



انجمن علمی مهندسی منابع آب

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و هفتم، شماره چهارم، ۱۳۹۹
۲۳۱-۲۱۷

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17711.3321

مقاله کامل علمی - پژوهشی

بررسی نانوجاذب‌های شبه‌هیدروکسید دارای روی و منیزیم در جذب و واجذب بُر از محیط آبی

ابراهیم فتاحی کیاسری^۱، *امیر فتوت^۲، غلامحسین حق‌نیا^۳، اکرم حلاج‌نیا^۳ و حمیدرضا مردانی^۴

^۱دانشجوی دکتری گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، استاد گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد،

^۲استادیار گروه علوم خاک، دانشگاه فردوسی مشهد، ^۳استادیار گروه شیمی، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۰۳؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۷

چکیده

سابقه و هدف: بُر، یکی از عناصر کم‌مصرف موردنیاز گیاهان است. غلظت زیاد این عنصر در آب‌های کشاورزی، به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، سبب بروز سمیت در گیاهان کشت‌شده در این مناطق می‌گردد. روش‌های مختلفی برای کاهش غلظت بُر در آب‌و‌خاک پیشنهاد شده است که روش جذب سطحی از مهم‌ترین آن‌ها به‌حساب می‌آید. در طی سال‌های اخیر، استفاده از انواع هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه^۱ (LDHs) یا ترکیبات شبه‌هیدروکسید^۲، به‌عنوان جذب‌کننده‌های آنیونی از محلول‌های آبی، موردتوجه خاص قرار گرفته است. از مهم‌ترین دلایل مؤثر در استفاده از جاذب‌ها، مقرون به‌صرفه بودن است. حال اگر علاوه بر راندمان بالای جذب، قابلیت استفاده مجدد نیز وجود داشته باشند، به‌صورت کاربردی و در سطوح وسیع قابل‌استفاده خواهد بود. بنابراین با توجه به این نکات، علاوه بر سنجش قابلیت جذب بُر توسط انواع LDH، کیفیت واجذب بُر نیز مورد ارزیابی قرار گرفت؛ چراکه در قابلیت استفاده مجدد از آن نقشی به‌سزا دارد.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش دو نوع هیدروکسید لایه‌ای دوگانه، با انواع مختلف فلزات (منیزیم-آلومینیوم و روی-آلومینیوم) در ابعاد نانومتر و با استفاده از روش هم‌رسوبی تهیه شد و در شرایط آزمایشگاهی، خصوصیات جذب سطحی هر کدام به‌منظور خروج عنصر بُر از آب مورد ارزیابی قرار گرفت. مشخصات شبه‌هیدروکسیدها توسط روش‌های آنالیز شیمیایی پراش اشعه X (XRD)، تبدیل فوری‌هی مادون‌قرمز FTIR، طیف‌سنجی پراش انرژی پرتوایکس EDS تعیین شد. تمایل این مواد برای جذب گونه‌های مختلف بُر در محلول، تحت اثر pH، زمان تماس، مقدار ماده جذب‌کننده و غلظت بُر محلول (هم‌دمای جذب سطحی لانگمیر و فروندلیچ) بررسی شد.

یافته‌ها: با توجه به خصوصیات بافری LDHها، خروج بُر از محلول تحت‌تأثیر pH اولیه و نهایی محلول نبود. بیش‌ترین مقدار بُر جذب‌شده توسط Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH، به‌ترتیب در ۱۰ و ۲۰ دقیقه اول اتفاق افتاد.

* مسئول مکاتبات: afotovat@um.ac.ir

- 1- Layered Double Hydroxides
- 2- Hydrotalcite (HT)-like compounds

زمان تعادل لازم برای جذب بُر از محلول آبی در مورد هر دو نوع LDH، ۸۰ دقیقه تشخیص داده شد. ظرفیت جذب بُر در محدوده مقادیر آزمایشی (۵-۰/۵ گرم در لیتر) روند افزایشی داشت و با استفاده از مقدار ۵ گرم در لیتر Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH به ترتیب، ۵۲ و ۶۰ درصد از بُر اولیه محلول خارج شد. داده‌ها با هم‌دماهای جذب سطحی مدل لانگمیر که از انواع هم‌دماهای L-Type هستند، تطابق داشت که نشان می‌دهد، $B(OH)_4^-$ به صورت ترجیحی روی مواد شبه‌هیدروتالسیت جذب شده است. Zn-Al-LDH با بیش‌ترین مقدار جذب ۳ میلی‌گرم در گرم دارای توانایی بیش‌تری برای جذب بُر نسبت به Mg-Al-LDH (با بیش‌ترین مقدار جذب ۲/۴۸ میلی‌گرم در گرم) بود. از طرفی واجذب بُر از Zn-Al-LDH توسط محلول ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نترات سدیم بیش‌تر از Mg-Al-LDH بود.

نتیجه‌گیری: استفاده ۰/۵ گرم از هر یک از شبه‌هیدروتالسیت‌ها در یک لیتر آب آلوده به بُر با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، غلظت بُر را به کم‌تر از ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر یعنی حد توصیه‌شده سازمان بهداشت جهانی (WHO) برای آب‌های شرب، کاهش داد. هر دو نوع LDH برای خروج عنصر بُر از محلول‌های آلوده قابلیت بالایی دارند؛ ولی با هدف استفاده مجدد از جاذب و بالطبع «مقرون‌به‌صرفه بودن آن»، نانوجاذب Zn-Al-LDH به دلیل جذب و واجذب بالاتر از نانوجاذب Mg-Al-LDH، قابلیت کاربردی بهتری می‌تواند داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: ایزوترم، بُر، جذب، واجذب، هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه

مقدمه

بُر از جمله عناصر کم‌مصرف موردنیاز گیاهان است. عوامل گوناگونی بر غلظت این عنصر اثر می‌گذارند. عواملی مانند «خصوصیات ژئولوژیکی بستر»، «پساب صنایع وابسته به ساخت شیشه»، «کودها و نگه‌دارنده‌های غذایی»، «انواع شوینده‌ها»، «ضدپخش‌ها» و دستگاه‌های خنک‌کننده (۱۷ و ۲۵). قطع‌نظر از نقش مهم بُر در فرآیندهای حیاتی گیاهان، فزونی آن در آب‌ها سمیت‌زاتر از کمبود آن است؛ به‌خصوص مناطق خشک و نیمه‌خشک. دلیل این امر نزدیکی مرز کمبود و فزونی این عنصر است (۲۳). سازمان بهداشت جهانی، حداکثر غلظت بحرانی بُر را در آب شرب، ۰/۵ و در آب کشاورزی، ۰/۷۵ میلی‌گرم در لیتر پیشنهاد کرده است؛ چراکه غلظت زیاد آن روی پلاسمای خون و سیستم عصبی انسان اثر منفی می‌گذارد (۷ و ۱۷).

از جمله روش‌های مؤثر برای خروج بُر از آب، استفاده از روش جذب سطحی، جذب بیولوژیکی و تبادل یونی است. اگرچه استفاده از جاذب‌های آلی، مانند برگ درخت بلوط برای آنیون نترات (۲) و بیوجار برنج برای متیلن‌بلو (۱۵) در پژوهش‌های گذشته مورد ارزیابی قرار گرفته است؛ ولی راندمان مناسب و سرعت نسبی بالاتر انواع هیدروکسیدهای لایه‌ای دوگانه (LDHs) در جذب انواع آنیون‌ها، موجب توجه بیش‌تر به این مواد، در طی سال‌های اخیر شده است. LDHsها که تحت عنوان ترکیبات شبه‌هیدروتالسیت نیز شناخته می‌شوند، دارای لایه‌های اکتاهدرال با ساختار شبه‌بروسیت هستند که کاتیون‌های فلزی در مرکز اکتاهدرن آن واقع شده‌اند (۵ و ۱۱). جانشینی هم‌شکل کاتیون‌های دوظرفیتی به‌وسیله کاتیون‌های سه‌ظرفیتی، یک بار مثبت را در لایه‌های اکتاهدرال تولید می‌کند. این بار مثبت عموماً

سپس مقادیر مختلف LDH (۲۰، ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ میلی‌گرم) به آنها اضافه شد و پس از شیک و سانتریفیوژ شدن با شرایط ذکر شده، قرائت بُر در محلول رویی انجام شد. برای تعیین زمان بهینه، ۴۰ میلی‌لیتر از محلول بُر که در pH=۸ تنظیم شده بود، در تیوپ‌ها ریخته شد. پس از آن، ۱۰۰ میلی‌گرم از هر LDH به آن اضافه شد و در طی زمان‌های مختلف (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ دقیقه) شیک شدند. سپس تیوپ‌ها از شیکر خارج و سانتریفیوژ شد و قرائت بُر در محلول رویی انجام شد. آزمایش ایزوترم، توسط ۲۰۰ میلی‌گرم از هر LDH و ۴۰ میلی‌لیتر از غلظت‌های مختلف محلول بُر (۰، ۲، ۴، ۶، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۴۰، ۶۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر) که قبلاً در pH = ۸ تنظیم شدند، در مدت زمان ۱۲۰ دقیقه انجام شد. پس از هم‌زدن و سانتریفیوژ، محلول رویی جدا و قرائت بُر توسط روش آزومتین‌اچ انجام شد (۷ و ۱۱). برگشت‌پذیری بُر جذب‌شده روی LDH، با تغییرات جزئی از روش ایساک و همکاران (۲۰۱۴) و کامدا و همکاران (۲۰۱۵) انجام گرفت (۱۱ و ۱۲). در ابتدا، آزمایش‌های جذب سطحی بُر طبق روشی که در بخش قبل ارائه شد (با استفاده از محلول بُر ۶۰ میلی‌گرم در لیتر)، انجام گرفت. پس از ایجاد تعادل، جاذب‌ها توسط روش سانتریفیوژ از محلول جدا شدند و محلول‌های رویی جهت قرائت بُر و محاسبه مقدار بُر جذب‌شده، به ظروف دیگری منتقل شدند. در دو گروه جداگانه، از ۴۰ میلی‌لیتر آب مقطر و محلول ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات سدیم، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و pH=۸ و در مدت‌زمان ۱۲۰ دقیقه، جهت ارزیابی نسبت بُر واجذب‌شده استفاده شد. پس از شیک و سانتریفیوژ شدن، قرائت بُر در محلول رویی انجام شد.

الگوهای حاصل از پراش اشعه X (XRD) با استفاده از آند مس، ولتاژ ۴۵ کیلوولت و جریان ۰/۸

توسط آنیون‌هایی مانند کربنات (CO_3^{2-}) و نیترات (NO_3^-) که در فضای بین لایه‌ای قرار دارند، خشی می‌شود (۵ و ۲۴).

در مورد مقایسه جذب بُر توسط انواع LDH و قابلیت استفاده چندباره از LDHها، پژوهش‌های زیادی صورت نگرفته است. بنابراین در این پژوهش، پس از تهیه ترکیبات LDH حاوی کاتیون‌های دوظرفیتی منیزیم و روی و کاتیون سه‌ظرفیتی آلومینیوم، سه فعالیت اصلی «تعیین شرایط بهینه جذب بُر»، «ارزیابی جذب بُر براساس ایزوترم‌های تجربی لانگمیر و فروندلیچ» و نهایتاً «کیفیت واجذب بُر از LDHها به‌منظور تعیین قابلیت استفاده مجدد از این نوع جاذب‌ها» انجام شد. جهت تعیین شرایط بهینه جذب بُر، اثر پارامترهایی مانند pH محلول، زمان تماس و مقدار جاذب بررسی شد.

مواد و روش‌ها

پس از تهیه شبه‌هیدروکسیدها با روش کاوانی و همکاران (۱۹۹۱)، آزمایش‌های جذب سطحی در تیوپ‌های پلی‌اتیلن ۵۰ میلی‌لیتری انجام شد (۴). در ابتدا محلول بُر با غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر تهیه شد. این محلول برای آزمایش‌های گوناگون تعیین شرایط بهینه، مورد استفاده قرار گرفت. برای تعیین pH بهینه محلول، ۱۰۰ میلی‌گرم LDH به ۴۰ میلی‌لیتر محلول بُری که قبلاً با استفاده از محلول‌های ۰/۰۱ مولار اسید نیتریک و یا هیدروکسید سدیم در محدوده pH ۵-۹ تنظیم شدند، اضافه شد. تیوپ‌ها با استفاده از دستگاه شیکر به مدت ۲ ساعت در سرعت پایین (۱۰۰ rpm) هم‌زده شد و پس از ۵ دقیقه سانتریفیوژ شدن با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه، محلول رویی جدا و قرائت pH تعادلی و بُر (توسط روش آزومتین‌اچ) انجام شد. برای تعیین مقدار بهینه LDH، ۴۰ میلی‌لیتر از محلول بُر که قبلاً در pH=۸ تنظیم شده بود، در تیوپ‌ها ریخته شد.

مشخص و متقارن در مقادیر پایین 2θ است که از ویژگی‌های ترکیبات شبه‌هیدروتالسیت (ترکیبات لایه‌ای) و همچنین نشان‌دهنده درجه بالای کریستاله بودن نمونه‌ها است (۷). پیک (۰۰۳) و (۰۰۶) در شکل‌های ۱ و ۲ به انعکاس پایه‌ای مربوط است که نشانه‌ای از ساختار لایه‌ای صفحات شبه‌بروسیت است. با استفاده از تعیین مشخصات فنی پیک ۰۰۳ و قانون براگ، محاسبه فضای بین‌لایه‌ای ترکیبات LDH ممکن می‌شود (۶). فضای بین‌لایه‌ای تحت‌تأثیر شکل هندسی و اندازه آنیون، نسبت مولی M^{2+}/M^{3+} و درجه هیدراسیون آنیون‌ها است. فضای بین‌لایه‌ای Mg-Al-LDH در حدود ۸/۱ و Zn-Al-LDH ۸/۰ انگستروم محاسبه شد که مطابق با فضای بین‌لایه‌ای LDH‌های حاوی نیترات و کربنات است (۴). وجود نیترات به حضور در نمک‌های فلزی مورد استفاده و آنیون کربنات نیز احتمالاً به دلیل دی‌اکسیدکربن اتمسفر و تبدیل به کربنات در محیط محلول مربوط است (۱۶).

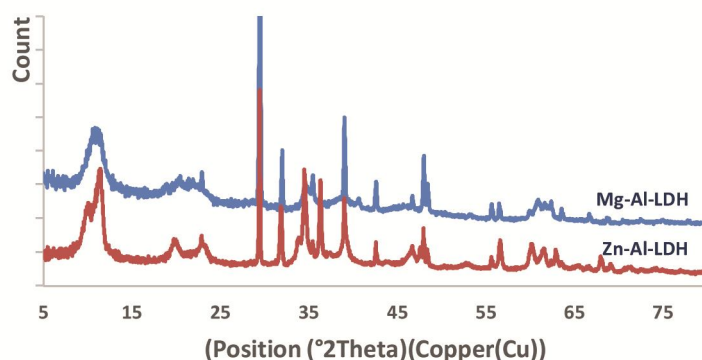
میلی‌آمپر و در محدوده ۸۰-۱۰ درجه انجام شد. فاصله بین‌لایه‌ای توسط قانون براگ (رابطه ۱) محاسبه گردید.

$$n\lambda = 2d\sin\theta \quad (1)$$

که در آن، λ طول‌موج اشعه تابشی و برابر ۱/۵۴۲ انگستروم است، n شماره لایه، θ زاویه برخورد پرتو تابشی به صفحه اتمی برحسب درجه و d فاصله پایه مینا برحسب انگستروم است. برای تعیین گروه‌های عاملی از روش طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) در محدوده ۴۰۰-۴۰۰۰ cm^{-1} و برای شناسایی عناصر نمونه به شکل نیمه‌کمی از روش Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) استفاده شد (۹ و ۱۱).

نتایج و بحث

الگوهای حاصل از پراش اشعه X در شکل ۱ دیده می‌شود. آنالیزها، نشان‌دهنده وجود پیک



شکل ۱- الگوی XRD نمونه‌های سنتز شده LDHs.

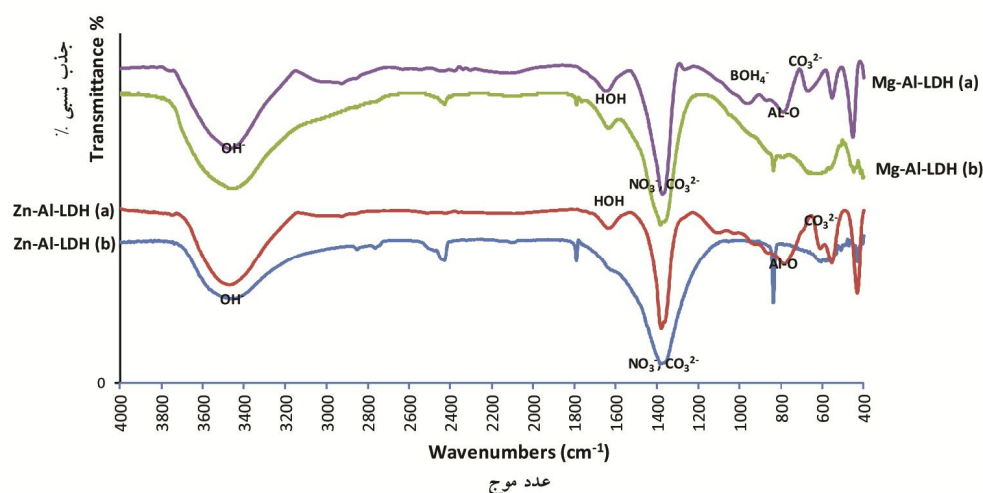
Figure 1. XRD pattern of synthesized LDHs samples.

محلول و برای تأیید و تعیین مکانیسم جذب بر صورت پذیرفت. نتایج آزمون FTIR و تفسیر پیک‌های مختلف مربوط به آنالیز Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH در شکل ۲ نمایش داده شده است. از

آنالیز FTIR برای LDHها در دو مرحله انجام گرفت. مرحله اول پس از سنتز LDHها و قبل از انجام آزمایش جذب سطحی، جهت تعیین گروه‌های عاملی و مرحله دوم پس از انجام آزمایش جذب بر از

(۶، ۱۱ و ۱۹). وجود باند مربوط به $B(OH)_4^-$ در ناحیه 955 cm^{-1} نمودار b و عدم رؤیت آن در نمودار a نانوجاذب Mg-Al-LDH، می‌تواند نشانه‌ای از جذب بین‌لایه‌ای آنیون $B(OH)_4^-$ باشد. عدم وجود این پیک در مورد Zn-Al-LDH، می‌تواند نشان‌دهنده جذب سطحی بُر در این LDH باشد (۱۲ و ۱۸).

موارد مهم می‌توان به وجود گروه‌های هیدروکسیل در نواحی سطحی و بین‌لایه‌ای مربوط به ناحیه $3000-4000\text{ cm}^{-1}$ وجود نیترات و کربنات و تداخل پیک‌های آن‌ها و تبدیل به یک پیک در ناحیه $1350-1400\text{ cm}^{-1}$ تغییر شکل H-O-H و حضور مولکول‌های آب بین‌لایه‌ای در ناحیه 1640 cm^{-1} و باند $B(OH)_3$ در ناحیه 1410 cm^{-1} اشاره کرد



شکل ۲- طیف FTIR نمونه‌های سنتز شده LDH (a): قبل از جذب سطحی (b): بعد از جذب سطحی.

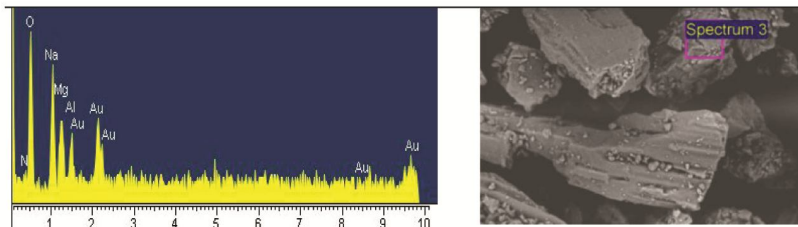
Figure 2. FTIR Spectra of synthesized LDHs samples (a): before surface adsorption test (b): after surface adsorption test.

این نسبت‌ها تقریباً معادل نسبت‌های اعمال شده $M^{2+}/M^{3+} = \frac{2}{1}$ در مرحله سنتز بوده و نشان‌دهنده صحت سنتز LDHها است.

طیف‌سنجی پراش انرژی پرتوایکس^۱ (EDS) روش تحلیلی است که برای تجزیه و تحلیل ساختاری یا خصوصیت شیمیایی یک نمونه به کار می‌رود (۹ و ۱۴). شکل‌های ۳ و ۴ نتایج آنالیز EDS نمونه‌های تهیه شده Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH را نشان می‌دهد. در این تصاویر نمایی از مواد تهیه شده و جدول و نمودار مربوط به آنالیز عنصری دیده می‌شود. نتایج حاصله در مورد Mg/Al در Mg-Al-LDH و Zn/Al در Zn-Al-LDH به‌عنوان شاخصی از نسبت M^{2+}/M^{3+} به ترتیب معادل $\frac{1/76}{1}$ و $\frac{1/96}{1}$ بود.

1- Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS)

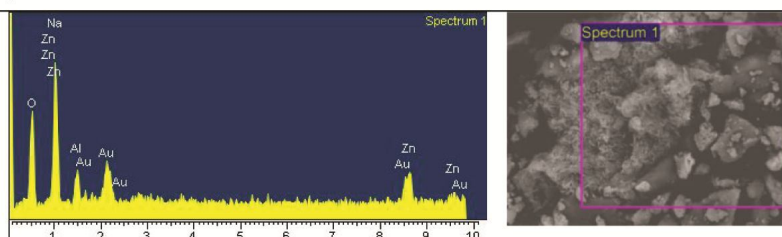
Element (عنصر)	N K	O K	Na K	Mg K	Al K
Weight% (درصد وزنی)	12.04	53.65	18.63	10.01	5.66
Atomic% (درصد اتمی)	15.23	59.40	14.35	7.29	3.72



شکل ۳- نتایج آنالیز EDS نانوجاذب Mg-Al-NO₃-LDHs.

Figure 3. EDS analyze of Mg-Al-NO₃ nanoadsorbent.

Element (عنصر)	O K	Na K	Al K	Zn K
Weight% (درصد وزنی)	36.92	21.02	7.95	34.10
Atomic% (درصد اتمی)	57.14	22.64	7.30	12.92

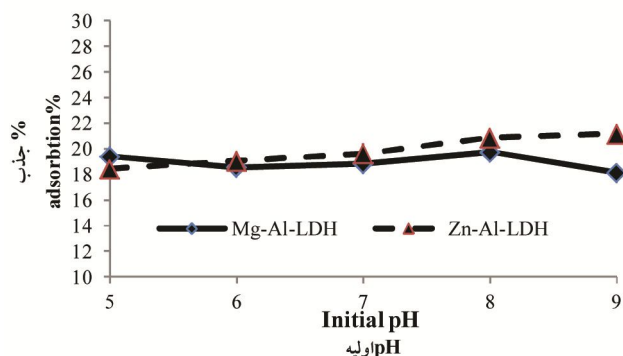


شکل ۴- نتایج آنالیز EDS نانوجاذب Zn-Al-NO₃-LDHs.

Figure 4. EDS analyze of Zn-Al-NO₃ nano adsorbent.

پژوهشگران دیگر نیز گزارش شده است (۱۳ و ۲۰). هراسین و همکاران (۱۹۹۶) بیان کردند، زمانی که pH محلول پایین باشد، با حل شدن ترکیبات LDH، pH محلول افزایش یافته، در صورتی که اگر pH محلول بالا باشد، کاهش pH توسط جذب مستقیم گروه‌های هیدروکسیل از محلول توسط LDH، اتفاق می‌افتد (۱۰). بنابراین می‌توان گفت، با وجود تفاوت اولیه مقادیر pH، جذب بُر بدون تغییرات معنی‌دار، فقط در دامنه محدودی از pH تعادلی اتفاق افتاده است.

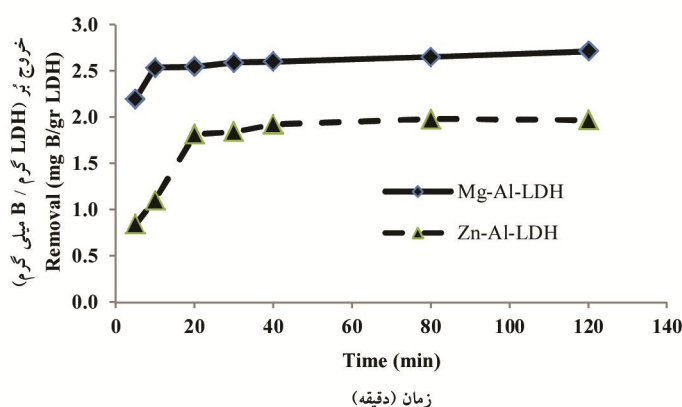
pH محلول به دلیل اثر خاصی که می‌تواند بر بار سطحی جاذب‌ها داشته باشد، نقش بسیار مهمی در خروج آلاینده‌های آلی و غیرآلی از پساب آلوده دارد (۲۲). نتایج به دست آمده در مورد اثر pH اولیه (شکل ۵) و نهایی محلول (شکل موردنظر نشان داده نشد) و همچنین اثر متقابل سطوح مختلف pH و نوع LDH، در جذب بُر، نشان می‌دهد، ظرفیت جذب بُر مستقل از تغییرات pH است. pH نهایی در مورد Mg-Al-LDH به بازه ۷/۳۷-۸/۶۷ و در مورد Zn-Al-LDH به بازه ۶/۶۶-۷/۶۷ محدود شده است. این خصوصیت نشان‌دهنده خاصیت بافری LDH است که توسط



شکل ۵- اثر pH اولیه، بر جذب بُر توسط Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH.
Figure 5. Initial pH effect on boron adsorption by Mg-Al & Zn-Al-LDH.

Mg-Al-LDH بدون اختلاف معنی‌دار، در زمان‌های ۸۰ و ۱۲۰ دقیقه و کم‌ترین مقدار جذب توسط Zn-Al-LDH و در زمان ۵ دقیقه بوده است. استفاده از Mg-Al-LDH در پژوهش فرریا و همکاران (۲۰۰۶) نیز نشان داد بیش‌ترین مقدار جذب بُر در ۱۰ دقیقه اول اتفاق افتاد و زمان ۸۰ دقیقه برای جذب ۹/۲ میلی‌گرم در گرم کافی بوده است (۷). حلاج‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) نیز زمان ۱۰ دقیقه را برای جذب ۸۰ درصدی نیترات محلول توسط Mg-Al-LDH کافی دانسته‌اند (۸).

تغییرات مقادیر جذب بُر از محلول در دوره‌های زمانی مختلف این پژوهش، در شکل ۶ دیده می‌شود. کاربرد Mg-Al-LDH، سبب خروج شدید بُر از محلول در ۱۰ دقیقه اول شد. این روند به صورت ملایم‌تر تا دقیقه ۱۲۰ ادامه داشت و حداکثر بُر جذب‌شده تقریباً معادل $2/7 \text{ mg g}^{-1}$ بود. استفاده از Zn-Al-LDH، سبب جذب ۹۲ درصد از جذب حداکثری بُر (2 mg g^{-1}) در ۲۰ دقیقه اول شد و با شیب ملایم تا دقیقه ۱۲۰ ادامه یافت. بررسی اثرات متقابل نیز نشان می‌دهد، بیش‌ترین جذب بُر توسط

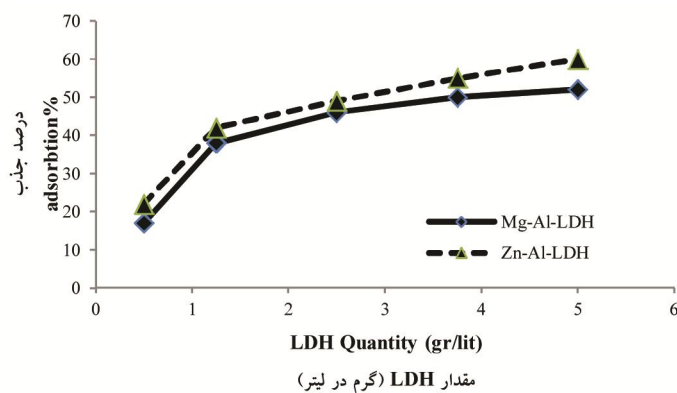


شکل ۶- اثر زمان تماس بر جذب بُر توسط دو نوع Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH.
Figure 6. Effect of contact time on boron adsorption by Mg-Al & Zn-Al-LDH.

شد و افزایش ۰/۷۵ گرم از این ماده نسبت به مقدار ۰/۵ گرم در لیتر، سبب افزایش جذب بُر محلول از ۱۷ درصد به ۳۷ درصد شد. بررسی نتایج اثرات متقابل نشان داد، بیش‌ترین مقدار جذب بُر توسط مقدار ۵ گرم در لیتر Zn-Al-LDH و کم‌ترین مقدار جذب توسط مقدار ۰/۵ گرم در لیتر دو نوع LDH اتفاق افتاد. فرریا و همکاران (۲۰۰۶) نیز با استفاده از LDH حاوی Mg-Al ضمن تصدیق این نتیجه نشان دادند، جذب بُر عمدتاً به شکل $B(OH)_4^-$ اتفاق می‌افتد (۷). کاربرد Zn-Al-LDH نیز در دو فاز جداگانه باعث افزایش جذب بُر از محلول شد. در فاز اول که با شدت بیش‌تری اتفاق افتاد، با افزایش مقدار جاذب از ۰/۵ به ۱/۲۵ گرم در لیتر، جذب بُر از محلول از حدود ۲۲ به ۴۲ درصد و در فاز دوم با افزایش مقدار از ۱/۲۵ به ۵ گرم، جذب بُر از ۴۲ درصد به حدود ۶۰ درصد افزایش یافت. نتایج پژوهش‌های آی و همکاران (۲۰۰۷) در مورد جذب آنیون بُر از محلول توسط Mg-Al-LDH نشان داد، با افزایش مقدار جذب‌کننده، خروج ۹۵٪ از هر دو گونه اسید بُریک و آنیون بُرات از محلول اتفاق افتاد. در دوزهای پایین‌تر خروج گونه اسید بُریک خشی از محلول بیش‌تر و در دوزهای بالاتر (بیش‌تر از ۱۲ گرم در لیتر LDH) خروج دو گونه اسید بُریک و آنیون بُرات همانند بود (۱).

یان و همکاران (۲۰۱۵) نیز با آزمایش جذب فسفر توسط سه نوع کامپوزیت $Fe_3O_4@LDH$ ، بیان کردند، خروج فسفر در مورد LDH حاوی روی بیش‌تر از بقیه بوده است (۲۴). باقری‌فام و همکاران (۲۰۱۴)، حداقل زمان ۸ ساعت را برای جذب یون‌های آرسنات و آرسنیت و حاتمی و همکاران (۲۰۱۸) نیز همین زمان را برای جذب فسفر توسط Zn-Al-LDH، لازم دانستند (۳ و ۹)؛ در صورتی‌که حلاج‌نیا و همکاران (۲۰۱۲) زمان ۳۰ دقیقه را برای جذب یون نترات توسط Mg-Al-LDH (3:1) و Mg-Fe-LDH (3:1) و زمان ۶۰ دقیقه را برای جذب یون نترات توسط Mg-Al-LDH (4:1) و Mg-Fe-LDH (4:1) کافی دانستند. بسته به نوع LDH و نوع آنیون موردپژوهش و سایز آنیونی و غلظت اولیه محیط، زمان متفاوتی جهت ایجاد حالت تعادل لازم است (۵). به‌نظر می‌رسد، در این پژوهش حداقل زمان ۸۰ دقیقه، برای جذب گونه‌های یونی بُر توسط هر دو نوع LDH، موردنیاز باشد.

همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود، مقدار بُر جذب‌شده از محلول بُر (با غلظت اولیه ۲۰ میلی‌گرم در لیتر)، با افزایش مقدار هر دو نوع LDH، افزایش یافت. استفاده از ۰/۵ و ۵ گرم از Mg-Al-LDH، به‌ترتیب سبب جذب ۱۷ و ۵۲ درصد از بُر محلول



شکل ۷- اثر مقدار Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH در جذب بُر از محلول.

Figure 7. Effect of Mg-Al-LDH and Zn-Al-LDH on boron adsorption from solution.

می‌شوند. فرم خطی معادلات مذکور به صورت رابطه ۲ ارائه می‌شود:

(۲) - معادله فروندلیچ:

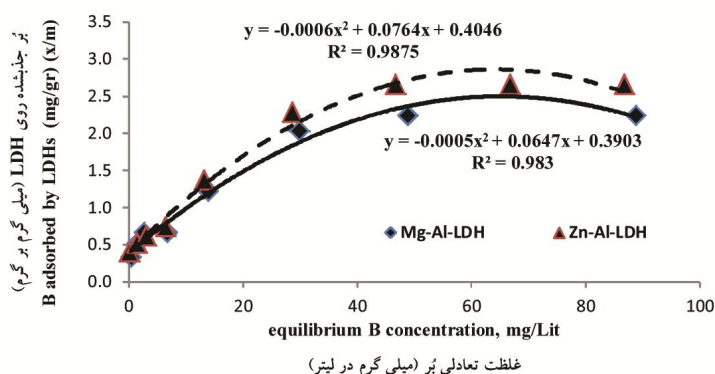
$$\log(q_e) = \log(K_F) + 1/n \log(C_e)$$

(۳) - معادله لانگمیر:

$$C_e/q_e = C_e/b + 1/(K_L b)$$

که در آن‌ها، q_e و C_e به ترتیب مقدار بُر جذب شده به ازای واحد جرم LDH برحسب mmol/gr و غلظت تعادلی بُر برحسب mmol/L است. در معادله فروندلیچ K_F و $1/n$ ثابت‌های آزمایشی می‌باشند و b در معادله لانگمیر، بیش‌ترین مقدار جذب شده بُر به ازای واحد جرم LDH است که به صورت پوشش تک‌لایه‌ای روی سطح جذب‌کننده قرار می‌گیرد و K_L مقدار ثابتی است که به انرژی پیوند ارتباط دارد (۳). داده‌ها در جدول ۱ نمایش داده شده است. مقدار بالاتر R^2 نشان‌دهنده همبستگی بهتر داده‌ها با آن ایزوترم می‌باشد.

نتایج به‌دست‌آمده از این آزمایش نشان داد، درصد خروج گونه‌های بُر از محلول به نسبت نتایج حاصله از پژوهش‌های دیگر پایین است. بیش‌ترین درصد جذب بُر از محلول نسبت به غلظت اولیه، توسط Mg-Al-LDH، ۵۲٪ بود در صورتی‌که مقدار معادل آن در پژوهش‌های آی و همکاران (۲۰۰۷) برابر ۹۵٪ و در پژوهش‌های فرریا و همکاران (۲۰۰۶) برابر ۹۲٪ است (۱ و ۷). انجام آزمایش در $pH=8$ که پایین‌تر از ثابت تجزیه اسید بُریک ($pK_a=9/2$) است، می‌تواند سبب افزایش نسبی اسید بُریک خنثی به آنیون بُرات شود. با توجه به تمایل انواع شبه‌هیدروکسیدها به جذب گونه‌های آنیونی (۸، ۹ و ۱۲)، می‌توان گفت کم‌بودن نسبی جذب بُر در این آزمایش به پایین‌بودن نسبت مولی گونه‌ی آنیونی $B(OH)_4^-$ در محلول ارتباط دارد. نتایج آزمایش هم‌دمای جذب سطحی بُر (ایزوترم) با استفاده از دو LDH تهیه‌شده، در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و در مدت‌زمان دو ساعت با استفاده از دو مدل تجربی لانگمیر و فروندلیچ مورد ارزیابی قرار گرفت که به ترتیب در شکل‌های ۸ و ۹ نمایش داده شده است. ایزوترم‌های فروندلیچ و لانگمیر برای تشریح داده‌های تجربی به‌کار برده

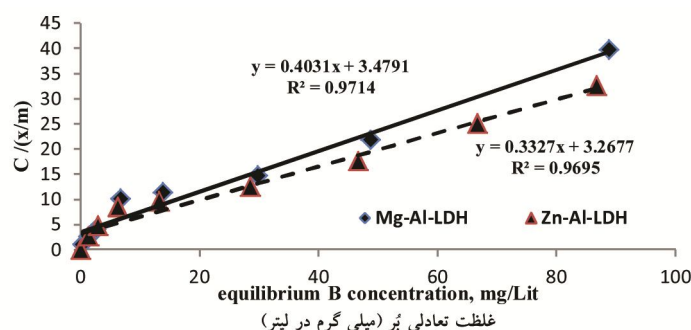


شکل ۸- ایزوترم جذب سطحی بُر توسط جاذب‌های Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH (مدل لانگمیر).

Figure 8. Adsorption isotherms of boron by Mg-Al-LDH and Zn-Al-LDH adsorbents (Langmuir model).

از محلول چه به صورت جذب اختصاصی و چه به صورت جذب غیراختصاصی است. جذب بر توسط LDHها عمدتاً توسط دو مکانیسم اصلی برون‌کره‌ای^۱ و درون‌کره‌ای^۲ انجام می‌شود. بخشی از بر که به روش اول جذب می‌شود، عمدتاً برگشت پذیر بوده و با سرعت بیشتری انجام می‌شود. ولی بخشی که به روش دوم جذب می‌شود، عمدتاً برگشت‌ناپذیر بوده و یا در زمان طولانی‌تری قابل برگشت هستند (۱۱) و (۱۳).

با توجه به نتایج به دست آمده، داده‌ها با ایزوترم لانگمیر در مقایسه با ایزوترم فروندلیچ، همبستگی بهتری را نشان می‌دهند. حداکثر ظرفیت جذب بر به دست آمده توسط مدل لانگمیر، برای Mg-Al-LDH، ۲/۴۸ و برای Zn-Al-LDH، ۳/۰۱ میلی‌گرم در گرم است. با توجه به این که این اختلاف از لحاظ آماری در سطح ۹۵٪ معنی‌دار است، می‌توان گفت ظرفیت جذب بر توسط Zn-Al-LDH بیش‌تر از Mg-Al-LDH است. این نتایج، عملاً نشان‌دهنده میزان جذب شده بر



شکل ۹- ایزوترم خطی جذب سطحی بر روی جاذب‌های Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH (مدل فروندلیچ).

Figure 9. Linear adsorption isotherms of boron on Mg-Al-LDH and Zn-Al-LDH adsorbents (Freundlich model).

جدول ۱- ثابت‌های ایزوترم‌های لانگمیر و فروندلیچ بر LDHهای مختلف به کار برده شده برای جذب سطحی بر.

Table 1. Langmuir and Freundlich isotherms constants for different LDHs used for surface adsorption.

LDH _s	لانگمیر Langmuir			فروندلیچ Freundlich		
	R ²	K _L (Lg ⁻¹)	b (mmol g ⁻¹)	R ²	n	KF (mmol g ⁻¹)
Mg-Al-LDH	0.971	0.116	2.48	0.947	2.657	0.711
Zn-Al-LDH	0.969	0.102	3.01	0.751	4.299	0.9

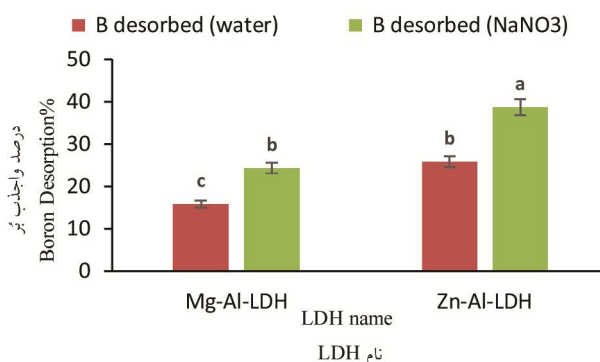
حد ۰/۵ میلی‌گرم در لیتر یعنی حد بحرانی توصیه شده سازمان بهداشت جهانی (WHO)، کاهش دهد. این نتایج نشان می‌دهد، از ترکیبات LDH می‌توان به عنوان جاذب‌هایی برای حذف بر در آب‌های طبیعی و در آب شرب نیز استفاده نمود.

توجه به شکل ۲ نشان‌دهنده جذب آنیون B(OH)₄⁻ در ساختار Mg-Al-LDH است و از طرفی می‌توان افزایش pH در آزمایش‌ها قبل از جذب را به افزایش غلظت آنیون هیدروکسیل محلول در اثر تبادل با آنیون B(OH)₄⁻ نسبت داد. کاربرد دو نوع LDH در این آزمایش، در محلول‌های آلوده به بر با غلظت ۲ میلی‌گرم در لیتر، توانسته است غلظت بر آب را تا زیر

1- Outer-sphere
2- Inner-sphere

نشان‌دهنده عدم کارایی آب مقطر در واجذب بُر از Mg-Al-LDH در pH=۸ بود (۱۱). استفاده از آب مقطر برای واجذب بُر در این آزمایش نیز نشان‌دهنده کارایی ناچیز آن است. استفاده از محلول ۰/۱ مولار نیترات سدیم در پژوهش کامدا و همکاران (۲۰۱۵) سبب خروج حدود ۲۸٪ از بُر Mg-Al-LDH شده است؛ که از این نظر تقریباً مشابه نتایج این آزمایش می‌باشد و افزایش غلظت محلول تا حد ۳ مولار، سبب خروج حدود ۹۱٪ از بُر شد (۱۲).

نتایج قبلی نشان می‌دهد بُر جذب‌شده اولیه توسط Zn-Al-LDH با اختلاف معنی‌دار بیش‌تر از Mg-Al-LDH است و استفاده از محلول نیترات سدیم در مقایسه با آب مقطر، سبب خروج درصد بُر بیش‌تری شد. شکل ۱۰، درصد واجذب بُر از دو LDH را نشان می‌دهد. استفاده از آب مقطر به‌ترتیب سبب تخلیه حدود ۱۶٪ و ۲۶٪ و استفاده از محلول نیترات سدیم نیز سبب خروج ۲۴٪ و ۳۹٪ از بُر جذب‌شده توسط Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH شد. نتایج آزمایش‌ها ایساک و همکاران (۲۰۱۴)



شکل ۱۰- درصد بُر واجذب‌شده از LDHها توسط آب مقطر و محلول ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نیترات سدیم.

Figure 10. Percentage of boron absorbed from LDHs by distilled water and 200 mg/L sodium nitrate solution.

نتیجه‌گیری کلی

جذب بُر به‌دلیل خاصیت بافری LDHها، مستقل از تغییرات pH است. زمان تعادل و ظرفیت جذب دو LDH با هم متفاوت بود. کاربرد Mg-Al-LDH و Zn-Al-LDH، به‌ترتیب سبب جذب حداکثری بُر از محلول در ۱۰ و ۲۰ دقیقه اول شد. زمان تعادل لازم برای جذب بُر از محلول در مورد هر دو نوع LDH، ۸۰ دقیقه تشخیص داده شد. مقدار بُر جذب‌شده، با افزایش مقدار هر دو نوع LDH، افزایش یافت. با استفاده از مقدار ۵ گرم در لیتر Mg-Al-LDH، ۵۲ درصد و با استفاده از همین مقدار Zn-Al-LDH، ۶۰ درصد از بُر اولیه محلول خارج شد. داده‌ها در مورد

به‌نظر می‌رسد در صورت افزایش غلظت نیترات سدیم در این آزمایش نیز احتمال واجذب مقدار بیش‌تر بُر بوده است. از دلایل مختلفی که سبب عدم واجذب کامل آنیون‌ها می‌شوند، می‌توان به «عدم کارایی و غلظت پایین آنیون جایگزین‌کننده»، «سایز آنیونی متفاوت آنیون جایگزین‌کننده و جایگزین‌شونده» و «وجود مکانیسم‌های مختلف جذبی آنیون‌های تبادل‌شونده» اشاره کرد (۳، ۱۱، ۱۲ و ۲۱). شاید بتوان تفاوت‌های واجذب بُر در این پژوهش را به تفاوت مکانیسم جذب بُر توسط دو نوع LDH مربوط دانست. هم‌چنین می‌توان گفت برای استفاده مجدد از جاذب، Zn-Al-LDH مناسب‌تر از Mg-Al-LDH بود.

تقدیر و تشکر

از مسئولین آزمایشگاه دانشگاه پیام‌نور شهرستان ساری و آزمایشگاه خصوصی آب و خاک آناهیدآزمایان گرمسار و اعضای هیئت علمی گروه علوم خاک دانشگاه فردوسی مشهد سپاسگزاری می‌شود.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌های استفاده‌شده، توسط نتایج آزمایش‌های عملی در آزمایشگاه‌های پیام نور ساری و آناهیدآزمایان گرمسار، گردآوری شده است. همه مراحل عملی و نوشتاری، در بهار و تابستان سال ۱۳۹۸ انجام شد.

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

هر دو نوع LDH، با ایزوترم لانگ‌مویر همبستگی بهتری را در مقایسه با ایزوترم فروندلیچ، نشان می‌دهند. مقدار حداکثری جذب بُر در مورد Zn-Al-LDH بیش‌تر از Mg-Al-LDH بوده است. مقدار بُر تخلیه‌شده توسط آب مقطر و محلول ۲۰۰ میلی‌گرم در لیتر نترات‌سدیم از Mg-Al-LDH به‌ترتیب ۱۶٪ و ۲۴٪ و در مورد Zn-Al-LDH، ۳۹٪ و ۲۶٪ شد. درصد بالاتری از بُر جذب‌شده توسط Zn-Al-LDH نسبت به Mg-Al-LDH از نوع فیزیکی و یا برون‌کره‌ای است. به‌نظر می‌رسد دلیل اصلی پایین‌بودن واجذب بُر در مورد هر دو نوع LDH، پایین‌بودن غلظت محلول نترات‌سدیم بود. هر دو نوع LDH برای خروج عنصر بُر از محلول‌های آلوده قابلیت بالایی دارند؛ ولی با هدف استفاده مجدد از جاذب و بالطبع «مقرون به صرفه بودن آن»، نانوجاذب Zn-Al-LDH به‌دلیل جذب و واجذب بالاتر از نانوجاذب Mg-Al-LDH، قابلیت کاربردی بهتری می‌تواند داشته باشد.

منابع

1. Ay, A.N., Zümreoglu-Karan, B., and Temel, A. 2007. Boron removal by hydrotalcite-like, carbonate-free Mg-Al-NO₃-LDH and a rationale on the mechanism. *Microporous and Mesoporous Materials*, 98: 1-3. 1-5.
2. Bafkar, A., and Baboli, N. 2019. Investigation of the efficiency of nitrate removal from aqueous solution using oak leaf nanostructure adsorbent. *Gorgan, J. Water Soil Cons.* 25: 5. 233-247. (In Persian)
3. Bagherifam, S., Komarneni, S., Lakzian, A., Fotovat, A., Khorasani, R., Huang, W., Ma, J., and Wang, Y. 2014. Evaluation of Zn-Al-SO₄ layered hydroxide for the removal of arsenite and arsenate from a simulated soil solution: Isotherms and kinetics. *Applied Clay Science*, 95: May 2014. 119-125.
4. Cavani, F., Trifiro, F., and Vaccari, A. 1991. Hydrotalcite-type anionic clays: preparation, properties. *Catalysis Today*, 11: 2. 173-301.
5. Chen, X., Mi, F., Zhang, H., and Zhang, H. 2012. Facile synthesis of a novel magnetic core-shell hierarchical composite submicrospheres Fe₃O₄@CuNiAl-LDH under ambient conditions. *Materials Letters*, 69: February 2012. 48-51.
6. Das, J., Das, D., Dash, G.P., and Parida, K.M. 2002. Studies on Mg/Fe hydrotalcite-like compounds (HTlc)-I. Removal of inorganic selenite (SeO₃²⁻) from aqueous medium. *J. Coll. Interface Sci.* 251: 1. 26-32.
7. Ferreira, O.P., Moraes, S.G., Duaran, N., Cornejo, L., and Luiz Alves, O. 2006. Evaluation of boron removal from water by hydrotalcite-like compounds. *Chemosphere*, 62: 1. 80-88.
8. Halajnia, A., Oustan, S., Najafi, N., Khataee, A.R., and Lakzian, A. 2012. The adsorption characteristics of nitrate on

- Mg-Fe and Mg-Al layered double hydroxides in a simulated soil solution. *Applied Clay Science*, 70: December 2012. 28-36.
9. Hatami, H., Fotovat, A., and Halajnia, A. 2018. Comparison of adsorption and desorption of phosphate on synthesized Zn-Al-LDH by two methods in a simulated soil solution. *Applied Clay Science*, 152: February 2018. 333-341.
 10. Hermosin, M.C., Pavlovic, I., Ulbibarri, M.A., and Cornejo, J. 1996. Hydrotalcite as sorbent for trinitrophenol. Sorption capacity and mechanism. *Water Research*, 30: 1. 171-177.
 11. Isaacs-Paez, E.D., Leyva-Ramos, R., Jacobo-Azuara, A., Martinez-Rosales, J.M., and Flores-Cano, J.V. 2014. Adsorption of boron on calcined AlMg layered double hydroxide from aqueous solutions. Mechanism and effect of operating conditions. *Chem. Engin. J.* 245: June 2014. 248-257.
 12. Kameda, T., Oba, J., and Yoshioka, T., 2015. New treatment methods for boron in aqueous solution using Mg-Al Layered double hydroxide: Kinetics and equilibrium studies. *J. Hazard. Mater.* 293: August 2015. 54-63.
 13. Majidi, A., Rahnamaie, R., Hassani, A., and Malakouti, M.J. 2010. Adsorption and desorption processes of boron in calcareous soils. *Chemosphere*, 80: 7. 733-739.
 14. Mardani, H.R. 2017. (Cu/Ni)-Al layered double hydroxides @ Fe₃O₄ as efficient magnetic nanocomposite photocatalyst for visible-light degradation of methylene blue. *Research on Chemical Intermediates*, 43: May 2017. 5795-5810.
 15. Nabizadeh, S., Sadegh-Zadeh, F., Jalili, B., and Emadi, S.M. 2019. Adsorption of methylene blue using biochar, soil and treated soil with biochar from aqueous solutions. *Gorgan, J. Water Soil Cons.* 25: 6. 281-292. (In Persian)
 16. Newman, S.P., and Hones, W. 1998. Synthesis, characterization and applications of layered double hydroxides containing organic guests. *New J. Chem.* 22: 2. 105-115.
 17. Parks, J.L., and Edwards, M. 2005. Boron in the environment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 35: 2. 81-114.
 18. Peak, D., Luther, G.W., and Sparks, D.L. 2003. ATR-FTIR spectroscopic studies of boric acid adsorption on hydrous ferric oxide. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67: 14. 2551-2560.
 19. Pourfaraj, R., Kazemi, S.Y., Fatemi, S.J., Biparva, P. 2018. Synthesis of α - and β -CoNi binary hydroxides nanostructures and luminol Chemiluminescence study for H₂O₂ detection. *J. Photochem. Photobiol.: Chemistry*, 364: September 2018. 534-541.
 20. Seida, Y., and Nakano, Y. 2002. Removal of phosphate by layered double hydroxides containing iron. *Water Research*, 36: 5. 1306-1312.
 21. Sparks, D.L. 2003. *Environmental Soil Chemistry*. Second Edition. Library of Congress Control Number: 2002104258. 187-190.
 22. Tahir, M.A., Nawaz, H., and Iqbal, M. 2016. Solar Red and Brittle Blue direct dyes adsorption onto Eucalyptus angophoroides bark: equilibrium, kinetics and thermodynamic studies. *J. Environ. Chem. Engin.* 4: 2. 2431-2439.
 23. Wolska, J., and Bryjak, M. 2013. Methods for boron removal from aqueous solutions- A review. *Desalination*, 310: February 2013. 18-24.
 24. Yan, L., Yang, K., Shan, R., Yan, T., Wei, J., Yu, S., Yu, H., and Du, Bin. 2015. Kinetic, isotherm and thermodynamic investigations of phosphate adsorption onto core-shell Fe₃O₄@LDHs composites with easy magnetic separation assistance. *J. Coll. Inter. Sci.* 448: 15 June 2015. 508-516.
 25. Yilmaz, A.E., Boncukcuoglu, R., Yilmaz, M.T., and Kocakerim, M.M. 2005. Adsorption of boron from boron-containing wastewaters by ion exchange in a continuous reactor. *J. Hazard. Mater.* 117: February 2005. 221-226.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 27(4), 2020

<http://jwsc.gau.ac.ir>

DOI: 10.22069/jwsc.2020.17711.3321

Research Full Paper

Study of Zn and Mg Hydrotalcite-Like Nanoparticles for Adsorption and Desorption of Boron from Aqueous Media

E. Fattahi Kiasari¹, *A. Fotovat², Gh.H. Haghnia², A. Halajnia³
and H.R. Mardani⁴

¹Ph.D. Student, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, ²Professor, Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, ³Assistant Prof., Dept. of Soil Science, Ferdowsi University of Mashhad, ⁴Assistant Prof., Dept. of Chemistry, Payame Noor University, Tehran, Iran

Received: 02.22.2020; Accepted: 05.27.2020

Abstract

Background and Objectives: Boron is one of the micronutrient elements required by plants. High concentrations of this element in agricultural waters, especially in arid and semi-arid regions, cause toxicity in plants grown in these areas. Various methods have been proposed to reduce the concentration of boron in water and soil of which surface adsorption is one of the most important. In recent years, the use of layered double hydroxides (LDHs) or hydrotalcite (HT)-like, compounds as anionic adsorbents from aqueous solutions has been taken into special consideration. One of the most important reasons for the use of attractions is affordability. If in addition to high adsorption efficiency, they can be reused, can be used on a large scale. Therefore, according to these points, in addition to measuring the adsorption capacity of boron by LDH types, the quality and adsorption of boron were also evaluated; because it plays a significant role in its reusability.

Materials and Methods: In this research, two types of layered double hydroxides (LDHs) with different kinds of metal ions (Mg-Al and Mg-Fe) were prepared by co-precipitation method in nanometer dimensions, and their adsorption features were evaluated in vitro to remove boron from aqueous solution. The Hydrotalcite-like features were determined by chemical analysis, X-ray diffraction (XRD), Fourier Transform infrared spectroscopy (FTIR) and Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS). The affinity of these materials for adsorption of different species of boron in solution was studied as a function of pH, contact time, LDHs quantity and B concentration (Langmuir and Freundlich adsorption isotherms).

Results: Boron removal was independent of the solutions' initial and final pH because of the high buffering capacity of the LDHs. The highest amount of boron was adsorbed on Mg-Al-LDH and Zn-Al-LDH, at the first 10 and 20 minutes, respectively. The equilibrium time required for adsorption of boron from aqueous solution was determined to be 80 minutes for both types of LDH. Boron adsorption capacity increased in the range of experimental values (0.5-5 gr/lit) and application of 5 gr/lit of Mg-Al-LDH and Zn-Al-LDH absorbed 52% and 60% of the initial boron amount, respectively. The data were consistent with the Langmuir model adsorption isotherms, which are L-Type isotherms, indicating that $B(OH)_4^-$ is adsorbed preferentially on HT-like materials. Zn-Al-LDH with the maximum adsorption capacity of 3 mg/gr had a higher adsorption capacity for boron than Mg-Al-LDH (with the highest adsorption of 2.48 mg/gr). On the other hand, boron desorption of Zn-Al-LDH by 200 mg/l nitrate solution was higher than Mg-Al-LDH.

* Corresponding Author; Email: afotovat@um.ac.ir

Conclusion: The use of 0.5 g of each adsorbent in one liter of boron-contaminated water with a concentration of 2 mg/l, decreased the final boron concentration to below the recommended limit by WHO for drinking water (0.5 mgL^{-1}). Both types of LDH have a high ability to remove boron from contaminated solutions; However, with the aim of reusing the adsorbent and of course its "cost-effectiveness", Zn-Al-LDH nanosorbent can have better applicability due to its higher adsorption and desorption than Mg-Al-LDH nanosorbent.

Keywords: Adsorption, Boron, Desorption, Isotherm, LDHs

