

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## حذف فلزات سنگین از پساب با استفاده از پسماندهای صنعتی به عنوان جاذب

مریم فخارزاده<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> عضو هیئت علمی، گروه صنایع شیمیایی، دانشگاه فنی و حرفه ای، تهران، ایران

mfakharezadeh@tvu.ac.ir

### چکیده

آلودگی فلزات سنگین به علت خطراتی که برای اکوسیستم و سلامت انسان دارد، توجه گسترده ای را به خود جلب کرده است. روش های متعددی برای حذف فلزات سنگین از محلول های آبی وجود دارد که اغلب این روش ها در غلظت های بالا از فلزات سنگین کاربرد دارند و دارای معایبی از جمله، هزینه زیاد، تولید لجن و سایر مواد سمی می باشند. فرایند جذب با توجه به این که روشی کم هزینه، ساده و موثر برای حذف فلزات سنگین در غلظت های کم است، در کشورهای در حال توسعه مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. فسفوگپسوم به عنوان یک محصول جانبی در فرایند تهیه کودهای فسفاته، یکی از ترکیباتی است که پس از خنثی سازی و تبدیل به کلسیم فلوراید، می توان از آن به عنوان جاذب فلزات سنگین استفاده نمود. در این پژوهش، نانو ذرات کلسیم فلوراید با استفاده از یک روش ساده یک مرحله ای تهیه گردید و به عنوان جاذب برای حذف Zn(II) و Pb(II) از محلول های آبی استفاده شد. نانوذرات حاصله برای تعیین خواص ساختاری با دستگاه های پراش اشعه ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مورد بررسی قرار گرفت. مطالعات جذب به صورت تابعی از PH، مدت تماس و مقدار جاذب در سیستم ناپیوسته انجام شد. مدل های ایزوترم جذب لانگمویر و ایلوویج برای تعیین کارایی نانوذرات کلسیم فلوراید به عنوان جاذب مورد استفاده قرار گرفتند و داده های آزمایشگاهی با مدل های ایزوترم لانگمویر و ایلوویج تطابق خوبی را نشان داد.

### واژه های کلیدی

کلسیم فلوراید، روی، سرب، پساب، جذب، مدل ایزوترمی

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## ۱. مقدمه

آلودگی آب یکی از بزرگترین مسائل زیست محیطی است که مشکلات زیادی را برای موجودات زنده ایجاد می کند. به عبارتی می توان گفت آلاینده های زیست محیطی باعث ایجاد یک مشکل بزرگ در سراسر جهان شده است [1]. در کشورهای در حال توسعه، کمبود آب و آلودگی آن، دسترسی به آب آشامیدنی مناسب را مشکل تر می سازد. با وجود این که آلودگی آب با عوامل میکروبی مانند ویروس ها و باکتری ها، بزرگ ترین تهدید برای سلامتی انسان است، ازدیاد فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی نیز یک مشکل عمده می باشد که با افزایش فعالیت های صنعتی افزایش یافته و بنابراین منجر به افزایش آلودگی آب با فلزات سنگین شده است [2]. فلزات سنگین به دلیل ماهیت سمی و سرطان زا بودن و همچنین اثرات مضر آنها بر سلامت انسان مورد توجه ویژه ای هستند [3]. به دلیل اثرات فلزات سنگین بر سلامت انسان، تحقیقات قابل توجهی در مورد روش های حذف فلزات سنگین از منابع آب آشامیدنی، فاضلاب های شهری و صنعتی و سایر منابع آب انجام شده است و روش های زیادی برای حذف یون های فلزی از پساب ها مورد استفاده قرار گرفته است که هر یک از آن ها دارای مزایا و معایبی می باشند ولی بیش تر آن ها به دلیل هزینه زیاد یا حذف ناقص فلزات سنگین و تولید لجن های سمی دارای کاستی هایی هستند [2]. متداول ترین فلزات یافت شده در فاضلاب ها، سرب، روی، مس، کادمیم، کروم و نیکل هستند [4]. در بسیاری از کشورهای توسعه یافته با استفاده از روش هایی مانند فیلتراسیون غشایی [5] انعقاد الکتریکی [6] اصلاح میکروبی [7] استفاده از کربن فعال [8] فناوری نانو کربن [9] به بازده بالایی برای حذف فلزات سنگین دست یافته اند. با این حال، این روش ها برای حذف غلظت های پایین فلز، مناسب نیستند. کشورهای در حال توسعه به روش های رایج تصفیه آب برای حذف فلزات سنگین دسترسی ندارند، در نتیجه تحقیقات قابل توجهی برای بررسی استفاده از جاذب های کم هزینه برای حذف فلزات سنگین از منابع آب انجام شده است [2]. فرایند جذب یک تکنیک مناسب برای حذف آلاینده های معدنی و آلی از فاضلاب است، زیرا مزایای قابل توجهی مانند هزینه کم، در دسترس بودن، سودآوری، سهولت کارکرد، کارایی و اثربخشی برای غلظت کم فلزات سنگین نسبت به سایر تکنیک ها دارد [10]. [11]. جاذب های ارزان قیمتی که مورد بررسی قرار گرفته اند شامل انواع مختلف پسماندهای کشاورزی [12]، خاک و مواد معدنی [13] و سایر مواد زائد مانند محصولات جانبی صنعتی [14]، که معمولاً در کشورهای در حال توسعه یافت می شوند. این جاذب های کم هزینه، مواد زیست پذیر و مقرون به صرفه ای هستند که می توان از آنها برای حذف فلزات سنگین از آب استفاده کرد [2]. فسفوگیپسوم (PG) یک محصول جانبی از صنعت تولید کود فسفات است. تقریباً ۶-۴ تن PG در هر تن اسید فسفریک تولید می شود. رشد مداوم جمعیت جهان، تقاضای تولید مواد غذایی را افزایش می دهد که نیاز به افزایش تولید کود فسفات و در نتیجه موجب افزایش مقدار PG می گردد. کاهش دفع این محصول جانبی منافع اقتصادی و زیست محیطی زیادی دارد. به این ترتیب، بسیاری از محققان به منظور به حداقل رساندن هزینه های ذخیره سازی و کاهش اثرات منفی بهداشت عمومی و زیست محیطی آن تمرکز کردند. به عنوان مثال، PG در مصالح ساختمانی [15]، به عنوان کود کشاورزی [16] مورد استفاده قرار گرفته است. هم چنین در نتیجه خنثی سازی فسفوگیپسوم،  $\text{CaF}_2$  و  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  حاصل می گردد [17]. کلسیم فلوراید تهیه شده در نتیجه خنثی سازی فسفوگیپسوم توانایی بسیار خوبی را در حذف کادمیم از فاضلاب نشان داده است [18]. در این پژوهش، قابلیت کلسیم فلوراید برای حذف  $\text{Pb(II)}$  و  $\text{Zn(II)}$  به روش جذب در شرایط تعیین شده مطالعه شد، هم چنین داده های تجربی تعادل جذب با مدل های ایزوترم جذب لانگمویر و ایلوویج مورد بررسی قرار گرفت.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

## ۲. بخش تجربی

### ۱.۲. تهیه $\text{CaF}_2$

در این مطالعه، مقدار جذب یون های  $\text{Zn(II)}$  و  $\text{Pb(II)}$  از پساب ساختگی توسط نانو ذرات کلسیم فلوراید به عنوان جاذب مورد بررسی قرار گرفت. نانو ذرات کلسیم فلوراید در یک واکنش ساده یک مرحله ای تهیه شد، بدین صورت که ۱۰۰ ml از محلول  $\text{NaF}$  با غلظت  $0.2\text{M}$  به آرامی و قطره قطره به ۱۰۰ ml از محلول  $\text{CaCl}_2$  با غلظت  $0.2\text{M}$  همراه با همزدن شدید به مدت ۲ ساعت اضافه شد. سپس مخلوط را به مدت ۱۵ دقیقه با سرعت  $4000\text{rpm}$  سانتریفوژ نموده و پس از جداسازی، جامد حاصله را با آب مقطر چندین بار شسته و در نهایت در دمای  $100^\circ\text{C}$  خشک گردید.

### ۲.۲. ویژگی های ساختاری

ویژگی های ساختاری نانو ذرات کلسیم فلوراید تهیه شده با استفاده از پراش اشعه X (XRD) و میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ساختار بلوری نانوذرات تهیه شده با طیف سنجی XRD مدل (PANalytical XPert-Pro)، با تشعشع  $\text{Cu K}\alpha$  و  $\lambda = 1.54 \text{ \AA}$  انجام شد و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) مدل (Zeiss-EMLOC-80kv)، اندازه نانوذرات تهیه شده مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. همچنین برای تعیین خصوصیات سطح نانو ذرات  $\text{CaF}_2$  به عنوان جاذب،  $\text{PHZPC}$  مشخص گردید. در  $\text{PHZPC}$ ، بارهای سطحی جاذب برابر صفر می شوند و در  $\text{PH} > \text{PHZPC}$ ، سطح جاذب دارای بار منفی است و در نتیجه یون های با بار مخالف یعنی یون های مثبت به آسانی جذب سطح جاذب می گردند. همچنین در  $\text{PH} < \text{PHZPC}$  سطح جاذب با بار مثبت، یون های با بار منفی را جذب می نماید [19]. برای تعیین  $\text{PHZPC}$  از محلول سدیم کلرید  $0.1\text{M}$  مولار به عنوان الکترولیت و از محلول های کلریدریک اسید و سود  $0.1\text{M}$  مولار برای تنظیم pH استفاده گردید [20].  $50\text{ ml}$  لیتر از محلول تهیه شده را در  $9\text{ ml}$  ارلن  $100\text{ ml}$  لیتری ریخته، پس از تنظیم pH از  $4$  تا  $12$  به هر ارلن  $0.1\text{ g}$  گرم جاذب اضافه نموده و به مدت  $48$  ساعت در دمای اتاق هم زده و پس از این مدت، pH نهایی محلول ها تعیین گردید.

### ۳.۲. آزمایشات جذب

برای تهیه محلول های استوک روی و سرب ( $100\text{ mg/lit}$ )، از  $\text{PbCl}_2$  و  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  تهیه شده از شرکت مرک به عنوان پساب ساختگی استفاده شد. آزمایشات جذب با اضافه نمودن  $0.1\text{ g}$  گرم از نانو ذرات کلسیم فلوراید به  $50\text{ ml}$  از محلول برای هر یک از یون های  $\text{Zn(II)}$  و  $\text{Pb(II)}$  با غلظت  $50\text{ ppm}$  به طور جداگانه انجام شد و برای جدا کردن جامد از مخلوط از سانتریفوژ با سرعت  $4000\text{ rpm}$  استفاده گردید. غلظت نهایی باقی مانده یون های  $\text{Zn(II)}$  و  $\text{Pb(II)}$  در محلول توسط دستگاه جذب اتمی Perkin,Elmer مدل  $2380$  اندازه گیری شد. مقدار یون فلزات جذب شده بر روی نانو ذرات  $\text{CaF}_2$  با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید و راندمان جذب یون فلزی نیز از معادله (۲) محاسبه گردید.

(۱)

$$q_e = \frac{(c_i - c_e)v}{m}$$

$$\text{راندمان جذب} = \frac{c_i - c_e}{c_i} \times 100 \quad (۲)$$

$C_e$  و  $C_i$  به ترتیب غلظت های ابتدایی و نهایی یون فلزی برحسب  $(\text{mg/lit})$ ،  $v$  حجم محلول بر حسب  $\text{lit}$  و  $m$  مقدار جاذب برحسب  $\text{gr}$  است و  $q_e$ ، ظرفیت جذب در زمان تعادل برحسب  $(\text{mg/lit})$  است.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

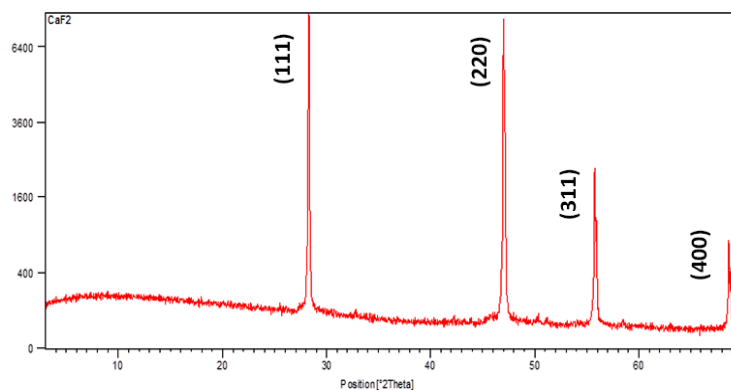
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

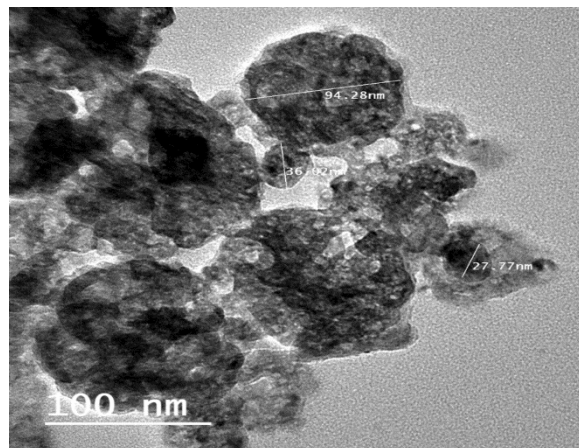
## ۳. نتایج و بحث

### ۱.۳. ویژگی های $\text{CaF}_2$

شکل ۱ الگوی پراش اشعه X کلسیم فلوراید تهیه شده را نشان می دهد که نشان دهنده وجود کلسیم فلوراید است. در واقع، پیک های پراش در  $2\theta = 28.3^\circ$ ،  $47^\circ$ ،  $55.8^\circ$  و  $68.7^\circ$  به ترتیب، مربوط به باز تاب ساختار مکعبی در  $400$ ،  $311$ ،  $220$ ،  $111$  می باشد [21]. تصویر TEM ارائه شده در شکل ۲ نشان می دهد که محدوده اندازه ذرات  $\text{CaF}_2$  بین ۲۵ تا ۱۰۰ نانومتر است.



شکل ۱. الگوی پراش پرتو ایکس نانوذرات  $\text{CaF}_2$  سنتز شده



شکل ۲. تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری نانوذرات  $\text{CaF}_2$  سنتز شده

### ۲.۳. اثر PH

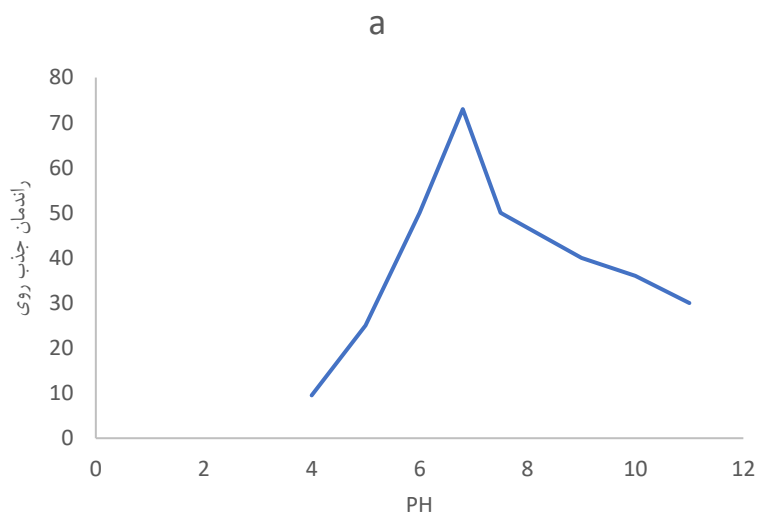
یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار بر میزان جذب، PH است که با تاثیر بر میزان و نوع بار سطحی جاذب و شیمی محلول های فلزی بر میزان جذب تاثیر می گذارد [22]. از آنجایی که  $\text{CaF}_2$  در PH کمتر از ۳ پایدار نبوده و انحلال پذیری زیادی در HCl دارد، مطالعات PH در محدوده ۴ تا ۱۲ با غلظت ۵۰ ppm از محلول روی و سرب و مقدار جاذب ۰/۱ گرم مورد بررسی قرار گرفت [23]. شکل ۳(a,b)، اثر PH بر درصد جذب  $\text{Zn(II)}$  و  $\text{Pb(II)}$  توسط کلسیم فلوراید را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که ماکزیمم جذب  $\text{Zn(75\%)}$  و  $\text{Pb(95\%)}$  در PH های ۶/۸ برای روی و ۸/۶ برای سرب حاصل می گردد. همان طور که در شکل ۴ مشاهده می شود،  $\text{PH}_{\text{ZPC}}$  برای کلسیم فلوراید برابر ۶ است. در  $\text{PH}=6/8$ ،  $\text{Zn(II)}$  به صورت  $\text{Zn}^{2+}$ ، در حالی که در  $\text{PH}=8/6$ ،  $\text{Pb(II)}$  به صورت  $\text{Pb}^{2+}$ ،  $\text{Pb(OH)}^+$ ،  $\text{Pb}_3(\text{OH})_4^{2+}$  و  $\text{Pb(OH)}_2$  در محلول وجود دارد. جذب

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

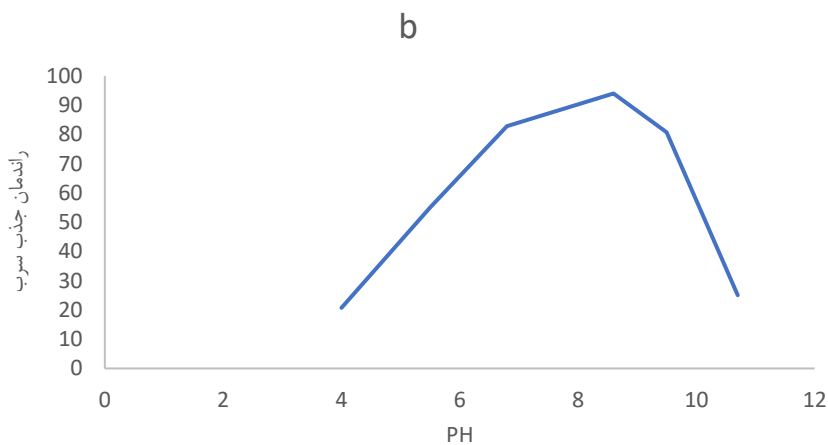
11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

Zn(II) تا PH کمتر از ۷ انجام می شود زیرا در PH بالاتر به صورت  $Zn(OH)_2$  رسوب می کند. از طرف دیگر PH نزدیک به ۹ بالاترین PH برای جذب Pb(II) است. زیرا در مقادیر بالاتر Pb(II) به طور عمده به صورت  $Pb(OH)_2$  خواهد بود. بنابراین در محیط قلیایی گونه های هیدروکسیل می توانند در جذب مشارکت داشته و شروع به رسوب گذاری بر روی سطح جاذب نمایند [24].



شکل a. ۳. اثر PH بر راندمان جذب روی

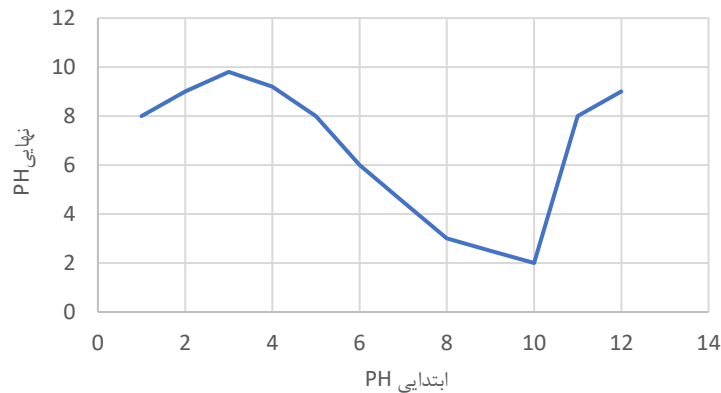


شکل b. ۳. اثر PH بر راندمان جذب سرب

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

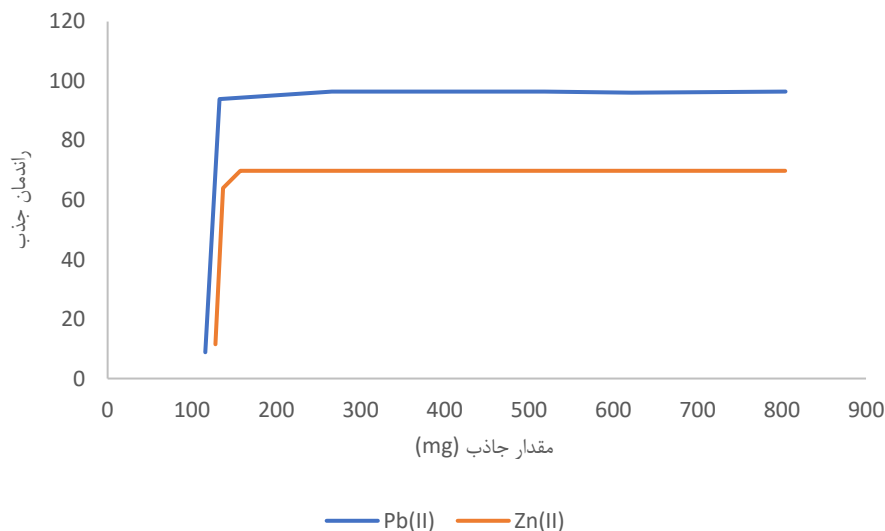
senaconf.ir



شکل ۴. تعیین PHZPC کلسیم فلوراید سنتز شده

### ۳.۳. اثر مقدار جاذب

بررسی تاثیر مقدار جاذب بر میزان جذب در مدت زمان و غلظت ثابت از روی و سرب در  $PH = 6/8$  برای روی و  $PH = 6/8$  برای سرب انجام شد، شکل ۵ اثر مقدار جاذب بر راندمان جذب Zn(II) و Pb(II) را نشان می دهد. براساس نتایج حاصله ماکزیمم راندمان جذب Zn(II) برابر ۷۰٪ با مقدار جاذب ۰/۱۵ گرم و برای Pb(II) ۹۳٪ با مقدار جاذب ۰/۱۳ گرم است.



شکل ۵. اثر مقدار جاذب بر راندمان جذب روی و سرب

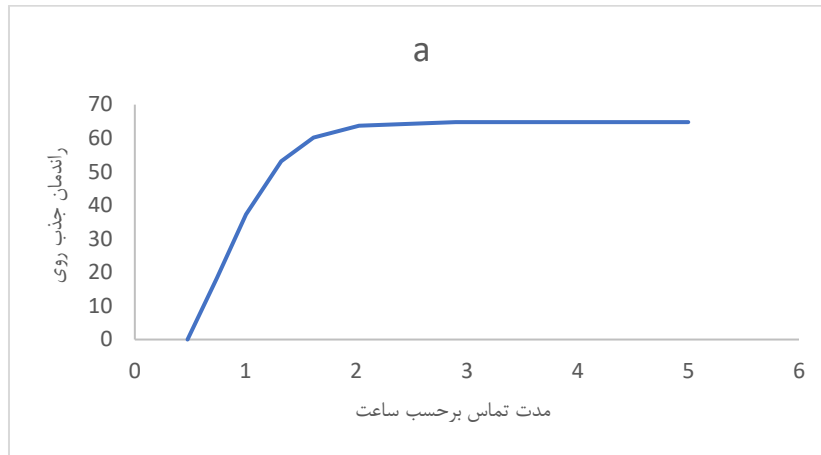
### ۴.۳. اثر مدت تماس

یکی از پارامترهای بررسی شده در این مطالعه مدت تماس بین جاذب و آلاینده است، زمان لازم برای رسیدن سیستم به حالت تعادل به ماهیت جاذب بستگی دارد [25]. تغییر در میزان جذب فلز با مقدار ۰/۱ گرم از جاذب در مدت زمان ثابت و مقدار PH بهینه در شکل ۶(a,b) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که جذب Pb(II) سریع تر از Zn(II) انجام می شود. در واقع می توان گفت برای Pb(II) پس از ۱۰ دقیقه و برای Zn(II) بعد از ۹۰ دقیقه، حداکثر راندمان جذب را خواهیم داشت.

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir



شکل ۶a. اثر مدت تماس بر راندمان جذب روی



شکل ۶b. اثر مدت تماس بر راندمان جذب سرب

### ۵.۳. ایزوترم جذب

برای ارزیابی موفقیت آمیز تعامل جذب شده / جاذب، از دو مدل ایزوترم (لانگمویر، ایلوویچ) برای توصیف تعادل استفاده شد. این مدل ها رابطه بین میزان فلز جذب شده در واحد جرم جاذب ( $q_e$ ) و غلظت باقی مانده آن در محلول ( $C_e$ ) را نشان می دهند. شناخته شده ترین مدل دو پارامتری خطی، ایزوترم جذب لانگمویر است، که به صورت زیر نشان داده می شود:

(۳)

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

بطوری که  $q_e$  ظرفیت جذب ( $\frac{mg}{g}$ )،  $C_e$  غلظت ماده جذب شونده ( $\frac{mg}{L}$ ) در حالت تعادل،  $q_m$  حداکثر ظرفیت جذب جاذب ( $\frac{mg}{g}$ ) و  $K_L$  ثابت جذب لانگمویر ( $\frac{L}{mg}$ ) می باشد. برای مدل ایزوترم ایلوویچ، معادله در حال تعادل به صورت زیر است:

# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

$$\log\left(\frac{q_e}{C_e}\right) = \log(K_E * q_m) + \frac{q_e}{q_m} \quad (4)$$

در این معادله،  $q_e$  ظرفیت جذب ( $\frac{mg}{g}$ )،  $C_e$  غلظت ماده جذب شونده ( $\frac{mg}{L}$ ) در حالت تعادل،  $q_m$  ماکزیمم ظرفیت جذب جذب ( $\frac{mg}{g}$ ) و  $K_E$  ثابت تعادل مدل ایلوویج ( $\frac{L}{mg}$ ) است. جدول ۱ مقادیر پارامترهای نسبی محاسبه شده از مدل های ایزوترم لانگمویر و ایلوویج را نشان می دهد. برای جذب سرب، نتایج نشان می دهد که داده های تجربی به خوبی با مدل ایزوترم لانگمویر مطابقت داشته و ضریب همبستگی ( $R^2=1$ ) و حداکثر ظرفیت جذب توسط جذب ( $q_m=9/23$ ) است. در صورتی که برای فلز روی، با وجود این که ضریب همبستگی ( $R^2=0/996$ ) و حداکثر ظرفیت جذب توسط جذب ( $q_m=2/22$ )، داده های تجربی تطابق خوبی با مدل ایزوترم لانگمویر نشان نمی دهند زیرا ثابت جذب لانگمویر دارای مقدار منفی ( $K_L < 0$ ) است. در مدل ایزوترم ایلوویج، ضریب همبستگی برای فلز روی ( $R^2=0/997$ ) و حداکثر ظرفیت جذب توسط جذب ( $q_m=1/82$ ) و در مورد فلز سرب ( $R^2=0/990$ ) و حداکثر ظرفیت جذب توسط جذب ( $q_m=0/35$ )، نشان دهنده این است که مدل ایزوترم ایلوویج تطابق خوبی با داده های تجربی برای جذب فلز روی نشان می دهد.

جدول ۱. پارامترهای ایزوترم برای جذب Zn(II) و Pb(II) توسط نانوذرات کلسیم فلوراید

مدل های ایزوترمی	پارامترها	Pb (II)	Zn (II)
لانگمویر	$q_m$ (mg/g)	9.23	2.22
	$K_L$ (L/mg)	36.1	-0.122
	$R^2$	1	0.996
ایلوویج	$q_m$ (mg/g)	0.35	1.82
	$K_E$ (L/mg)	$8.2 \times 10^{-11}$	0.12
	$R^2$	0.990	0.997

## ۴. نتیجه گیری

در کشورهای در حال توسعه، افزایش کمبود آب و آلودگی آن باعث عدم دسترسی قابل توجهی به آب آشامیدنی مناسب می شود و آلودگی با فلزات سنگین در منابع آب آشامیدنی یک نگرانی رو به رشد است. در این مطالعه توانایی نانوذرات کلسیم فلوراید به عنوان جذب برای حذف یون های روی و سرب از محلول های آبی با بررسی تاثیر عوامل مختلف از جمله، PH محلول، مدت زمان تماس و مقدار جذب در فرایند جذب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد که حداکثر راندمان جذب روی در  $PH=6/8$  و برای سرب در  $PH=8/6$  حاصل گردید. در بررسی اثر مقدار جذب در فرایند جذب، بیشترین مقدار جذب روی با  $0/15$  گرم و برای سرب  $0/13$  گرم از جذب حاصل شد. همچنین مشخص شد که زمان تماس  $90$  دقیقه برای فلز روی و  $10$  دقیقه برای سرب برای رسیدن به میزان تعادل جذب کافی است. فرایند تعادل با استفاده از ایزوترم لانگمویر و ایلوویج بررسی شده و مشخص گردید برای جذب یون سرب توسط نانوذرات کلسیم فلوراید، مدل لانگمویر و برای جذب روی مدل ایلوویج مناسب تر است. بنابراین نانوذرات کلسیم فلوراید می تواند گزینه مناسبی برای حذف روی و سرب از محلول های آبی باشد.



# یازدهمین کنگره ملی سراسری فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

منابع

- [1] Uddin, M. K., 2017. A review on the adsorption of heavy metals by clay minerals, with special focus on the past decade, *Chemical Engineering Journal*, 308, 438-462.
- [2] Joseph, L., Jun, B.M., Flora, J. R. V., Park, C. M., & Yoon, Y., 2019. Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials, *Chemosphere*, 229, 142-159.
- [3] Gleason, K. M., 2016. Stunting is associated with blood lead concentration among Bangladeshi children aged 2-3 years, *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15(1), 103-118.
- [4] Gupta, V. K., Carrott, P.J.M., 2009. Low-Cost Adsorbents: Growing Approach to Wastewater Treatment, *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 39(10), 783-842.
- [5] Kim, S., Chu, K. H., Al-Hamadani, Y., & Park, C., 2018. Removal of contaminants of emerging concern by membranes in water and wastewater, *Chemical Engineering Journal*, 335(1), 896-914.
- [6] Al-Qodah, Z., Al-Shannag, M., 2017. Heavy metal ions removal from wastewater using electrocoagulation processes, *Separation Science and Technology*, 52(17), 2649-2676.
- [7] Ayangbenro, A., Babalola, O., 2017. A new strategy for heavy metal polluted environments, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(1), 94-109.
- [8] Li, J., Zheng, B., He, Y., & Zhou, Y., 2018. Antimony contamination, consequences and removal techniques, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 156(1), 125-134.
- [9] Xu, J., Cao, Z., Zhang, Y., & Yuan, Z., 2018. A review of functionalized carbon nanotubes and graphene for heavy metal adsorption from water, *Chemosphere*, 195(1), 351-364.
- [10] Rao, R., Ikram, S., & Uddin, M.K., 2015. Removal of Cr(VI) from aqueous solution on seeds of *Artimisia absinthium*, *Desalination and Water Treatment*, 54(12), 3358-3371.
- [11] Rao, R., Kashifuddin, M., 2012. Adsorption properties of coriander seed powder (*Coriandrum sativum*): Extraction and pre-concentration of Pb(II), Cu(II) and Zn(II) ions from aqueous solution, *Adsorption Science and Technology*, 30(2), 127-146.
- [12] Sabir, A., Altaf, F., Batool, R., & Shafiq, M., 2021. Agricultural Waste Absorbents for Heavy Metal Removal, In *Green Adsorbents to Remove Metals, Dyes and Boron from Polluted Water* 195-228. Atlanta: Springer, Cham.
- [13] Huang, B., Li, Z., Huang, J. & Guo, L., 2014. Adsorption characteristics of Cu and Zn onto various size fractions of aggregates from red paddy soil, *Journal of Hazardous Materials*, 264, 176-183.
- [14] Hadi, P., Gao, P., Barford, J., & McKay, G., 2013. Novel application of the nonmetallic fraction of the recycled printed circuit boards as a toxic heavy metal adsorbent, *Journal of Hazardous Materials*, 252, 166-170.
- [15] Rashad, A., 2017. Phosphogypsum as a construction material, *Journal of Cleaner Production*, 166(2), 732-743.
- [16] Hentati, O., Abrantes, N., Caetano, A., & Bouguerra, S., 2015. Phosphogypsum as a soil fertilizer: Ecotoxicity of amended soil and elutriates to bacteria, invertebrates, algae and plants, *Journal of Hazardous Materials*, 294, 80-89.
- [17] Douahem, H., Hammi, H., & Hamzaoui, A.H., 2016. Modeling and optimization of phosphogypsum transformation into calcium fluoride using experimental design methodology, *Journal of the Tunisian Chemical Society*, 18, 106-113.
- [18] Hajem, B., M'Nif, A., 2011. Effect of phosphogypsum released solution on soil and aquifer water, *Asian Journal of Chemistry*, 23(11), 4805-4809.

یازدهمین کنگره ملی سراسری  
فناوریهای نوین در حوزه توسعه پایدار ایران

11<sup>th</sup> National Congress of  
the New Technologies in Sustainable Development of Iran

senaconf.ir

- [19] King, P., Rakesh, N., Lahari, S., & Kumar, Y., 2008. Biosorption of zinc onto *Syzygium cumini* L.: Equilibrium and kinetic studies, *Chemical Engineering Journal*, 144, 181-187.
- [20] Rivera-Utrilla, J., Bautista-Toledo, I., Ferro-García, M. A., & Moreno-Castilla, C., 2001. Activated carbon surface modifications by adsorption of bacteria and their effect on aqueous lead adsorption, *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 76, 1209–1215.
- [21] Tahvildari., K., Esmaili Pour. M., Gammamy, SH., & Nabi Pour, H., 2012. CaF<sub>2</sub> Nanoparticles: Synthesis and Characterization, *International Journal of Nano Dimension*, 2, 269-273.
- [22] Taşar, Ş., Kaya, F., & Özer, A., 2014. Biosorption of lead(II) ions from aqueous solution by peanut shells: Equilibrium, thermodynamic and kinetic studies, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1018-1026.
- [23] Ohashi Y., Nomura, M., 2014. Technique for Recovering Uranium from Sludge Like Uranium-Bearing Wastes Using Hydrochloric Acid, *Journal of Nuclear Science and Technology*, 51, 251-265.
- [24] Veli, S., Alyüz, B., 2007. Adsorption of copper and zinc from aqueous solutions by using natural clay, *Journal of Hazardous Materials*, 149, 226-233.
- [25] Roselyn Adhiambo, O., Kituyi, J. L., & Getenga, Z. M., 2015. Biosorption of Pb<sup>2+</sup> and Cr<sup>2+</sup> Using *Moringa Oleifera*, *Science Journal of Analytical Chemistry*, 3, 100-108.