

مقاله علمی-پژوهشی

## بهینه‌سازی حذف فسفات از زه‌آب‌های کشاورزی با استفاده از هیدروچار فعال شده با گاس نیشکر

لاله دیوبند هفشجانی<sup>۱\*</sup>، عبدعلی ناصری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۵/۱۸

### چکیده

تصفیه آب‌های آلوده با استفاده از بقایای کشاورزی یکی از راهکارهای مهم بهبود آلودگی محیط زیست است و علاوه بر آن، مدیریت مؤثر زباله‌های جامد آلی را به دنبال خواهد داشت. هدف از انجام این تحقیق حذف فسفات از زه‌آب‌های کشاورزی به روش جذب سطحی و بهینه‌سازی پارامترهای موثر بر جذب می‌باشد. پس از تهیه هیدروچار فعال شده با گاس نیشکر، خصوصیات مختلف آن به عنوان یک جاذب جدید با استفاده از دستگاه‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی، طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه، فلوروسانس اشعه ایکس، آنالیز عنصری تعیین گردید. سپس بهینه‌سازی پارامترهای موثر بر جذب با بررسی اثر پارامترهای اسیدیته محلول، مقدار جاذب، دمای محلول، وجود یون‌های رقیب و زمان تماس بر فرایند جذب فسفات انجام گردید. نتایج آزمایشگاهی به دست آمده با مدل‌های مختلف سینتیک (لاگرگرن، هو و همکاران و اورامی) و ایزوترم (فروندلیچ، لانگمویر و ردلیچ-پترسون) شبیه‌سازی شدند. نتایج نشان داد که اسیدیته بهینه جذب فسفات توسط جاذب مورد مطالعه برابر ۶، مقدار بهینه جاذب برابر ۱ گرم بر لیتر، زمان تماس بهینه برابر ۱۸۰ دقیقه می‌باشد. افزایش دما موجب افزایش میزان حذف فسفات گردید و از میان آنیون‌های رقیب، سولفات بیشترین تأثیر و کربنات کمترین تأثیر را بر حذف فسفات داشتند. حداکثر میزان جذب فسفات در شرایط بهینه توسط هیدروچار فعال شده با گاس نیشکر (۵۴/۶۹ میلی‌گرم بر گرم) بود. از بین مدل‌های سینتیک و ایزوترم، مدل سینتیک هو و همکاران و ایزوترم لانگمویر قادر به شبیه‌سازی بهتری از داده‌های آزمایشگاهی بودند.

واژه‌های کلیدی: جذب، سینتیک، ایزوترم، ترمودینامیک.

### مقدمه

گیاهی را تسریع می‌کند و به دنبال آن کاهش اکسیژن محلول، آسیب‌های اکولوژیکی و محیط‌زیستی را شامل می‌گردد. براساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، حد مجاز فسفات در آب‌های آشامیدنی کمتر از ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد (Fang et al., 2015; Kumar et al., 2019). با توجه به بالا بودن غلظت فسفات در منابع آب سطحی و زیرزمینی، حذف فسفات از آب و فاضلاب یکی از چالش‌های جهانی است. امروزه روش‌های مختلفی از جمله اسمز معکوس، الکترودیالیز، تکنیک‌های بیولوژیکی و جذب برای حذف فسفات از منابع آب آلوده وجود دارد (Karthikeyan and Meenakshi, 2019). از میان روش‌های نامبرده جذب سطحی به علت کم هزینه و کارآمد بودن، حذف انتخابی آلاینده و عدم به جای گذاشتن باقی مانده خطرناک، خصوصاً برای فاضلاب‌هایی که حاوی غلظت کمی از فسفات هستند، مورد استقبال وسیعی قرار گرفته است (Karthikeyan and Meenakshi, 2019). در سال‌های اخیر جاذب‌های مختلفی برای حذف فسفات استفاده شده است که می‌توان به کربن فعال پوشش دار، پوسته ذرت، بقایای میوه و ساقه ذرت اشاره

با افزایش جمعیت، جهان همواره نیازمند مواد غذایی بیشتری خواهد بود و تأمین این مواد، ارتباط مستقیم با مصرف کودهای مختلف در بخش کشاورزی دارد. فسفر بعد از نیتروژن مهمترین عنصر غذایی مورد نیاز برای رشد و توسعه محصولات کشاورزی می‌باشد. مهمترین نقش فسفر در فرایند تولید و انتقال انرژی می‌باشد. علاوه بر این فسفر برای افزایش تولید دانه، بهبود کیفیت محصول، مقاومت بیشتر ساقه، افزایش رشد ریشه و بلوغ زود هنگام محصول مناسب است. بدیهی است استفاده بیشتر از کودها، نه فقط سبب ایجاد هزینه‌های بیشتر برای کشاورزان، بلکه موجب آلودگی بیشتر منابع آب می‌شود. بالا بودن غلظت فسفات در آب، رشد آبیان و گونه‌های

۱- محقق پسا دکتری، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران  
۲- استاد، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران  
\* نویسنده مسئول: (Email: mdivband@gmail.com)

محیط خنک گردید و محتویات آن با آب دیونیزه شسته شدند تا pH آن‌ها ثابت گردد. پس از آن در دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد و به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند و محصولات جامد به دست‌آمده به‌عنوان هیدروچار باگاس نیشکر معرفی شدند. به‌منظور افزایش کارایی جاذب مورد مطالعه، هیدروچارهای تهیه شده با محلول کلرید منیزیم با نسبت ۱:۱ (گرم به میلی‌لیتر) وزنی در دمای اتاق روی هم‌زن قرار داده شدند. پس از طی ۲۴ ساعت، فاز جامد از مایع جدا شد و جهت از بین بردن باقی مانده مواد شیمیایی با آب دیونیزه شسته شدند. هیدروچارهای فعال شده به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدند. مورفولوژی سطح باگاس نیشکر و هیدروچار قبل و بعد از فعال شدن با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مدل (Leo 1455 VP)، گروه‌های عاملی موجود بر روی آن‌ها با استفاده از طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) مدل (FTIR, Spectrum GX, and Perkin- Elmer) تعیین درصد و نوع اکسیدهای فلزی با استفاده از دستگاه فلوتورسانس اشعه ایکس (XRF) مدل (JW-BK, Automatic Nitrogen Adsorption) و اکسیژن (Equipment Co. Ltd)، درصد کربن و نیتروژن، هیدروژن، اکسیژن و گوگرد هیدروچار با استفاده از دستگاه آنالیز عنصری (CHNSO) مدل (vario ELIII- elementar) و نقطه بار صفر جاذب (pHPzc<sup>1</sup>) با استفاده از محلول کلرید سدیم، اسید هیدروکلریک و هیدروکسید سدیم یک دهم مولار تعیین گردید (Divband Hafshejani et al., 2015).

#### آزمایش‌های تعیین شرایط بهینه جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

برای ساخت محلول استاندارد (۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) فسفات از نمک پتاسیم فسفات و آب دیونیزه استفاده گردید. سپس سایر غلظت مورد نیاز در آزمایش با رقیق سازی از محلول مادر تهیه گردید. آزمایش‌های تعیین شرایط بهینه جذب فسفات از زه‌آب‌های کشاورزی در دمای  $22 \pm 2$  درجه سانتی‌گراد مورد بررسی قرار گرفت. به منظور تعیین pH بهینه، جذب فسفات با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر توسط هیدروچار باگاس نیشکر، اثر مقادیر مختلف pH (۲-۱۱)، با مقدار جاذب ۱ گرم در لیتر و در طی زمان تماس ۲۴ ساعت مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های تعیین زمان تماس بهینه حذف فسفات در بازه زمانی (۵ تا ۲۴۰ دقیقه)، مقدار جاذب ۱ گرم در لیتر، غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفات و pH طبیعی انجام شد. آزمایش‌های تعیین مقدار جاذب بهینه برای جذب فسفات در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، در شرایط pH طبیعی، زمان تماس بهینه (زمان تعادل) و مقدار جاذب ۰/۲ تا ۱۰ گرم در لیتر ارزیابی شد. توانایی هیدروچار باگاس نیشکر در جذب فسفات در دماهای مختلف (۲۰ و ۴۰ درجه

کرد (Banu et al., 2019; Karthikeyan and Meenakshi, 2019; Fan and Zhang, 2018). بیوجار یکی از موادی است که اخیراً به منظور حذف آلاینده‌های مختلف از محلول‌های آبی در فرایند جذب سطحی مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. اما وجود مشکلاتی همچون کاربرد بقایای گیاهی به‌صورت خشک و تولید گازهای خطرناکی مثل مونوکسید کربن، متان و روغن به‌عنوان محصولات جانبی و به دنبال آن صرف انرژی و هزینه بیشتر، محققان را به سوی روش‌های جایگزین سوق داده است (Fang et al., 2015). یکی از روش‌های جایگزین پیشنهادی تولید هیدروچار است. هیدروچار نوعی بیوجار است که تحت فرایند کربن سازی هیدروترمال در یک ظرف سر بسته و دمای بین ۱۸۰ تا ۲۶۰ درجه سلسیوس، تولید می‌گردد (Liu et al., 2018; Zhao et al., 2018). وجود سلولز، همی سلولز و لیگنین در بقایای کشاورزی موجب می‌شود که آن‌ها خصوصیات ویژه‌ای از جمله گروه‌های عاملی COOH, O-H، سطح متخلخل و استحکام مکانیکی بالا دارا باشند و در نتیجه این خصوصیات قابلیت تبدیل به یک جاذب زیستی را داشته باشند (Feng et al., 2020). پژوهش‌های انجام شده در سال‌های اخیر نشان داده که هیدروچارها توانایی بالایی در جذب انواع آلاینده‌ها از محلول‌های آبی دارند که به عنوان مثال می‌توان به جذب فسفات توسط هیدروچار اصلاح شده ساقه تنباکو (He et al., 2019)، جذب سرب و کادمیوم توسط هیدروچار مغناطیسی (Khan et al., 2019)، جذب سرب توسط هیدروچار تهیه شده از پوست موز تازه (Zhou et al., 2017) و جذب سرب توسط هیدروچار مغناطیسی تولید شده از لجن فاضلاب صنعتی (Kazak and Tor, 2020) اشاره کرد. تحقیق حاضر با هدف بهینه‌سازی پارامترهای جذب فسفات از زه‌آب‌های کشاورزی با استفاده از هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در مقیاس آزمایشگاهی به‌صورت ناپیوسته در دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید.

#### مواد و روش‌ها

##### تهیه جاذب هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر و بررسی خصوصیات آن

برای تهیه هیدروچار، باگاس نیشکر (تفاله‌ی نیشکر که پس از شربت‌گیری از ساقه نیشکر به شکل توده‌ی فیبر خشک باقی می‌ماند) از کشت و صنعت تهیه گردید. سپس برای از بین بردن گرد و غبار چندین مرتبه با آب مقطر شسته شد و در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد خشک گردید. ۱۰ گرم از باگاس نیشکر که پس از آسیاب شدن از الک عبور داده شده بود با ۶۰ میلی‌لیتر آب دیونیزه مخلوط شد و به اتوکلاو استیل ضدزنگ با ظرفیت ۱۰۰ میلی‌لیتر اضافه گردید. سپس اتوکلاو برای مدت زمان ۴ ساعت در درجه حرارت ۲۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از گذشت زمان مذکور، اتوکلاو در دمای

1- pH value at the point of zero charge (pHPZC)

$$q_t = \frac{q_e^2 k_2 t}{1 + q_e k_2 t} \quad (۴)$$

$$q_t = q_e \left(1 - e^{-(k_{AV} t)^{n_{AV}}}\right) \quad (۵)$$

در روابط بالا،  $q_e$ : ظرفیت هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر برای جذب فسفات در حالت تعادل (mg/g)،  $q_t$ : ظرفیت هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر برای جذب فسفات در زمان  $t$  (mg/g)،  $k_1$ : ثابت جذب لاگ‌گرن (1/min)،  $k_2$ : ثابت جذب مدل هو و همکاران (g/mg.min)،  $K_{AV}$ : ثابت اورامی (1/min) و  $n_{AV}$  فاکتور جذب می‌باشد.

#### آزمایش‌های ایزوترم جذب فسفات توسط هیدروچار فعال

##### شده باگاس نیشکر

برای انجام آزمایش‌های ایزوترم جذب، محلول‌هایی با غلظت اولیه ۰ تا ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفات، اسیدیته بهینه و مقدار جاذب بهینه انتخاب شد. پس از اضافه کردن جاذب به محلول‌های آزمایش، با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه روی شیکر قرار داده شدند. پس از طی شدن زمان تماس بهینه و جداسازی جاذب، مقدار فسفات باقی مانده در محلول قرائت گردید. برای شبیه‌سازی داده‌های ایزوترم جذب از مدل‌های (لانگمویر (۱۹۱۸) (۴) (رابطه ۶)، (فروندلیچ (۱۹۰۹) (۵) (رابطه ۷) و (ردلیچ-پترسون (۱۹۵۹) (۶) (رابطه ۸) استفاده شد و ضرایب مدل‌ها محاسبه گردید.

$$q_e = \frac{b C_e q_m}{1 + b C_e} \quad (۶)$$

$$q_e = K_F C_e^{1/n} \quad (۷)$$

$$q_e = \frac{K_R C_e}{1 + a_R C_e^\beta} \quad (۸)$$

در روابط بالا،  $q_e$ : ظرفیت جذب هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در حالت تعادل (mg/g)؛  $q_t$ : غلظت فسفات در محلول در حالت تعادل (mg/L)؛  $q_m$ : ماکزیمم ظرفیت جذب هیدروچار باگاس نیشکر (mg/g)؛  $K_F$ : ثابت فروندلیچ (mg/g)؛  $n$ : توان فروندلیچ (mg/g)<sup>1/n</sup>؛  $a_R$ : ثابت جذب ردلیچ-پترسون (L/g)؛  $b$ : ثابت لانگمویر (L/g)؛  $K_R$ : ثابت انرژی ردلیچ-پترسون (L/g) است.

سانتی‌گراد) در شرایط pH طبیعی، زمان تماس بهینه و مقدار جاذب بهینه بررسی گردید. تاثیر وجود آنیون‌های رقیب کربنات، نیترات، کلراید، سولفات در غلظت‌های مختلف (۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر جذب فسفات در غلظت‌های مذکور و pH طبیعی، زمان تماس بهینه و مقدار جاذب بهینه ارزیابی شد. قابل ذکر است که کلیه آزمایش‌ها در سرعت همزنی ۲۰۰ دور در دقیقه انجام گردید. پس از هر آزمایش، فاز جامد و فاز مایع از یکدیگر جدا شدند و غلظت فسفات باقیمانده در محلول توسط دستگاه اسپکتوفتومتر مدل Hach, DR 5000 و ریجنت پودری فسفات Phosphate Reagent Powder Hach, Pillows, 10 mL, pk/100 تعیین گردید.

در نهایت درصد جذب فسفات و ظرفیت جذب هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر، به ترتیب از روابط ۱ و ۲ تعیین گردید (Manjunath and Kumar, 2018; Divband Hafshejani et al., 2015):

$$R\% = \frac{(C_i - C_e)}{C_i} \times 100 \quad (۱)$$

$$q_e = \frac{(C_i - C_e)}{m} \times V \quad (۲)$$

در روابط بالا،  $C_i$ : غلظت اولیه فسفات در محلول (mg/L)،  $C_e$ : غلظت نهایی فسفات در محلول (mg/L)،  $m$ : جرم جاذب (g)،  $V$ : حجم محلول (L)،  $R\%$ : جذب فسفات (%).  $q_e$ : ظرفیت هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر برای جذب فسفات (mg/g) می‌باشد.

#### آزمایش‌های سینتیک جذب فسفات توسط هیدروچار فعال

##### شده باگاس نیشکر

آزمایش‌های سینتیک جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در محلول‌هایی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر فسفات، اسیدیته بهینه و مقدار جاذب بهینه انجام شد. محلول‌های آزمایش برای مدت زمان‌های (۵ تا ۲۴۰ دقیقه)، با سرعت ۲۰۰ دور در دقیقه روی همزن قرار داده شدند. بعد از طی زمان‌های مذکور، هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر از محلول جدا گردید و مقدار فسفات در محلول‌ها قرائت شد. سپس برای شبیه‌سازی داده‌های سینتیک جذب از مدل‌های (لاگ‌گرن (۱۸۹۸) (۱) (رابطه ۳)، (هو و همکاران (۱۹۹۹) (۲) (رابطه ۴) و (اورامی (۱۹۳۹) (۳) (رابطه ۵) استفاده شد.

$$q_t = q_e (1 - e^{-k_1 t}) \quad (۳)$$

4- Langmuir

5- Freundlich

6- Redlich- Peterson

1- Lagergren

2- Ho et al

3- Avrami

$$\ln \frac{K_2}{K_1} = \frac{\Delta H^0}{R} \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) \quad (13)$$

$$\Delta S^0 = \frac{\Delta H^0 - \Delta G^0}{T} \quad (14)$$

### نتایج و بحث

#### خصوصیات هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

شکل (۱- الف، ب و ج) به ترتیب تصویر باگاس نیشکر، هیدروچار باگاس نیشکر قبل و بعد از اصلاح با کلرید منیزیم را نشان می‌دهد شکل (۱- الف) نشان می‌دهد که سطح باگاس نیشکر نسبتاً صاف با منافذ کوچک است که با تبدیل آن به هیدروچار، خلل و فرج های طولی در آن شکل می‌گیرد که نشان دهنده پیرولیز در دمای پایین است. با اصلاح هیدروچار به وسیله کلرید منیزیم، برخی ناخالصی‌های سطح آن که باعث مسدود شدن منافذ نیز گردیده بودند، حذف شدند و ساختار متخلخل لاله زنبوری هیدروچار فعال شده نمایان گردید. وجود ساختار لانه زنبوری در هیدروچار فعال شده نشان دهنده اسکلت کربن در ماده مذکور می‌باشد. قابل ذکر است که برخی محققین در نتایج تحقیق خود نیز عنوان کردند که وجود یون منیزیم بر روی هیدروچار، آن را به یک ماده متخلخل مشبک تبدیل کرد و اصلاح هیدروچار با یون منیزیم باعث افزایش درجه کربن‌سازی گردید (Liu et al., 2020; Karthikeyan and Meenakshi, 2019). همچنین سطح جاذب بعد از اصلاح نسبت به قبل از آن اسفنجی‌تر و دارای خلل و فرج بیشتری است به طوری که نشان دهنده وجود سایت‌های جذب بیشتر بر روی خود می‌باشد (۱- ج). نتایجی همانند نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Qiao et al., 2019).

#### ارزیابی مدل‌های سینتیک و ایزوترم جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

در این تحقیق به منظور ارزیابی مدل‌ها و دست‌یابی به بهترین مدل شبیه‌سازی جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر از دو آماره ضریب تعیین ( $R^2$ ) (رابطه ۹) و ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE) (رابطه ۱۰) استفاده شد (Abdelwaheb et al., 2019).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n-2} \sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2} \quad (9)$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave}) \cdot (P_i - P_{ave}))^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - O_{ave})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (P_i - P_{ave})^2} \quad (10)$$

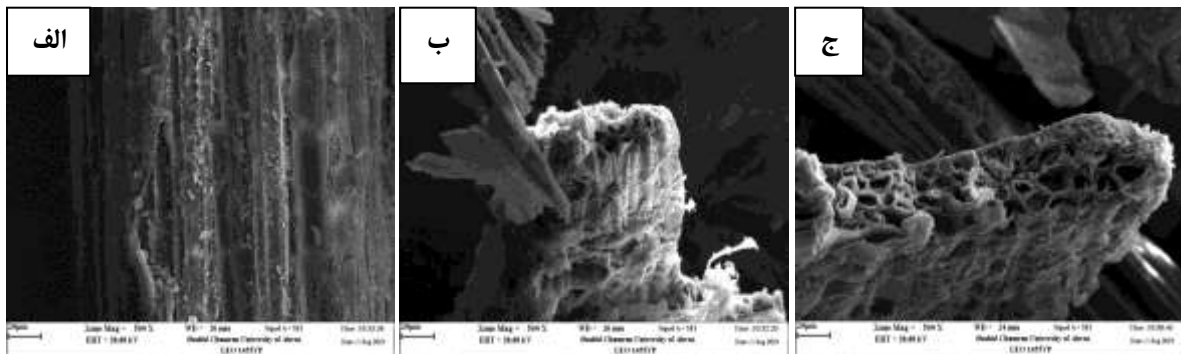
در روابط بالا،  $O_i$ : داده اندازه‌گیری شده  $i$  ام (در آزمایشگاه);  $O_{ave}$ : میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده (در آزمایشگاه);  $P_i$ : داده پیش‌بینی شده  $i$  ام (توسط مدل) و  $P_{ave}$ : میانگین داده‌های پیش‌بینی شده (توسط مدل) می‌باشند.

#### آزمایش‌های ترمودینامیک جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

به منظور بررسی ترمودینامیک جذب فسفات توسط هیدروچار باگاس نیشکر، پارامترهای مختلف همچون انرژی آزاد گیبس ( $\Delta G^0$ )، تغییرات آنتالپی ( $\Delta H^0$ ) و تغییرات آنتروپی ( $\Delta S^0$ ) با استفاده از روابط زیر (۱۱ تا ۱۴) محاسبه گردید (Kumar et al., 2011).

$$\Delta G^0 = -RT \ln K \quad (11)$$

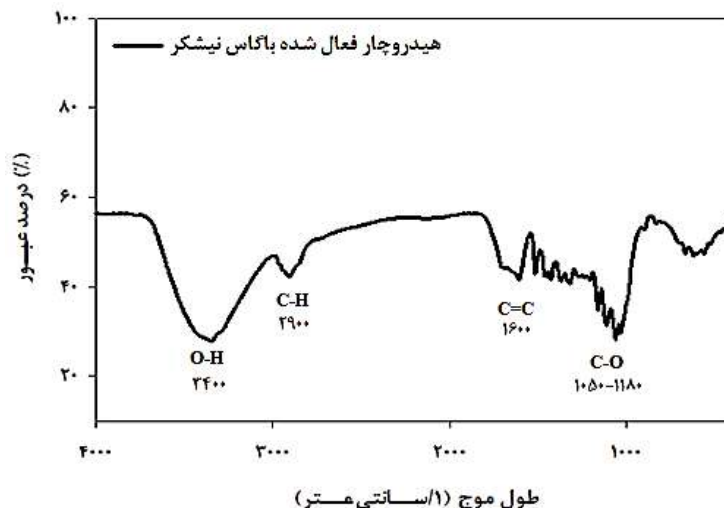
$$K = K_L \times 55.5 \quad (12)$$



شکل ۱- تصویر SEM با بزرگنمایی ۵۰۰۰. (الف) باگاس نیشکر، (ب) هیدروچار باگاس نیشکر، (ج) هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

عواملی O-H، C-H، C-O و C=C به ترتیب در طول موج ۳۴۰۰، ۲۹۰۰، ۱۰۵۰-۱۱۸۰ و ۱۶۰۰ تا بید گردید (Li et al., 2016; Son et al., 2018).

نتایج گروه‌های عاملی موجود بر روی هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر با استفاده از دستگاه طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۲، وجود گروه‌های



شکل ۲- تعیین گروه‌های عاملی موجود در هیدروچار فعال شده با گاس نیشکر با استفاده از طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه

صفر جذب مذکور (۵/۵۹) است و این نشان می‌دهد که این جاذب در pH پایین‌تر از ۵/۵۹، به علت دارا بودن بار مثبت توانایی بیشتری برای جذب آلاینده‌هایی با بار منفی دارد.

### تعیین اسیدیته بهینه جذب فسفات توسط هیدروچار باگاس نیشکر

بررسی تاثیر pH نقش مهمی در مطالعات جذب دارد و این تاثیر به دو عامل خصوصیات سطح جاذب و یونیزاسیون ماده جذب شونده بستگی دارد. نتایج تاثیر pHهای مختلف بر جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در شکل ۴ نشان داده شده است. همان‌طور که شکل ۴ نشان می‌دهد حداقل جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر (۲۶/۸۱ میلی‌گرم بر گرم) در pH برابر ۱۱ و حداکثر جذب آن (۴۸/۸۰ میلی‌گرم بر گرم) در pH اولیه ۶ و pH نهایی ۵/۱۲ رخ داد. pH بهینه جذب فسفات کمتر از نقطه بار صفر جاذب است؛ هنگامی که pH محلول کمتر از pH نقطه بار صفر جاذب باشد، سطح جاذب دارای بار مثبت بوده و تمایل زیادی به جذب آلاینده‌هایی با بار منفی همچون فسفات دارد. از طرفی در مطالعه حاضر حضور یون‌های منیزیم با بار مثبت که جهت پوشش‌دار کردن جاذب استفاده شده است، موجب جذب بیشتر فسفات گردید. در pH اسیدی، سطح جاذب به علت وجود یون‌های  $H^+$  مثبت شده و نیروی الکترواستاتیک بین سطح هیدروچار باگاس نیشکر و یون‌های فسفات افزایش می‌یابد (Karthikeyan et al., 2020). اما این افزایش اغلب تا جایی ادامه دارد که یون‌های فسفات با جذب  $H^+$  از فرم دی‌هیدروژن فسفات به هیدروژن فسفات و سپس فسفریک اسید تبدیل گردد که عمدتاً در pH بالای ۵ این اتفاق می‌افتد (Pan et al., 2020). از طرفی با افزایش pH، یون‌های هیدروکسیل ( $OH^-$ ) در

وجود این گروه‌های عاملی بر روی هیدروچار باعث می‌شوند که جاذب مورد مطالعه پتانسیل بالایی برای جذب یون‌های با بار منفی از جمله فسفات داشته باشد. نتایج تعیین عناصر موجود در نمونه هیدروچار قبل و بعد از اصلاح (جدول ۱) نشان داد که اکسید منیزیم در هیدروچار باگاس نیشکر قبل از اصلاح ۰/۴۳ درصد بوده و بعد از اصلاح هیدروچار توسط کلرید منیزیم به مقدار ۱/۲۸ افزایش یافته است. وجود این یون در هیدروچار باگاس نیشکر به علت دارا بودن بار مثبت باعث افزایش کارایی جذب فسفات توسط جاذب مورد مطالعه گردید. همچنین نتایج درصد کربن هیدروچار باگاس نیشکر با استفاده از دستگاه آنالیز عنصری نشان داد که با تبدیل باگاس نیشکر به هیدروچار و هیدروچار فعال شده، مقدار کربن از ۴۴/۴ درصد به ۴۹/۵۴ و ۴۷/۴۸ درصد افزایش یافته است که این عامل می‌تواند راندمان جذب آلاینده‌ها توسط هیدروچار باگاس نیشکر را افزایش دهد. از طرفی مقادیر هیدروژن، اکسیژن، نسبت اکسیژن به کربن و هیدروژن به کربن در نمونه هیدروچار نسبت به باگاس خام پایین‌تر می‌باشد و این می‌تواند به علت فرایندهای آب‌زدایی<sup>۱</sup> (خارج شدن آب)، هیدروژن‌زدایی<sup>۲</sup> (حذف هیدروژن از ماده آلی) و دکربوکسیلاسیون<sup>۳</sup> (خارج شدن گروه کربوکسیل از ماده و آزاد شدن دی‌اکسیدکربن) باشد. همچنین پایین‌تر بودن این نسبت‌ها در نمونه‌های هیدروچار نشان‌دهنده کربن‌سازی مواد در طی فرایند هیدروترمال است (ZHANG et al. 2014).

نتایج تعیین نقطه بار صفر هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در شکل ۳ نشان داده شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که نقطه بار

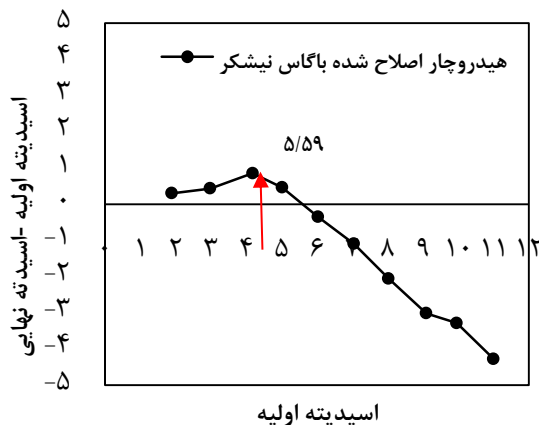
- 1- dehydration
- 2- dehydrogenation
- 3- decarboxylation

(Amini et al., 2019). سایر محققین نتایج مشابهی در جذب فسفات توسط سایر جاذب‌ها ارائه دادند (Qiao et al., 2019).

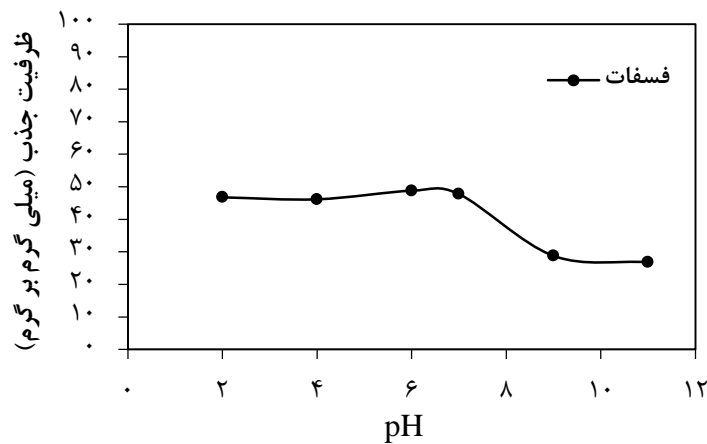
محیط زیاد گشته و رقابت شدیدی بین یون‌های فسفات و هیدروکسیل برای قرارگیری بر روی سطح هیدروچار باگاس نیشکر صورت می‌گیرد و در نتیجه‌ی آن جذب فسفات کاهش می‌یابد

جدول ۱- خصوصیات باگاس نیشکر، هیدروچار باگاس نیشکر و هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

محصول	اکسید منیزیم	نیتروژن	کربن	هیدروژن	اکسیژن	گوگرد	اکسیژن/کربن	هیدروژن/کربن
باگاس نیشکر	۰/۴۲	۰/۹۵	۴۴/۴	۵/۹۸	۴۴/۴۴	۰/۲۴	۰/۷۵	۱/۶۱
هیدروچار باگاس نیشکر	۰/۴۳	۱/۱۳	۴۹/۵۴	۵/۷۸	۳۸/۸۸	۰/۴۷	۰/۵۹	۱/۳۹
هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر	۱/۲۸	۰/۹۲	۴۹/۲۵	۵/۹۹	۳۹/۰۵	۰/۱۹	۰/۶۰	۱/۴۵



شکل ۳- تعیین نقطه بار صفر هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر



شکل ۴- تعیین اسیدیته بهینه جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

شکل ۵ نشان می‌دهد که جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در ابتدا به علت خالی بودن خلل و فرج سطح جاذب با سرعت زیادی انجام گرفت به طوری که در ۶۰ دقیقه ابتدایی فرایند، میزان حذف ۴۰/۸۴ میلی‌گرم بر گرم گردید. به تدریج با اشغال شدن نسبی مکان‌های جذب روی هیدروچار، راندمان حذف با شیب ملایم‌تری افزایش یافت و در ۶۰ دقیقه دوم (۱۲۰ دقیقه از ابتدای

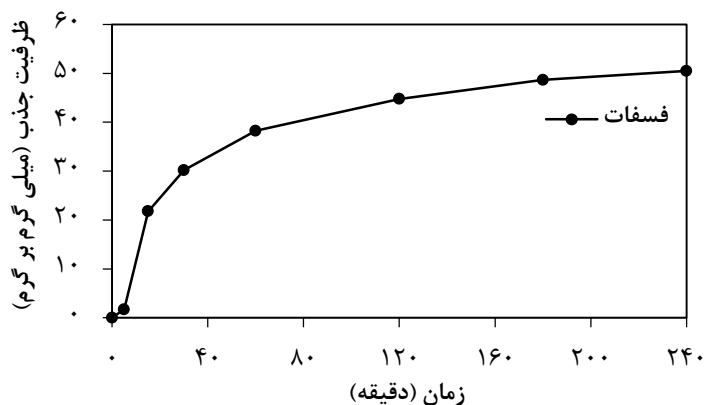
تعیین زمان تماس بهینه جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

یافتن کمترین زمان تماس برای رسیدن به حداکثر راندمان جذب یکی از مهمترین مراحل آزمایش‌های جذب می‌باشد. نتایج تاثیر زمان تماس بر میزان جذب در شکل ۵ نشان داده شده است

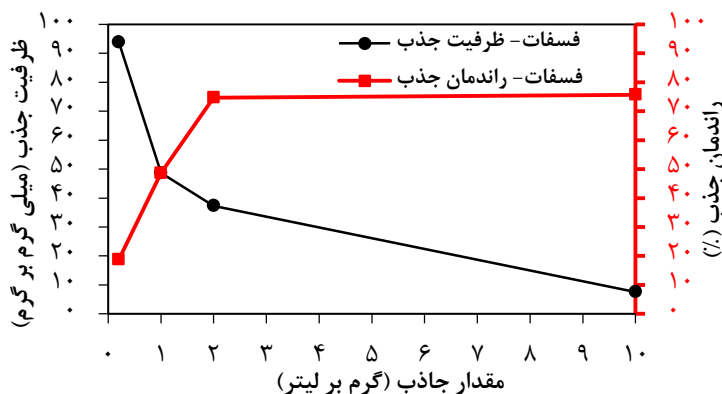
آزمایش) حذف به ۴۳/۷۷ میلی‌گرم بر گرم رسید ( Yin et al., 2018). در نهایت بعد از ۱۸۰ دقیقه با اشباع شدن مکان‌های جذب و کاهش خلل و فرج جاذب، افزایش زمان تماس تاثیر زیادی بر فرایند جذب نداشت. بنابراین زمان بهینه ۱۸۰ دقیقه برای مطالعات مرحله بعد انتخاب گردید. قابل ذکر است که ظرفیت هیدروچار باگاس نیشکر برای جذب فسفات در زمان تعادل برابر ۴۸/۶۴ میلی‌گرم بر گرم بود. محققین دیگر در تحقیقات خود نیز عنوان کردند که جذب فسفات توسط سایر جاذب‌ها نیز طی سه مرحله با شیب تند، ملایم و ثابت رخ داد (Yin et al., 2018; Pan et al., 2020).

### تعیین مقدار جاذب بهینه جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

از دیدگاه اقتصادی، تعیین مقدار بهینه جاذب برای حذف غلظت مشخص از فسفات اهمیت زیادی دارد. نتایج تاثیر مقدار جاذب هیدروچار باگاس نیشکر بر جذب فسفات در محلولی با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل ۵- تعیین زمان تماس بهینه جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر



شکل ۶- تعیین مقدار جاذب بهینه جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

فسفات نداشت. نتایج به دست آمده از این تحقیق با نتایج دیگر محققین که با افزایش مقدار جاذب، کارایی جذب فسفات ابتدا افزایش و سپس ثابت می‌گردد، مطابقت دارد (Qiao et al., 2019). از طرفی با افزایش مقدار هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر، ظرفیت هر گرم جاذب برای جذب فسفات کاهش می‌یابد که می‌تواند ناشی از تجمع و کلوخه شدن جاذب و کاهش پیوند گروه‌های عاملی سطح جاذب با فسفات باشد (Amini et al., 2019). با توجه به این که در مطالعات

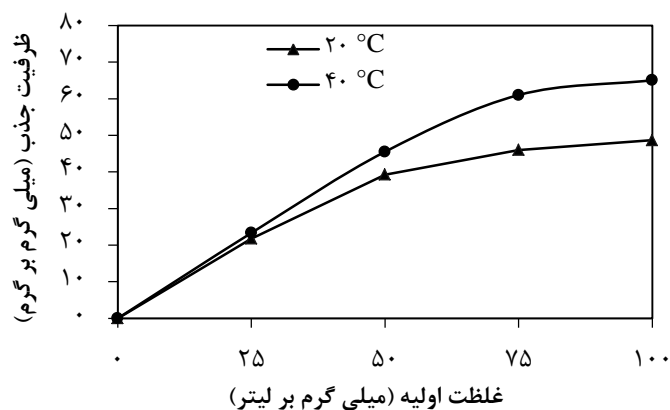
در ابتدای فرایند جذب افزایش مقدار جاذب باعث افزایش مکان‌های جذب و سطح ویژه قابل دسترس گردید و به دنبال آن جذب فسفات توسط هیدروچار باگاس نیشکر افزایش یافت. با کامل شدن فرایند جذب، افزودن بیشتر جاذب تأثیری بر آن ندارد. در تحقیق حاضر افزایش مقدار هیدروچار باگاس نیشکر تا ۲ گرم بر لیتر موجب افزایش جذب فسفات (۷۴/۶۷ درصد) گردید. اما افزایش مقدار هیدروچار به بیش از ۲ گرم بر لیتر تاثیر معناداری بر جذب بیشتر

می‌دهد. با توجه به شکل ۷، با افزایش دما آزمایش از ۲۰ به ۴۰ درجه سلسیوس، فسفات جذب شده توسط جاذب مورد مطالعه در محلولی با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر از ۴۸/۶۴ به ۶۵/۰۵ میلی‌گرم بر گرم افزایش یافت. افزایش جذب فسفات با افزایش دما می‌تواند ناشی از فعال شدن سطح جاذب و بزرگ شدن منافذ روی سطح آن باشد (Manjunath and Kumar, 2018). نتایج این بخش از تحقیق همچنین نشان داد که فرایند جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر فرایندی است که به طور طبیعی گرماگیر است. مقایسه نتایج این بخش از تحقیق با نتایج ارائه شده توسط سایر محققین بیانگر این است که جذب فسفات توسط برخی دیگر از جاذب‌ها با پایه آلی گرماگیر است (Wu et al., 2019; Karthikeyan et al., 2019).

جذب هم ظرفیت جذب و هم راندمان جذب دارای اهمیت می‌باشند، در این مطالعه مقدار جاذب در نقطه تلاقی این دو پارامتر به عنوان مقدار جاذب بهینه در سایر مراحل تحقیق انتخاب گردید. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که مقدار بهینه جاذب هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر برای حذف فسفات از محلولی با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر برابر ۱ گرم بر لیتر می‌باشد که این مقدار به عنوان دوز بهینه جاذب برای سایر آزمایش‌های این تحقیق انتخاب گردید.

### تعیین تأثیر دمای محلول بر جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

شکل ۷ نتایج تأثیر دماهای ۲۰ و ۴۰ درجه سلسیوس بر فرایند جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر را نشان

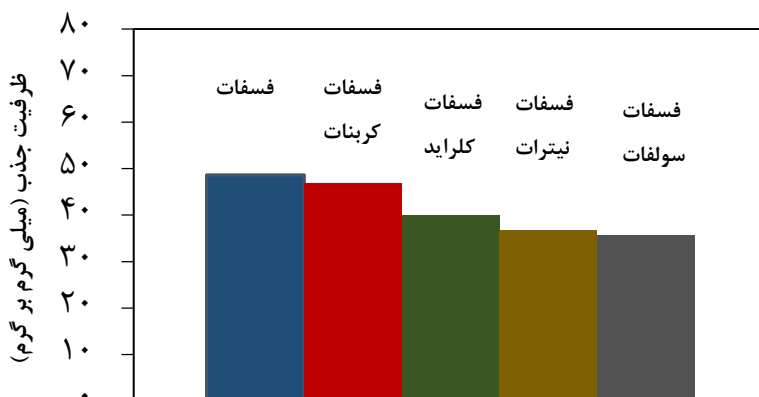


شکل ۷- تعیین تأثیر دمای محلول بر جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

غلظت‌های مختلف (۷۵، ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر) بر فرایند جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در شکل ۸ نشان داده شده است.

### تعیین تأثیر آنیون‌های رقیب بر جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

نتایج تأثیر آنیون‌های رقیب (سولفات، کلراید، نیترات و کربنات) با



شکل ۸- تعیین تأثیر آنیون‌های رقیب بر جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر



فسفات توسط جاذب‌های دیگر گزارش کردند که مدل هو و همکاران، فرایند جذب را بهتر توصیف می‌کند ( Wu et al., 2019; Manjunath and Kumar, 2018).

### نتایج برازش مدل‌های ایزوترم جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

جدول ۳ نتایج برازش مدل‌های ایزوترم جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول ۳ مشخص گردید که مدل لانگمویر جذب فسفات توسط جاذب مورد مطالعه را با  $R^2$  بزرگتر (۰/۹۹۷) و RMSE کوچکتر (۱/۲۲۳) بهتر توصیف می‌کند. بنابراین می‌توان پذیرفت که جذب فسفات بر روی جاذب مورد مطالعه در تحقیق حاضر یک جذب همگن و تک لایه می‌باشد. بیشترین ظرفیت هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر برای جذب فسفات توسط مدل لانگمویر ۵۴/۶۹ میلی‌گرم بر گرم تخمین زده شده است. با توجه به مقدار پارامتر  $1/n$  در مدل ایزوترم فروندلیچ که برابر ۰/۲۵۳ است و مقدارش کوچکتر از یک است، می‌توان نتیجه گرفت جذب فسفات به وسیله هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر مطلوب و همگن بوده است و عمدتاً از طریق تبادل آنیونی صورت می‌گیرد. علاوه بر این متوسط مقدار پارامتر تعادل ( $R_L$ ) برابر ۰/۴۳۵ به دست آمد که تایید کننده مطلوبیت جذب فسفات توسط هیدروچار مورد مطالعه است. مشابه این نتایج نیز در جذب فسفات توسط سایر جاذب‌ها نیز گزارش شده است (Qiao et al., 2019; Banu et al., 2019).

### نتایج ترمودینامیک جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

نتایج آزمایش‌های ترمودینامیک جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در جدول ۴ ارائه شده است.

وجود یون‌های رقیب با غلظت‌های مختلف در زه‌آب‌های کشاورزی برای قرارگیری بر روی سایت‌های خالی جاذب با یون فسفات به رقابت برخاستند و موجب کاهش جذب فسفات شدند. از بین یون‌های رقیب موجود در محلول با غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر، سولفات با کاهش ۲۶/۷۱ درصدی و کربنات با کاهش ۳/۸ درصدی به ترتیب بیشترین و کمترین تأثیر را در کاهش فسفات جذب شده داشتند. نتایج تحقیقات سایر محققین نشان داده است که تأثیر یون‌های رقیب با عدد اتمی بزرگتر بسیار مهم‌تر و پرنگ‌تر از یون‌هایی با ظرفیت یونی بیشتر است. کارثیکیان و مناکشی (۲۰۱۹)، بر اساس نتایج به دست آمده از تحقیق خود عنوان کردند که سولفات و کلراید تأثیر بیشتری بر کاهش جذب فسفات داشتند (Karthikeyan and Meenakshi, 2019). کارثیکیان و همکاران (۲۰۲۰)، در تحقیق خود به این نتیجه دست یافتند که یون‌های کلر به دلیل میل ترکیبی بالاتر و یون‌های سولفات به دلیل بار یونی بیشتر، تأثیر زیادتری بر کاهش جذب فسفات داشتند (Karthikeyan et al., 2020).

### نتایج برازش مدل‌های سینتیک جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

نتایج برازش مدل‌های سینتیک جذب بر داده‌های آزمایشگاهی جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر در جدول ۲ نشان داده شده است. بر اساس نتایج آزمایش‌های سینتیک جذب مشخص گردید که مدل سینتیک هو و همکاران داده‌های آزمایشگاهی جذب فسفات توسط هیدروچار باگاس نیشکر را با  $R^2$  بزرگتر و RMSE کوچکتر شبیه سازی کرده است و بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این مدل توانایی بهتری در شبیه‌سازی سینتیک جذب فسفات توسط جاذب مورد مطالعه دارد. شبیه سازی بهتر داده‌های آزمایشگاهی توسط مدل هو و همکاران می‌تواند نشان دهنده این باشد که جذب فسفات توسط هیدروچار باگاس نیشکر عمدتاً جذب شیمیایی است. همچنین می‌تواند گفت فرایندهایی همچون تبادل یونی و یا انتشار داخلی بر جذب فسفات تأثیر چشمگیری دارند. سایر محققین نیز در تحقیق‌های خود مبنی بر جذب

جدول ۲- پارامترهای مدل‌های سینتیک جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

مدل لاگرگرن	$q_{e(\text{exp})}$ (mg/g)	$k_1$ (1/min)	$q_{e(\text{cal})}$ (mg/g)	$R^2$	RMSE	
	۴۸/۶۴	۰/۰۳۴	۴۷/۷۳	۰/۹۸۹	۳/۵۷	
مدل هو و همکاران	$q_{e(\text{exp})}$ (mg/g)	$k_2$ (g/mg.min)	$q_{e(\text{cal})}$ (mg/g)	$R^2$	RMSE	
	۴۸/۶۴	۰/۰۰۱	۵۶/۶۲	۰/۹۹۱	۳/۲۴	
مدل اورامی	$q_{e(\text{exp})}$ (mg/g)	$k_{av}$ (1/min)	$n_{av}$	$q_{e(\text{cal})}$ (mg/g)	$R^2$	RMSE
	۴۸/۶۴	۰/۲۹	۰/۱۲	۴۸/۷۵	۰/۹۸۹	۳/۷۹

جدول ۳- پارامترهای مدل‌های ایزوترم جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

مدل لانگمویر	$b(L/mg)$	$q_m(mg/g)$	$R_L$	$R^2$	RMSE
	۰/۱۹۶	۵۴/۶۹	۰/۴۳۵	۰/۹۹۷	۱/۲۲۳
مدل ردلیج- پترسون	$\beta$	$K_R(L/g)$	$a_R(L/mg)$	$R^2$	RMSE
	۱/۰۳۶	۱۰/۷۳	۰/۱۷۳	۰/۹۹۶	۱/۲۳۴
مدل فروندلیج	$K_F(L/mg)^{1/n}$	$n(mg/g)$	$n(g/L)$	$R^2$	RMSE
	۱۹/۳۹۸		۳/۹۴۲	۰/۹۷۱	۳/۱۵۸

جدول ۴- پارامترهای ترمودینامیک جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر

جاذب	دما (سلسیوس)	انرژی آزاد گیبس (کیلو ژول بر مول)	آنتالپی استاندارد (کیلو ژول بر مول)	آنتروپی استاندارد (کیلوژول بر مول کلونین)
هیدروچار فعال شده باگاس	۲۰	-۶/۸۲	۱/۹۶	۲۹/۹۷
نیشکر	۴۰	-۷/۲۹		۲۹/۵۴

میلی گرم فسفات را جذب نماید. مدل سینتیک هو و همکاران و ایزوترم لانگمویر به طور رضایت بخشی فرآیند جذب تحقیق حاضر را توصیف کردند. مقادیر انرژی آزاد گیبس در دماهای مورد مطالعه (۲۰ و ۴۰ درجه سانتی گراد) دلیلی بر خود به خودی بودن جذب یون فسفات توسط هیدروچار فعال شده بود. گرماگیر بودن جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده با توجه به مثبت بودن مقدار آنتروپی استاندارد تایید گردید.

### سپاسگزاری

مقاله حاضر بخشی از طرح تحقیقاتی شماره ۹۷۰۱۳۵۱۵ مصوب صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور است که با حمایت‌های مالی آن صندوق و دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. نگارندگان بر خود لازم می دانند که از حمایت‌های آنان تشکر نمایند.

### منابع

- Abdelwaheb, M., Jebali, K., Dhaouadi, H. and Dridi-Dhaouadi, S. 2019. Adsorption of nitrate, phosphate, nickel and lead on soils: Risk of groundwater contamination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 179: 182-187.
- Amini, M., Khoei, Z.A. and Erfanifar, E. 2019. Nitrate ( $NO_3^-$ ) and phosphate ( $PO_4^{3-}$ ) removal from aqueous solutions by microalgae *Dunaliella salina*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 19: 101097.
- Banu, H.A.T., Karthikeyan, P. and Meenakshi, S. 2019. Comparative studies on revival of nitrate and phosphate ions using quaternized corn husk and jackfruit peel. *Bioresource Technology Reports*. 8: 100331.

مقدار انرژی آزاد گیبس برای جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده در دماهای ۲۰ و ۴۰ درجه سانتی گراد به ترتیب برابر ۶/۸۲- و ۷/۲۹- کیلو ژول بر مول به دست آمد که نشان دهنده خود به خودی بودن جذب فسفات توسط جاذب مورد مطالعه می باشد. همچنین مقدار آن برای جاذب مورد مطالعه بیشتر از ۱۰- کیلو ژول بر مول می باشد که این موضوع تایید کننده جذب شیمیایی فسفات توسط هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر می باشد (Liu and Gao, 2015). با توجه به مثبت بودن مقدار آنتالپی استاندارد (۱/۹۶) در تحقیق حاضر می توان نتیجه گرفت که فرآیند جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده پدیده‌ای گرماگیر است. همچنین مثبت بودن مقدار آنتروپی استاندارد در هر دو دمای مورد مطالعه برای هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر نشان دهنده میل قوی این جاذب برای جذب یون‌های فسفات می باشد. مشابه این نتایج در جذب فسفات با جاذب‌های مختلف توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (Karthikeyan et al., 2019).

### نتیجه گیری

در این تحقیق هیدروچار باگاس نیشکر تهیه گردید و پس از فعالسازی با کلرید منیزیم به جاذب جدیدی تبدیل شد که توانایی حذف فسفات را به واسطه جذب بار مثبت منیزیم و تبادل یونی با کلر دارا می باشد. نتایج بهینه سازی پارامترهای موثر بر جذب فسفات توسط هیدروچار فعال شده نشان داد که بهترین شرایط جذب در pH برابر ۶، زمان تماس برابر ۱۸۰ دقیقه، مقدار جاذب ۱ گرم بر لیتر به دست آمد. افزایش دما باعث افزایش جذب فسفات گردید و از بین یون‌های رقیب مورد مطالعه سولفات بیشترین تأثیر و کربنات کمترین تأثیر را بر حذف فسفات توسط جاذب مورد مطالعه داشتند. در شرایط بهینه هر گرم از هیدروچار فعال شده باگاس نیشکر قادر است ۵۴/۶۹

- Liu, Q., and Gao, Y. 2015. Binary adsorption isotherm and kinetics on debittering process of ponkan (*Citrus reticulata* Blanco) juice with macroporous resins. *LWT-Food Science and Technology*. 63(2): 1245-1253.
- Liu, Y., Ma, S. and Chen, J. 2018. A novel pyrohydrochar via sequential carbonization of biomass waste: Preparation, characterization and adsorption capacity. *Journal of Cleaner Production*. 176: 187-195.
- Manjunath, S., and Kumar, M. 2018. Evaluation of single-component and multi-component adsorption of metronidazole, phosphate and nitrate on activated carbon from *Prosopis juliflora*. *Chemical Engineering Journal*. 346: 525-534.
- Pan, J., Gao, B., Song, W., Xu, X. and Yue, Q. 2020. Modified biogas residues as an eco-friendly and easily-recoverable biosorbent for nitrate and phosphate removals from surface water. *Journal of Hazardous Materials*. 382: 121073.
- Qiao, H., Mei, L., Chen, G., Liu, H., Peng, C., Ke, F., Hou, R., Wan, X. and Cai, H. 2019. Adsorption of nitrate and phosphate from aqueous solution using amine cross-linked tea wastes. *Applied Surface Science*. 483: 114-122.
- Son, E.-B., Poo, K.-M., Chang, J.-S. and Chae, K.-J. 2018. Heavy metal removal from aqueous solutions using engineered magnetic biochars derived from waste marine macro-algal biomass. *Science of the Total Environment*. 615: 161-168.
- Wu, K., Li, Y., Liu, T., Huang, Q., Yang, S., Wang, W. and Jin, P. 2019. The simultaneous adsorption of nitrate and phosphate by an organic-modified aluminum-manganese bimetal oxide: Adsorption properties and mechanisms. *Applied Surface Science*. 478: 539-551.
- Yin, Q., Ren, H., Wang, R. and Zhao, Z. 2018. Evaluation of nitrate and phosphate adsorption on Al-modified biochar: Influence of Al content. *Science of the Total Environment*. 631: 895-903.
- ZHANG, J.-H., LIN, Q.-M., and ZHAO, X.-R. 2014. The hydrochar characters of municipal sewage sludge under different hydrothermal temperatures and durations. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(3), 471-482.
- Zhao, K., Li, Y., Zhou, Y., Guo, W., Jiang, H. and Xu, Q. 2018. Characterization of hydrothermal carbonization products (hydrochars and spent liquor) and their biomethane production performance. *Bioresource technology*. 267: 9-16.
- Divband Hafshejani, L., Broomand Nasab, S., Mafi Fan, C., and Zhang, Y. 2018. Adsorption isotherms, kinetics and thermodynamics of nitrate and phosphate in binary systems on a novel adsorbent derived from corn stalks. *Journal of Geochemical Exploration*. 188: 95-100.
- Fang, J., Gao, B., Chen, J. and Zimmerman, A.R. 2015. Hydrochars derived from plant biomass under various conditions: characterization and potential applications and impacts. *Chemical Engineering Journal*. 267: 253-259.
- Feng, C., Zhang, S., Wang, Y., Wang, G., Pan, X., Zhong, Q., Xu, X., Luo, L., Long, L. and Yao, P. 2020. Synchronous removal of ammonium and phosphate from swine wastewater by two agricultural waste based adsorbents: Performance and mechanisms. *Bioresource Technology*. 123231.
- Karthikeyan, P., Banu, H.A.T. and Meenakshi, S. 2019. Synthesis and characterization of metal loaded chitosan-alginate biopolymeric hybrid beads for the efficient removal of phosphate and nitrate ions from aqueous solution. *International Journal of Biological Macromolecules*. 130: 407-418.
- Karthikeyan, P., Elanchezhian, S.S., Preethi, J., Meenakshi, S. and Park, C.M. 2020. Mechanistic performance of polyaniline-substituted hexagonal boron nitride composite as a highly efficient adsorbent for the removal of phosphate, nitrate, and hexavalent chromium ions from an aqueous environment. *Applied Surface Science*. 511: 145543.
- Karthikeyan, P., and Meenakshi, S. 2019. Synthesis and characterization of Zn-Al LDHs/activated carbon composite and its adsorption properties for phosphate and nitrate ions in aqueous medium. *Journal of Molecular Liquids*. 296: 111766.
- Kumar, E., Bhatnagar, A., Kumar, U. and Sillanpää, M. 2011. Defluoridation from aqueous solutions by nano-alumina: characterization and sorption studies. *Journal of Hazardous Materials*. 186: 1042-1049.
- Kumar, I.A., Jeyaprabha, C., Meenakshi, S. and Viswanathan, N. 2019. Hydrothermal encapsulation of lanthanum oxide derived *Aegle marmelos* admixed chitosan bead system for nitrate and phosphate retention. *International Journal of Biological Macromolecules*. 130: 527-535.
- Li, Y., Meas, A., Shan, S., Yang, R. and Gai, X. 2016. Production and optimization of bamboo hydrochars for adsorption of Congo red and 2-naphthol. *Bioresource Technology*. 207: 379-386.
- Liu, F., Zimmerman, A. R., Hu, X. and Gao, B. 2020. Removal of aqueous Cr(VI) by Zn- and Al-modified hydrochar. *Chemosphere*. 260: 127610.

nanostructured cedar leaf ash as biosorbent. Journal of Molecular Liquids. 211: 448-456.

Gholami, R., Moradzadeh, M., Izadpanah, Z., Bibak Hafshejani, S. and Bhatnagar, A. 2015. Removal of zinc and lead from aqueous solution by

## Optimizing the Removal of Phosphate from Agricultural Drains Water Using Activated Sugarcane Bagasse Hydrocar

L. Divband Hafshejani<sup>1\*</sup>, A.A. Naseri<sup>2</sup>

Received: May.15, 2020

Accepted: Aug.08, 2020

### Abstract

Treatment of Polluted wastewater is one of the most important ways to improve environmental pollution and in addition, it will lead to the effective management of organic solid waste. The aim of this study is to remove phosphate from agricultural wastewater by adsorption method and optimizing the parameters that affect adsorption. After preparing the activated sugarcane bagasse hydrocar, its various characteristics as a new adsorbent were determined using SEM, FTIR, XRF, and CHNSO. Then, the optimization of the adsorption parameters was done by examining the effect of changing the parameters of pH, adsorbent dosage, temperature, competing ions, and contact time on the phosphate adsorption process. Laboratory data were simulated with different kinetic models (Lagergren, Ho et al and Avrami) and isotherms (Langmuir, Freundlich, and Redlich-Peterson). The results showed that the optimal pH for the absorption of phosphate was 6, the optimal adsorbent value was 1 g/L, and the best contact time was 180 min. The increasing temperature increased the amount of removed phosphate and among the competing anions, sulphate had the greatest effect, and carbonate had the least effect on phosphate removal. The maximum adsorption capacity of phosphate under optimal conditions by activated sugarcane bagasse hydrocar was (54.69 mg/g). Among the kinetic and isotherm models, Ho et al and Langmuir model simulated laboratory data very well.

**Keywords:** Adsorption, Kinetic, Isotherms, Thermodynamic

1- Postdoctoral Researcher of Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran

2- Professor of Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Khuzestan, Iran

(\*- Corresponding Author Email: mdivband@gmail.com)