Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 5, No. 2, PP. 14-20, Summer 2020
DOI: 10.22112/jwwse.2020.192157.1162

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال پنجم، شماره ۲، صفحات ۱۴-۲۰، تابستان ۱۳۹۹

Research Paper

Investigation of the Absorption of Metallic and Non-Metallic Constituents from Water Used in Jajarm Alumina Factory Using Two Types of Nano Alumina

Emad Garmeh[1], Misagh Ghamari[1*] and Avazverdy Gooklani[2]
1- Nano Technology Laboratory, Faculty of Engineering, Esfarayen University of Technology, Esfarayen, Iran.
2- Laboratory Unit, Jajarm Alumina Factory, Jajarm, Iran.
* Corresponding author, Email: ghamari_iust@yahoo.com

Received: 02/07/2019
Revised: 18/02/2020
Accepted: 04/03/2020

Abstract

Due to the adverse effects of some metallic and non-metallic components on water properties, this paper describes the absorption of calcium, iron, silica, chlorine and water hardness from the water used in Jajarm alumina factory by using two types of alumina nanopowders. Both types of nano-alumina have similar properties except that they are made in two different ways. The time parameter was selected as the main variable in the adsorption process. To do this, first a certain amount of alumina nanoparticles were placed in a certain amount of water consumed by the alumina plant and then the sample was placed on magnetic stirrer for 60, 120, 180, 240, 360 and 480 minutes for complete homogenization. The temperature of the solutions was constant at 25 °C and the pH of the solutions was constant at 7.6. The results showed that the average absorption percent of silica, iron, calcium, hardness and chlorine by alumina A1 and A2 were 89.73-35, 100-100, 29.73-32.43, 11.22-16.45 and 10.37-6.67, respectively. As the contact time increases, the adsorption increases. The results of the experiments also showed that alumina nanopowder can be used as an effective method for absorbing the mentioned species and reducing the hardness of aqueous solutions.

Keywords: Adsorption, Chlorine, Hardness, Iron, Silica.

مقاله پژوهشی

بررسی قابلیت کاهش سختی، کلسیم، آهن، سیلیس و کلرور از آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای جاجرم با استفاده از دو نوع نانو آلومینا

عماد گرمه[۱]، میثاق قمری[۱*] و عوض وردی گوکلانی[۲]
۱- آزمایشگاه فناوری نانو، دانشکده فنی و مهندسی، مجتمع آموزش عالی اسفراین، اسفراین، ایران.
۲- واحد آزمایشگاه، شرکت آلومینای جاجرم، جاجرم، ایران.
* نویسنده مسئول، ایمیل: ghamari_iust@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۱۱
تاریخ اصلاح: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۱۴

چکیده

با توجه به اثرات نامطلوب برخی اجزای فلزی و غیر فلزی بر خواص آب، این مقاله جذب اجزای کلسیم، آهن، سیلیس، کلرور و سختی از آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای جاجرم را با استفاده از دو نوع نانو پودر آلومینا شرح می‌دهد. هر دو نوع نانو آلومینا خواص مشابهی دارند با این تفاوت که از دو روش متفاوت ساخته شده‌اند. پارامتر زمان به‌عنوان متغیر اصلی در فرآیند جذب انتخاب شد. برای این کار ابتدا مقدار مشخصی از نانو ذرات آلومینا در مقدار مشخصی از آب مصرفی کارخانه آلومینا قرارگرفته و سپس برای همگن‌سازی کامل، نمونه در مدت زمان‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ دقیقه روی هم‌زن مغناطیسی قرارگرفت. دمای محلول‌ها ثابت و برابر با ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH محلول‌ها نیز در تمام نمونه‌ها ثابت و برابر ۷/۶ بود. نتایج نشان داد که میانگین درصد جذب سیلیس، آهن، کلسیم، سختی و کلروراید توسط آلومینای A1 و A2 به‌ترتیب ۸۹/۷۳-۳۵، ۱۰۰-۱۰۰، ۲۹/۷۳-۳۲/۴۳، ۴۵/۲۲-۱۶/۱۱ و ۱۰/۳۷-۶۷-۶ است. با افزایش زمان تماس، میزان جذب افزایش می‌یابد. هم‌چنین نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها مشخص کرد که می‌توان از نانو پودر آلومینا به‌عنوان یک روش مؤثر برای جذب گونه‌های اشاره شده و کاهش سختی از محلول‌های آبی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: جذب سطحی، سختی، کلرور، آهن، سیلیس

۱- مقدمه

آب تمیز یکی از ضروری‌ترین مواد مورد نیاز در حوزه سلامتی انسان به‌شمار می‌رود. علاوه‌بر این، در صنایعی که تمیزی آب روی کیفیت محصول اثرگذار است، اهمیت زدودن مواد شیمیایی مضر، نمایان‌تر می‌شود. بنابراین امروزه تصفیه آب به یکی از موضوعات جذاب پژوهشگران در حوزه‌های مختلف تبدیل شده است (Fane et al., 2015; Werber et al., 2016). با توجه به وجود منابع آلوده‌کننده انواع آب که در محیط‌های مختلف به‌ویژه در حوزه صنعت وجود دارد، مسئله خروج آلودگی‌ها اهمیت انواع پژوهش در این بخش را دو چندان کرده است. استفاده از لوله‌های پایه آهنی، استفاده از مواد شیمیایی مختلف در خطوط مختلف تولید، وجود اقلیم‌های متنوع و حضور ضایعات رها شده در بخشی از کارخانجات که توانایی ایجاد انواع یون‌ها در حضور آب را دارند، می‌توانند موجبات آلودگی آب را فراهم آورند.

دانشمندان و مهندسین آب در حال تحقیق در مورد افزایش کیفیت آب هم‌سو با افزایش رشد مصرف آن با توجه به مقررات و استانداردهای سخت‌گیرانه هستند. با توجه به اندازه‌های بسیار کوچک املاح موجود در آب که گاهی به محدوده چند انگستروم می‌رسد، هرگونه تلاش به‌منظور از میان بردن این اجزا نیازمند مطالعات گسترده در مقیاس‌های بسیار ریز است.

در سال‌های اخیراستفاده از فناوری نانو در برنامه‌های کاربردی محیط‌زیستی برای تصفیه آب و فاضلاب مورد توجه قرار گرفته است (Dervin et al., 2016; Chaturvedi and Dave, 2019). مواد نانومقیاس در تصفیه آب باعث عملکرد فوق‌العاده‌ای می‌شوند که ممکن است به ویژگی‌های منحصربه‌فرد آن‌ها نظیر نسبت سطح به حجم زیاد، اندازه بسیار ریز و ظرفیت بالا برای جذب، نسبت داده شود. مشکلات آلودگی آب موجود، از جمله کیفیت آب، می‌تواند با استفاده از نانوذرات، نانوکاتالیست‌ها، غشاهای کاتالیزوری نانوساختار و بسیاری از محصولات و فرآیندهای تولید شده از پیشرفت فناوری نانو بهبود یابد (Zhang et al., 2016). جذب از طریق نانو مواد دارای مزیتی است که دیگر روش‌ها کمتر دارا هستند و آن این‌که در این روش می‌توان در محلول‌هایی که غلظت یون‌ها کم است نیز عمل جذب را به‌خوبی انجام داد (Wang et al., 2016). تعداد زیادی از نانومواد به‌عنوان جاذب برای جداسازی آلاینده‌ها از فاز مایع به‌کار گرفته شده‌اند که در این بین نانو اکسید آلومینیوم به‌دلیل ارزانی و ویژگی‌های برجسته ترموشیمیایی-مکانیکی مورد توجه جدی قرارگرفته است (Savage and Diallo, 2005; Shivaprasad et al., 2018). ویژگی برجسته و مهم تعیین‌کننده خواص سطحی آلومینا، تعداد اتم‌های آلومینیوم با کوردیناسیون پایین است که به‌صورت توانایی دفع یا جذب پروتون مطرح می‌شود. جذب سطحی آب بر روی سطح ذرات آلومینا به‌صورت واکنش بین یون‌های آلومینیوم (اسید لوئیز) و یون‌های هیدروکسیل (باز لوئیز) درنظر گرفته می‌شود. گروه‌های هیدروکسیل تشکیل شده بر روی سطح آلومینا به‌عنوان مکان‌های اسیدی برونستد عمل می‌کنند. اما با قرارگرفتن آلومینا در محیط‌های آبی گروه‌های هیدروکسیل روی سطح آن تشکیل می‌شوند که توانایی رفتار به‌عنوان اسید یا باز برونستد در شرایط خاص را دارا هستند. به‌همین دلیل آلومینا را در دسته مواد آمفوتر قرار می‌دهند که در شرایط خاصی می‌توانند یون‌های متفاوت موجود در محیط‌های آبی را جذب نمایند.

از ذرات آلومینا تاکنون به‌منظور جذب برخی المنت‌ها از آب مانند کلسیم، سرب، مس (Karabelli et al., 2011)، کروم (Dubey et al., 2016)، آهن، آرسنیک (Kim et al., 2004)، سیلیس (Bouguerra et al., 2007)، نیترات (Bhatnagar et al., 2010) و موارد دیگر استفاده شده است (Mahmoud et al., 2010).

در این پژوهش با استفاده از ذرات ریز گاما اکسید آلومینیوم، جذب و در صورت امکان حذف سیلیس، آهن، کلسیم، سختی و کلرور از آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای جاجرم مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به این‌که روش‌های سنتز گوناگون می‌توانند ویژگی‌های متفاوتی را به پودر جاذب معرفی نمایند، در این‌جا دو نوع گاما آلومینا که با روش‌های احتراقی و سل ژل تهیه شده‌اند به‌عنوان جاذب استفاده شده و تاثیر نوع جاذب و زمان مورد نیاز برای جذب مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دو نمونه نانو پودر آلومینا (نانو ذرات آلومینا تولیدشده توسط شرکت فناوران دانش گستر سپهرآیین و نانو آلومینا تولید شده در شرکت آلومینای ایران) به‌عنوان جاذب در حذف عناصر فلزی و غیرفلزی استفاده شده است. برای نمونه تهیه‌شده از شرکت فناوران دانش‌گستر سپهرآیین اندازه ذرات در محدوده ۳۸ و ۸۶ نانومتر، BET=87 مترمربع بر گرم و هم‌چنین برای نمونه تهیه‌شده از شرکت آلومینای ایران BET=75 مترمربع برگرم و ذراتی با ابعاد کمتر از ۲۰۰ نانومتر مورد استفاده قرارگرفته است. کلیه مراحل آزمایش در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH یکسان انجام شد. در این تحقیق روش اندازه‌گیری کلسیم، سختی (روش تیتراسیون با E.D.T.A)، سنجش کلرور (روش موهر یا آرژانتومتری با استفاده از $AgNO_3$) و هم‌چنین برای سیلیس و آهن با استفاده از اسپکتروفتومتر UV/Vis به‌ترتیب در طول موج‌های ۸۱۵ و ۵۰۰ نانومتر انجام شده است که براساس روش‌های مندرج در مرجع استاندارد موجود در آزمایشگاه آب کارخانه آلومینای ایران-جاجرم

صورت‌گرفته است. دستگاه اسپکتروفتومتر UV/Vis مدل DR2800 کمپانی HACH، به‌منظور اندازه‌گیری میزان جذب عناصر فلزی و غیرفلزی و pH سنج مدل Ionometer–MS 31 ساخت کشور چک برای تعیین pH مورد استفاده قرارگرفتند. در تمام مراحل تحقیق، به‌منظور تعیین میزان جذب عناصر فلزی و غیرفلزی، آزمایشات جذب در حضور ۰/۲ گرم جاذب آلومینایی و میزان ۳۹۹/۸۰ میلی‌لیتر آبی که تمام روش‌هایش قبلا مورد آزمایش قرارگرفته است، در مدت زمان‌های ۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ دقیقه صورت گرفت. عمل هم‌زدن مایع به‌منظور ایجاد اختلاط مناسب پودر با استفاده از دستگاه هم‌زن مغناطیسی صورت‌گرفت. دهانه بشرهای استفاده‌شده به‌منظور ممانعت از تأثیر هوای محیط بر انجام واکنش به‌دقت پوشش داده‌شد. نتایج حاصل از تحلیل آب مصرفی کارخانه آلومینا که در آزمایشگاه آب انجام شده است، در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱- مقدار پارامترهای فیزیکی و شیمیایی موجود در آب مصرفی کارخانه آلومینا

پارامتر	SiO_2 ppm	Cl^- ppm	Fe ppb	Ca^{2+} ppm	T.H mg/L	EC µS/cm	pH
مقدار پارامتر	۱۸/۵	۶۷۵	۳۷	۳۷۰	۷۶۶	۲۸۶۰	۷/۶

در این‌جا منظور از EC هدایت الکتریکی برحسب میکروزیمنس بر سانتی‌متر و منظور از T.H سختی کل آب است که به مجموع یون‌های کلسیم و منیزیم موجود در آب گفته می‌شود.

شکل ۱- دستگاه های pH متر و EC مورد استفاده

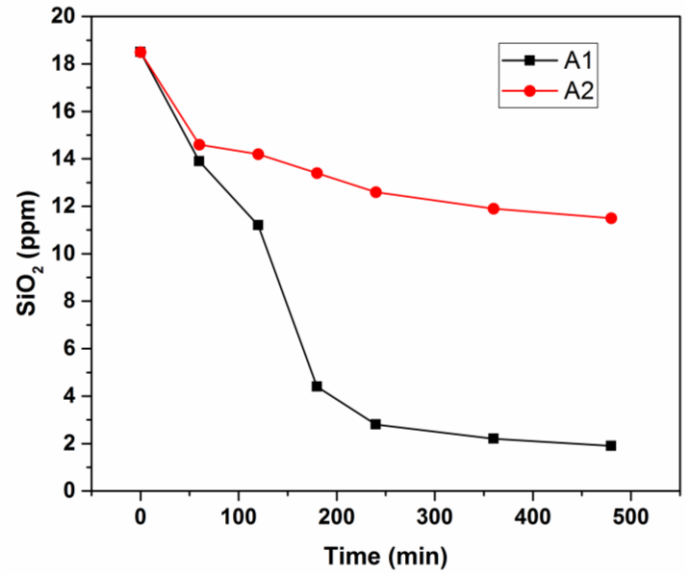
تصویر دستگاه‌های pH متر و EC مورد استفاده در شکل ۱ نشان داده شده است. تمامی تحلیل‌های انجام‌شده در کارخانه آلومینای جاجرم به انجام رسیده است. برای هرکدام از آزمایش‌ها یک مرتبه آزمون با دقت بالا انجام شد. غلظت جاذب آلومینایی ۰/۲ گرم در ۳۹۹/۸۰ میلی‌لیتر آب در تمامی آزمون‌ها درنظر گرفته‌شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثر زمان تماس بر کارایی نانو پودرهای مختلف در حذف عناصر فلزی و غیرفلزی

۳-۱-۱- بررسی اثر زمان تماس بر کارایی نانو پودرهای مختلف در جذب سیلیس

سیلیس در آب‌های طبیعی تا کمتر از ppm ۱۰۰ وجود دارد. در شرایط قلیایی مقدار اندکی سیلیس می‌تواند در آب حل شود اما در حالت اسیدی تقریبا نامحلول است. رسوب سیلیس در برخی تجهیزات مانند بویلرها می‌تواند راندمان آن‌را کاهش داده و باعث خوردگی آن شود. با افزایش دما و فشار بویلر مقادیر مجاز سیلیس در آب باید کاهش یابند. در این مطالعه اثر زمان تماس (۶۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰ و ۴۸۰ دقیقه) در pH و جرم ثابت جاذب بر جذب سیلیس بررسی شد. اثر پارامترهای زمان و نوع جاذب بر جذب سیلیس در شکل ۲ نشان داده شده است.

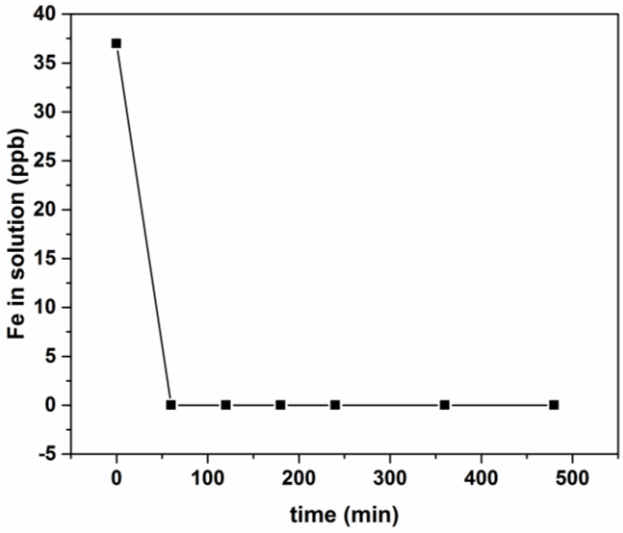


شکل ۲- تأثیر زمان بر میزان جذب سیلیس توسط A1 و A2 در pH ثابت

نتایج بیانگر این است که با افزایش زمان تماس، میزان جذب به‌طور معمول افزایش می‌یابد. میزان جذب با نمونه نانو آلومینا تهیه‌شده از شرکت سپهرآیین (A1) در مدت زمان‌های تعیین‌شده به‌ترتیب مقادیر ۱۸/۵، ۱۳/۹، ۱۱/۲، ۴/۴ ، ۲/۸، ۲/۲ و ۱/۹ بوده و دارای روند افزایشی جذب است. در شرایط مشابه برای نانو آلومینای تهیه‌شده در شرکت آلومینای ایران (A2) به‌ترتیب مقادیر ۱۸/۵، ۱۴/۶، ۱۴/۲، ۱۳/۴، ۱۲/۶ و ۱۱/۹ بوده و میزان جذب برای این نمونه نیز با گذشت زمان افزایش یافته است (شکل ۲). براساس نتایج نمونه A1 دارای راندمان بیشتری در حذف سلیس در زمان مساوی است. در پژوهش دیگری که به‌منظور جذب سیلیس از آب انجام شده است pH در محدوده ۸-۸/۵ بهترین نتایج جذب را در غلظت سیلیس ppm ۵۰ ارائه می‌دهد. حدود ۹۰٪ از سیلیس توسط مقدار ۲/۵ گرم جاذب از محلول جذب شد (Bouguerra et al., 2007).

۳-۱-۲- تأثیر زمان تماس روی میزان حذف آهن توسط نانو ذرات آلومینا

آهن از جمله فلزاتی است که معمولاً در آب چاه‌ها به میزان قابل‌توجهی وجود دارد. علت این موضوع نیز، وجود بستر سنگی در آب‌های زیرزمینی است. آهن در چاه‌های با عمق بالا بیشتر یافت می‌شود. به‌این دلیل که در این چاه‌ها، آب مدت زمان بیشتری با سطوح سنگی حاوی این فلز در تماس بوده است. البته در مناطقی که حفر معادن در آن وجود دارد نیز، امکان حضور این عنصر در آب بیشتر می‌شود. هم‌چنین احتمال حضور آهن در مخازنی که با دمای بالا کار می‌کنند نیز بالا است.



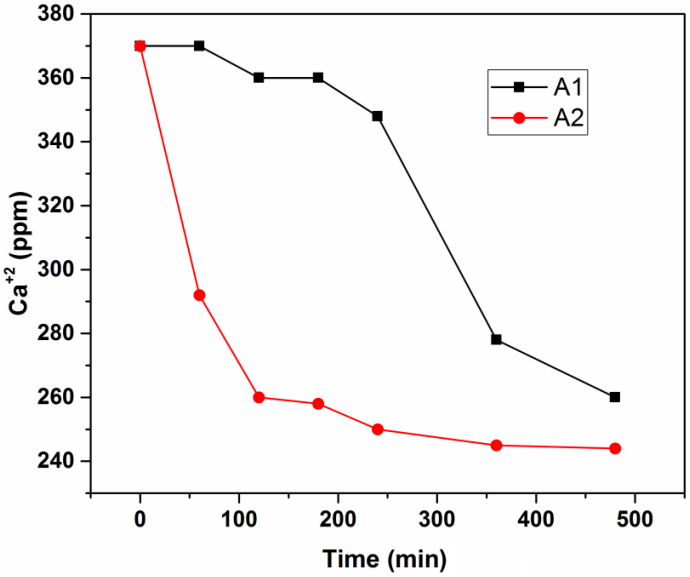
شکل ۳- تأثیر زمان در حذف آهن (pH ثابت A1 و A2)

در این مرحله اثر زمان‌های تماس مختلف در pH ثابت و میزان نانو ذرات آلومینا ۰/۲ گرم برای حذف آهن موجود در آب بررسی شد. نتایج حاصل نشان‌داد که با افزایش زمان تماس، میزان حذف افزایش می‌یابد به‌طوری‌که در همان ۶۰ دقیقه اولیه

واکنش جذب، مقدار آهن موجود در آب از ppb ۳۷ به صفر رسید. میزان جذب در تمام زمان‌های آزمایش ۱۰۰٪ بوده که نشان‌دهنده این است که هر دو نمونه نانو پودر استفاده شده توانایی حذف کامل آهن موجود در آب را دارند (شکل ۳). در پژوهشی که پلی آنیلین روی ذرات نانو آلومینا پوشش داده شده بود راندمان جذب ۸۳٪ از محلول ppm ۵۰ آهن در pH ۳ به‌دست آمد (حاجی زاده، ۱۳۹۳).

۳-۱-۳- تأثیر زمان تماس روی میزان جذب کلسیم

پیش از ورود آب به مخازن و دیگ‌ها باید سختی آن را کنترل کرد. آب سخت می‌تواند به جداره دیگ‌های بخار آسیب‌زده، باعث خوردگی و ایجاد قشر آهکی بر روی جداره دیگ‌ها و تأسیسات مرتبط شود. در این مطالعه اثر زمان تماس از شروع تا ۴۸۰ دقیقه در pH ثابت، برای تعیین میزان جذب کلسیم از آب مصرفی کارخانه آلومینای ایران مورد بررسی قرار گرفت. شکل ۴ تأثیر زمان تماس بر روی کارایی حذف را نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار برای نمونه A2 مشخص است وقتی زمان تماس از صفر به ۶۰ دقیقه افزایش می‌یابد، کارایی حذف افزایش می‌یابد که این‌زمان همان زمان تعادل در آزمایش‌ها است.



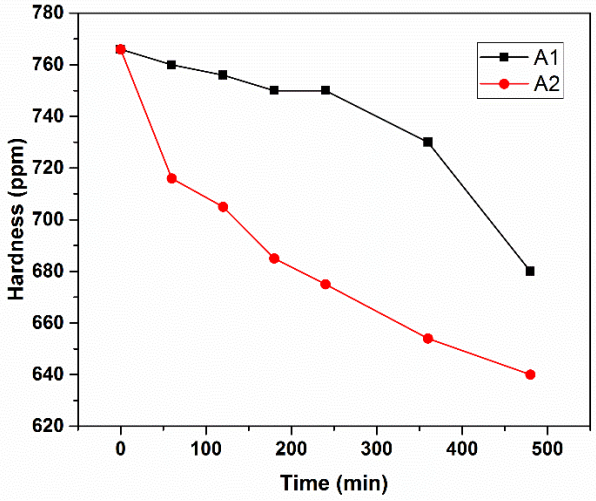
شکل ۴- تأثیر زمان تماس روی میزان جذب کلسیم توسط دو نمونه A1 و A2

میزان جذب در زمان‌های اولیه زیاد بوده ولی بعد از مدتی ثابت می‌شود که نشان‌دهنده این است که واکنش به‌حالت تعادل رسیده است. در این‌حال برای نمونه A1 در مدت زمان‌های اولیه واکنش صفر تا ۲۴۰ دقیقه میزان جذب کلسیم خیلی کم بوده و منحنی شیب آرامی دارد. ولی در مرحله بعدی جذب افزایش می‌یابد و به‌طور مشخص جذب سریع‌تر از مراحل اولیه صورت‌گرفته و منحنی شیب تندتری دارد. لذا بیشتر شدن راندمان حذف در این مرحله به‌خاطر آن است که با افزایش زمان، برای جاذب فرصت بیشتری به‌وجود می‌آید تا با یون‌های کلسیم تماس پیدا کرده و آن‌ها را جذب کند. مقایسه دو نوع جاذب موردنظر نشان‌داد که نمونه A1 نسبت به نمونه A2 مدت زمان جذبش دیرتر شروع می‌شود ولی بعد از شروع جذب، راندمان بالاتری دارد. هم‌چنین جاذب نیز در مدت زمان‌های دیرتری اشباع می‌شود. McBride (1978) برای جذب کلسیم از آلومینای بی‌شکل در مقادیر pH کم استفاده کرد که عدم جذب مشاهده شد.

۳-۱-۴- بررسی اثر زمان تماس بر کارایی جذب سختی

وجود سختی آب می‌تواند منجر به ته‌نشینی رسوبات در انواع لوله‌ها و تاسیسات شده که این امر در دراز مدت می‌تواند عایق‌شدن تاسیسات را به‌دنبال داشته باشد که به‌نوبه خود مانع از انتقال حرارت به آب درون بویلرها می‌شود. این امر علاوه‌بر کاهش راندمان حرارتی می‌تواند باعث گرمایش بیش از حد فلز نیز بشود.

شکل ۵، تاثیر زمان تماس بین نانو ذرات آلومینا به‌عنوان جاذب را بر مقدار جذب سختی نشان می‌دهد. بر این اساس، با افزایش زمان تماس، مقدار جذب سختی توسط نانو ذرات آلومینا افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش زمان تماس، یون‌های موجود در آب فرصت بیشتری دارند تا توسط ذرات آلومینا جذب شوند. هم‌چنین این نمودار نشان می‌دهد که نمونه A2 در ۶۰ دقیقه ابتدایی آزمایش فرآیند جذب بسیار سریع بوده و میزان سختی از ppm ۷۶۶ به ppm ۷۱۶ رسیده است. پس از آن، در مرحله بعدی یعنی بعد از ۶۰ تا ۴۸۰ دقیقه سرعت جذب توسط جاذب A2 با نرخ کمتری نسبت به ۶۰ دقیقه اول ادامه می‌یابد.

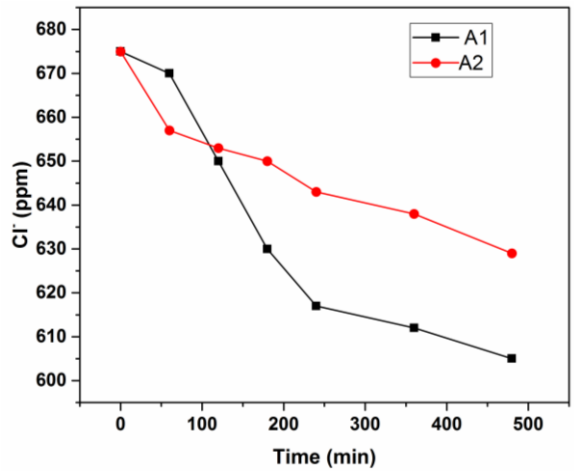


شکل ۵- تأثیر زمان تماس روی میزان جذب سختی آب

حال برای نمونه A1 با توجه به شکل در مدت زمان‌های صفر تا ۲۴۰ دقیقه میزان جذب سختی خیلی آرام بوده و منحنی شیب کمتری دارد، که حتی در زمان ۱۸۰ تا ۲۴۰ دقیقه به تعادل رسیده است. ولی در مرحله بعدی جذب افزایش می‌یابد. به‌طور مشخص جذب سریع‌تر از مراحل اولیه صورت‌گرفته و منحنی شیب تندتری دارد. لذا بیشتر شدن راندمان حذف در این مرحله به‌خاطر آن است که با افزایش زمان، برای جاذب فرصت بیشتری به‌وجود می‌آید تا با یون‌هایی که عامل سختی (همان کلسیم و منیزیم) هستند تماس پیدا کرده و آن‌ها را جذب نماید. در هر صورت با افزایش pH مقدار جذب یون‌های فلزی قلیایی خاکی افزایش می‌یابد و این جذب در pH های نزدیک نقطه ایزوالکتریک و کمتر از آن کاهش می‌یابد. تمایل به جذب یون‌های فلزی قلیایی خاکی به سطح ذرات آلومینا در منیزیم بیشترین و در باریم کمترین است که نشان‌دهنده این است که پایداری کمپلکس‌های سطحی با افزایش شعاع یونی کاهش می‌یابد (Huang and Stumm, 1973).

۳-۱-۵- تأثیر زمان تماس روی جذب کلرور

کلرور در هنگام حضور در آب با آن واکنش داده و اسیدی تولید می‌کند که خورنده بوده و برای سلامتی انسان مضر است. شکل ۶ تأثیر تغییرات مدت زمان تماس بر میزان جذب کلرور را نشان می‌دهد. با افزایش زمان تماس به‌دلیل افزایش فرصت و شانس تماس یون‌های کلرور با ذرات جاذب، مقدار جذب افزایش می‌یابد. تأثیر زمان تماس در فواصل زمانی صفر تا ۴۸۰ دقیقه برای هر دو جاذب A1 و A2 با کلرور بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۶ مشخص شده است برای جاذب تهیه‌شده از شرکت سپهرآیین (A1) با افزایش زمان تماس میزان جذب افزایش می‌یابد. بیشترین میزان جذب در لحظات اولیه رخ می‌دهد. ولی برای جاذب تهیه‌شده از شرکت آلومینای ایران (A2) تغییر آن‌چنانی صورت نمی‌گیرد و جذب آهسته‌تر و کمتر اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی درصورت استفاده ازاین دو نوع جاذب برای حذف یا کاهش کلرور، نیاز به زمان بیشتری نسبت به حالت عادی برای کامل‌شدن جذب روی خلل و فرج سطوح نانو ذرات خواهد بود.



شکل ۶- تأثیر زمان تماس در میزان حذف کلرور آب

با توجه به این‌که آزمایش جذب در pH قلیایی انجام شده که در این pH بار سطحی ذرات آلومینا تا حدی منفی است، مقدار جذب کلرور در قیاس با یون‌های فلزی مثبت بر سطح ذرات نانو آلومینا به‌دلیل دافعه بارهای هم‌نام منفی کاهش می‌یابد. بنابراین می‌توان تا حدی انتظار داشت با کاهش pH آب بتوان مقدار بیشتری کلرور را از آب جذب کرد. مقدار جذب یون‌های کلرور

درصورت استفاده از ذرات جاذب اکسید منیزیم آلومینیوم در شرایط خاص کنترل شده در دمای ۲۰-۶۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند تا ۹۸/۲٪ نیز افزایش یابد (Kameda et al., 2003).

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش اثر پارامتر زمان بر میزان جذب سختی، کلسیم، آهن، سیلیس و کلرور در آب مورد استفاده در کارخانه آلومینای جاجرم توسط دو نمونه نانو پودر آلومینای سنتز شده با روش احتراقی (A1) و سل ژل (A2) مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش زمان میزان جذب سختی، کلسیم، آهن، سیلیس و کلرور موجود در آب افزایش یافت. هر دو نمونه A1 و A2 توانایی جذب کامل یون‌های فلزی آهن از آب را دارند. در این‌حال میزان جذب سیلیس (SiO_2) توسط A1 بسیار بیشتر از نمونه A2 مشاهده شد. هر دو جاذب توانایی جذب بخشی از سختی، کلرور و کلسیم آب را نشان دادند.

۵- تشکر و قدردانی

تمامی فعالیت‌های آزمایشگاهی در کارخانه آلومینای جاجرم انجام شده است. بدین‌وسیله از همکاری بخش‌های مختلف کارخانه به‌ویژه بخش آزمایشگاه صمیمانه قدردانی به‌عمل می‌آید.

۶- مراجع

حاجی‌زاده، ح.، طاهری انارکی، م.، و عرب ابوسعدی، ز.، (۱۳۹۳)، "پوشش نانوذرات آلومینا با پلی‌آنیلین جهت حذف یون آهن از محلول آبی"، *فصلنامه بهداشت در عرصه*، ۲(۳)، ۴۲-۵۰.

Bhatnagar, A., Kumar, E., and Sillanpä, M., (2010), "Nitrate removal from water by nano-alumina: Characterization and sorption studies", *Chemical Engineering Journal*, 163(3), 317-323.

Bouguerra, W., Ali, M.B.S., Hamrouni, B., and Dhahbi, M., (2007), "Equilibrium and kinetic studies of adsorption of silica onto activated alumina", *Desalination*, 206(1-3), 141-146.

Chaturvedi, S., and Dave, P.N., (2019), "Water purification using nanotechnology an emerging opportunities", *Chemical Methodologies*, 3(1), 115-144.

Dervin, S., Dionysiou, D.D., and Pillai, S.C., (2016), "2D nanostructures for water purification: Graphene and beyond", *Nanoscale*, 8(33), 15115-15131.

Dubey, S., Gusain, D., and Sharma, Y.C., (2016), "Kinetic and isotherm parameter determination for the removal of chromium from aqueous solutions by nanoalumina, A nanoadsorbent', *Journal of Molecular Liquids*, 219, 1-8.

Fane, A.G., Wang, R., and Hu, M.X., (2015), "Synthetic membranes for water purification: Status and future", *Angewandte Chemie International Edition*, 54(11), 3368-3386.

Ghamari, M., and Farzi, G., (2017), "The impact of morphology control on the microhardness of PMMA/Boehmite hybrid nanoparticles prepared via facile aqueous one-pot process", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*, 84(1), 135-144.

Hasson, D., Avriel, M., Resnick, W., Rozenman, T., and Windreich, S., (1968), "Mechanism of calcium carbonate scale deposition on heat-transfer surfaces", *Industrial and Engineering Chemistry Fundamentals*, 7(1), 59-65.

Huang, C.-P., and Stumm, W., (1973), "Specific adsorption of cations on hydrous γ-Al_2O_3", *Journal of Colloid and Interface Science*, 43(2), 409-420.

Kameda, T., Yoshioka, T., Mitsuhashi, T., Uchida, M., and Okuwaki, A., (2003), "The simultaneous removal of calcium and chloride ions from calcium chloride solution using magnesium–aluminum oxide", *Water Research*, 37(16), 4045-4050..

Karabelli, D., Ünal, S., Shahwan, T., and Eroğlu, A.E., (2011), "Preparation and characterization of alumina-supported iron nanoparticles and its application for the removal of aqueous Cu^{2+} ions", *Chemical Engineering Journal*, 168(2), 979-984.

Kim, Y., Kim, C., Choi, I., Rengaraj, S., and Yi, J., (2004), "Arsenic removal using mesoporous alumina prepared via a templating method", *Environmental Science and Technology*, 38(3), 924-931.

Mahmoud, M.E., Osman, M.M., Hafez, O.F., and Elmelegy, E., (2010), "Removal and preconcentration of lead (II), copper (II), chromium (III) and iron (III) from wastewaters by surface developed alumina adsorbents with immobilized 1-nitroso-2-naphthol", *Journal of Hazardous Materials*, 173(1-3), 349-357.

McBride, M.B., (1978), "Retention of Cu^{2+}, Ca^{2+}, Mg^{2+}, and Mn^{2+} by Amorphous Alumina 1", *Soil Science Society of America Journal*, 42(1), 27-31.

Okamoto, G., Okura, T., and Goto, K., (1957), "Properties of silica in water", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 12(1-2), 123-132.

Savage, N., and Diallo, M.S., (2005), "Nanomaterials and water purification: Opportunities and challenges", *Journal of Nanoparticle Research*, 7(4-5), 331-342.

Shivaprasad, P., Singh, P.K., Saharan, V.K., and George, S., (2018), "Synthesis of nano alumina for defluoridation of drinking water", *Nano-Structures and Nano-Objects*, 13, 109-120.

Stumm, W., (1956), "Calcium carbonate deposition at iron surfaces', *Journal of American Water Works Association*, 48(3), 300-310.

Wang, X., Li, Y., Li, H., and Yang, C., (2016), "Chitosan membrane adsorber for low concentration copper ion removal", *Carbohydrate Polymers*, 146, 274-281.

Werber, J.R., Osuji, C.O., and Elimelech, M., (2016), "Materials for next-generation desalination and water purification membranes", *Nature Reviews Materials*, 1(5), 16018.

Zhang, R., Liu, Y., He, M., Su, Y., Zhao, X., Elimelech, M., and Jiang, Z., (2016), "Antifouling membranes for sustainable water purification: strategies and mechanisms", *Chemical Society Reviews*, 45(21), 5888-5924.