymethylated chitosan hydrogels", *Carbohyd. Polym.*, 74, 498-503.

Journal of Water and Wastewater