

Research Paper

مقاله پژوهشی

## Using Rice Bran Adsorbent for Furfural Removal from Contaminated Water Compared with Activated Carbon

## به کارگیری جاذب سبوس برنج در حذف فورفورال از آب‌های آلوده در مقایسه با کربن فعال

Samira Soltani<sup>1</sup>, Mehrdad Farhadian<sup>2\*</sup> and Nila Davari<sup>3</sup>

1- Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

2- Associate Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Isfahan, Isfahan, Iran.

\* Corresponding author, Email: [m.farhadian@eng.ui.ac.ir](mailto:m.farhadian@eng.ui.ac.ir)

Received: 05/11/2019

Revised: 04/06/2020

Accepted: 16/06/2020

### Abstract

Furfural is a toxic and non-biodegradable substance that is found in wastewater of oil and petroleum refining and petrochemical industries. In this study, the function of rice bran adsorbent was evaluated for the removal of furfural from contaminated water. The effects of operational factors, including furfural concentration (100-900 mg/L), retention time (30-150 min), adsorbent concentration (5-30 g/L), and pH (2-10) were investigated via one-factor-at-a-time method. According to the results, pH had a significant effect on furfural adsorption while using rice bran adsorbent. The maximum adsorption capacity of furfural was obtained as about 10 mg/g at pH=8, while the furfural adsorption capacity dropped to 4.5 mg/g at pH=6. With an increase in retention time up to 80 min at pH=7, the adsorption equilibrium capacity of furfural was achieved at 7.5 mg/g, and this trend remained constant up to and after 24 hours. Furfural adsorption was 50% with rice bran adsorbent under optimal conditions as follows: adsorbent concentration=25 g/L, retention time=120 min, and pH=8. Langmuir isotherm model was obtained for the furfural removal using rice bran adsorbent.

**Keywords:** Adsorption, Furfural, Natural adsorbent, Oil refinery wastewater treatment, Rice bran.

سمیرا سلطانی<sup>۱</sup>، مهرداد فرهادیان<sup>۲\*</sup> و نیلا داوری<sup>۳</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۲- دانشیار گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران و پژوهشکده محیط زیست، گروه پژوهشی تصفیه آب و بازیافت پساب، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران.

\* نویسنده مسئول، ایمیل: [m.farhadian@eng.ui.ac.ir](mailto:m.farhadian@eng.ui.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۴

تاریخ اصلاح: ۱۳۹۹/۰۳/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۷

### چکیده

فورفورال ماده‌ای سمی و زیست تخریب ناپذیر است که در فاضلاب صنایع پالایشگاهی، روغن‌سازی و پتروشیمی یافت می‌شود. در این پژوهش، عملکرد جاذب سبوس برنج برای حذف فورفورال از آب‌های آلوده ارزیابی شد. اثر عوامل عملیاتی شامل غلظت فورفورال (۹۰۰-۱۰۰ mg/L)، زمان ماند (۱۵۰-۳۰ min)، غلظت جاذب (۳۰-۵ g/L) و pH محلول (۱۰-۲) با استفاده از طراحی آزمایش‌ها به روش یک عامل در یک زمان بررسی شد. مطابق با نتایج، pH عامل مهم و موثری در جذب فورفورال است. حداکثر ظرفیت جذب فورفورال بر سبوس برنج در pH=۸ در حدود ۱۰ mg/g به دست آمد. این در حالی است که در pH=۶ ظرفیت جذب فورفورال بر سبوس برنج برابر با ۴/۵ mg/g حاصل شد. با افزایش زمان ماند تا حدود ۸۰ min در pH=۷، ظرفیت جذب تعادلی فورفورال بر سبوس برنج به حدود ۷/۵ mg/g رسید و این روند تا بعد از زمان ماند ۲۴ ساعت نیز ثابت بود. مقادیر بهینه عوامل در جذب ۵۰ درصدی فورفورال با جاذب سبوس برنج در غلظت جاذب ۲۵ g/L، زمان ماند ۱۲۰ min و pH=۸ به دست آمد. مدل هم‌دمای لانگمیر برای حذف فورفورال با جاذب سبوس برنج نتیجه شد.

**کلمات کلیدی:** فورفورال، جاذب طبیعی، سبوس برنج، جذب سطحی، تصفیه فاضلاب پالایشگاهی.

(GilPavas et al., 2019)، ولی به دلیل هزینه‌های بالای تهیه کربن فعال و احیای آن تلاش شده است که از جاذب‌های طبیعی به‌عنوان جایگزین کربن فعال برای حذف آلاینده‌ها استفاده شود (Momina et al., 2018). از جمله جاذب‌های طبیعی، سبوس برنج است که از زائدات کشاورزی است و به‌عنوان محصول جانبی صنایع آسیاب برنج به‌شمار می‌رود.

در این پژوهش فرآیند جذب سطحی با جاذب سبوس برنج برای حذف فورفورال از محلول‌های آبی بررسی شده است. هدف از انجام آزمایش‌ها بررسی اثر عوامل عملیاتی شامل pH، غلظت فورفورال، زمان ماند و غلظت جاذب بر حذف فورفورال از آب‌های آلوده به کمک جاذب طبیعی سبوس برنج است. هم‌چنین بررسی بازده حذف فورفورال در شرایط بهینه و تعیین مدل ایزوترم جذب با جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال از اهداف دیگر این پژوهش است.

## ۲- مواد و روش‌ها

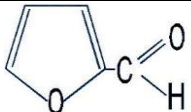
### ۲-۱- مواد شیمیایی

در این پژوهش از پودر کربن فعال (CAS#7440440) به‌عنوان جاذب مرجع و سبوس برنج از منطقه لنجان اصفهان به‌عنوان جاذب گیاهی استفاده شد. ماده شیمیایی اصلی مورد استفاده برای آماده‌سازی سبوس برنج، هیدروکلریک اسید (CAS#113136) بود. برای تنظیم pH محلول‌ها از سولفوریک اسید (CAS#7664939) و سدیم هیدروکسید (CAS#1310732) به‌ترتیب با خلوص ۹۷٪ و ۹۵٪ استفاده شد. فورفورال (CAS#98011) با خلوص ۹۸ درصد وزنی در آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. مواد شیمیایی مصرفی در این پژوهش از شرکت مرک خریداری شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی فورفورال در جدول ۱ ارائه شده است.

فورفورال یک حلال صنعتی است که به‌طور گسترده‌ای در صنایع کاغذ و مقواسازی، نفت و پتروشیمی، داروسازی، مواد غذایی و تصفیه روغن‌ها استفاده می‌شود (Li et al., 2019). بنابراین فورفورال در پساب‌های این صنایع به مقدار زیادی یافت می‌شود. به‌عنوان مثال، غلظت فورفورال در فاضلاب پالایشگاه نفتی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ ppm گزارش شده است. هم‌چنین غلظت فورفورال در فاضلاب صنایع تولید فورفورال می‌تواند حداقل به ۶۰۰ mg/L برسد (Shokoochi et al., 2019). این ماده شیمیایی از طریق پوست و مجاری تنفسی وارد بدن شده و باعث سرطان کبد و پوست می‌شود (Piñeiro-García et al., 2020). اثرات نامطلوب فورفورال بر آبزیان نیز مشاهده شده است (Khudhair and Ismail, 2019). بنابراین به‌دلیل سمیت فورفورال و صرفه‌جویی در مصرف آن، پژوهش‌های قابل‌توجهی برای حذف بازیابی فورفورال از فاضلاب‌ها در حال انجام است (Babaei et al., 2019). تاکنون حذف فورفورال با روش‌های اکسیداسیون فتوکاتالیستی، فناوری‌های غشایی، تصفیه‌های زیستی و جذب سطحی بررسی شده است (Shabanloo et al., 2020).

فرآیند جذب سطحی در سال‌های اخیر به‌عنوان روشی کارآمد در تصفیه آب‌های آلوده مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. بازدهی بالا و هزینه پایین از ویژگی‌های موثر فرآیند جذب سطحی است (Sophia A and Lima, 2018). انواع جاذب‌ها برای حذف آلاینده‌ها از منابع آبی عبارتند از: کربن فعال، اکسید گرافن، سیلیکا، زئولیت، خاک رس، نانولوله‌های کربنی، چارچوب‌های آلی-فلزی و جاذب‌های کامپوزیت (Fernández-Reyes et al., 2020). تاکنون جاذب‌هایی شامل رزین، کربن فعال، زئولیت و محصولات جانبی و زائدات کشاورزی برای حذف فورفورال از محلول‌های آبی استفاده شده‌اند (Li et al., 2019). کربن فعال یکی از جاذب‌های سطحی متداول است (Regti et al., 2017).

جدول ۱- مشخصات فورفورال (Esmaili et al., 2017)

نام ماده شیمیایی	فرمول شیمیایی	ساختار شیمیایی	وزن مولکولی (g/mol)	حلالیت در آب (mg/L)	حداکثر غلظت مجاز در آب (mg/L)	طول موج حداکثر جذب (nm)
فورفورال	C <sub>5</sub> H <sub>4</sub> O <sub>2</sub>		۹۶/۰۸	۸۳۰۰۰	۲	۲۷۵

### ۲-۲- روش تهیه جاذب سبوس برنج

سپس ذرات جدا شده به‌وسیله هیدروکلریک اسید ۰/۵ M به‌مدت ۳ h به‌منظور باز شدن منافذ برای جذب بهتر شست و شو داده شدند. در آخرین مرحله، سبوس‌ها با آب مقطر شست و شو شدند (تا زمانی که pH به‌حدود ۵ برسد) و ذرات تا خشک‌شدن کامل دوباره در آون قرار داده شدند.

سبوس‌های برنج تهیه شده ابتدا با آب مقطر شست و شو داده شدند. سپس به‌مدت ۲ h در دمای ۱۰۰ °C به‌منظور خشک‌شدن در آون قرار گرفتند. در مرحله بعد سبوس‌های خشک‌شده آسیاب شده و ذرات با مش ۱۴ با غربال برای عمل جذب جدا شدند.

۲-۳- طراحی آزمایش‌ها به روش یک عامل در یک زمان  
طراحی آزمایش‌ها برای حذف فورفورال به روش یک عامل در یک زمان بود. در این پژوهش مطابق با جدول ۲، عوامل عملیاتی

شامل غلظت فورفورال (۹۰۰-۱۰۰۰ mg/L)، غلظت جاذب (۳۰-۵۰)، زمان ماند (۱۵۰-۳۰۰ min) و pH اولیه محلول (۲-۱۰) مورد بررسی قرار گرفت. عامل دما ثابت فرض شد (۲۵±۱ °C).

جدول ۲- عوامل و سطوح انتخابی در طراحی آزمایش‌ها

سطوح									عوامل	آزمایش‌ها
۹۰۰	۸۰۰	۷۰۰	۶۰۰	۵۰۰	۴۰۰	۳۰۰	۲۰۰	۱۰۰	غلظت فورفورال (mg/L)	سری اول
		۱۴۴۰	۷۲۰	۱۸۰	۱۵۰	۱۲۰	۶۰	۳۰	زمان ماند (min)	سری دوم
			۳۰	۲۵	۲۰	۱۵	۱۰	۵	غلظت جاذب (g/L)	سری سوم
				۱۰	۸	۷	۶	۲	pH	سری چهارم

#### ۲-۴- روند انجام آزمایش‌های جذب

در این پژوهش، محلول‌های فورفورال با غلظت‌های معین ساخته شد و ۵ mL از آن به همراه مقدار معینی جاذب در pH های مختلف درون لوله‌های آزمایش دربار قرار داده شد. برای اندازه‌گیری pH محلول‌ها از دستگاه pH متر (مدل UB-10 ساخت شرکت دنور) استفاده شد. برای همگن شدن هر چه بهتر محلول‌ها، لوله‌های آزمایش در هم‌زن (مدل Rotator 2002 ساخت شرکت بهداد) با سرعت ۱۲۰ rpm قرار داده شد. غلظت نهایی فورفورال توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل V-570 ساخت شرکت جاسکو ژاپن) در طول موج جذب ۲۷۵ nm اندازه‌گیری شد. بازده حذف فورفورال برحسب درصد (E) از طریق معادله (۱) محاسبه شد:

$$E = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100\% \quad (1)$$

که  $C_0$  و  $C_t$ : به ترتیب، غلظت اولیه فورفورال (mg/L) و غلظت فورفورال در زمان  $t$  (mg/L) هستند.  
ظرفیت جذب فورفورال با جاذب سبوس برنج از معادله (۲) به دست آمد.

$$q_t = \frac{(C_0 - C_t)V}{m} \quad (2)$$

که  $q_t$ : ظرفیت فورفورال جذب شده در واحد جرم جاذب در زمان  $t$  (mg/g)،  $V$ : حجم محلول (L) و  $m$ : جرم جاذب (g) هستند.  
ایزوترم‌های جذب، رابطه‌ی بین غلظت حل شونده در محلول و مقدار آن را در جاذب مشخص می‌کنند. متداول‌ترین ایزوترم‌های جذب، لانگمیر و فروندلیچ هستند که در جدول ۳ ارائه شده‌اند (Solaimany Nazar et al., 2018).

جدول ۳- ایزوترم‌های جذب

ایزوترم	مدل غیرخطی	مدل خطی
لانگمیر	$q_e = q_{max} \frac{b C_e}{1 + b C_e}$	$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{b q_{max} C_e} + \frac{1}{q_{max}}$
فروندلیچ	$q_e = K_F C_e^{\frac{1}{n}}$	$\ln q_e = \frac{1}{n} \ln C_e + \ln K_F$

شکل‌های ۱ و ۲ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر دو هم‌دمای لانگمیر و فروندلیچ رسم شده برای جذب فورفورال بر جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال مناسب است. مقدار  $R^2$  برای هم‌دمای لانگمیر با جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال به ترتیب برابر با ۰/۹۸ و ۰/۹۹ است که چون به ۱ نزدیک‌تر است، می‌توان نتیجه گرفت که هم‌دمای لانگمیر مطابقت بیشتری با داده‌های تجربی دارد. مطابق با شکل ۱-الف، ثابت ایزوترم لانگمیر و حداکثر ظرفیت جذب ایزوترم لانگمیر برای جذب فورفورال با جاذب سبوس برنج به ترتیب برابر با  $b=۰/۰۰۰۳۲$  و  $q_{max}=۶۷$  (mg/g) حاصل شد و هم‌چنین در شکل ۱-ب با جاذب کربن فعال،  $b=۰/۰۰۰۵۷$  و  $q_{max}=۱۶۶۶$  (mg/g) به دست آمد.

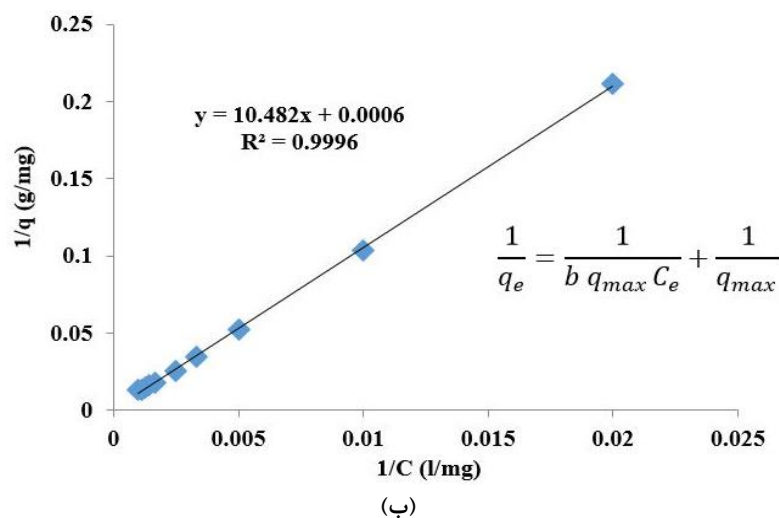
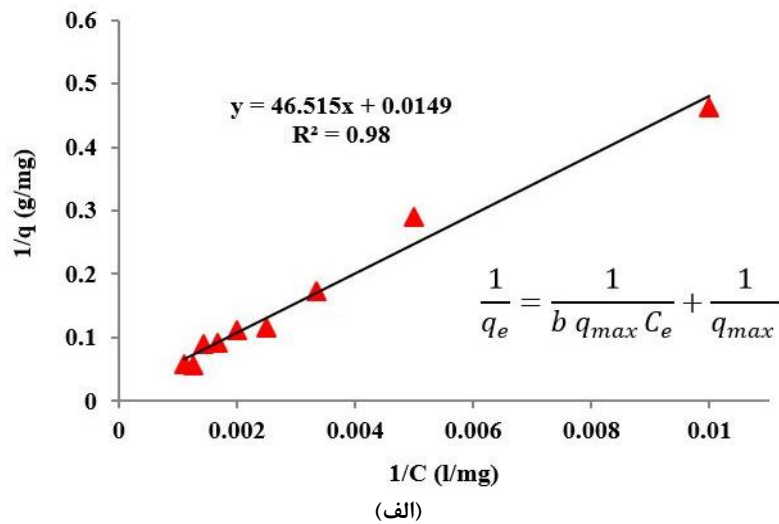
در جدول ۳، پارامترهای  $b$ ،  $C_e$ ،  $q_{max}$ ،  $q_e$ ،  $K_F$  و  $n$ : به ترتیب بیانگر ثابت ایزوترم لانگمیر، غلظت تعادلی فورفورال (mg/L)، حداکثر ظرفیت جذب ایزوترم لانگمیر (mg/g)، ظرفیت فورفورال جذب شده در واحد جرم جاذب در حال تعادل (mg/g) و ثوابت ایزوترم فروندلیچ هستند.

#### ۳- نتایج و بحث

##### ۳-۱- بررسی هم‌دمای جذب فورفورال با جاذب‌های

##### سبوس برنج و کربن فعال

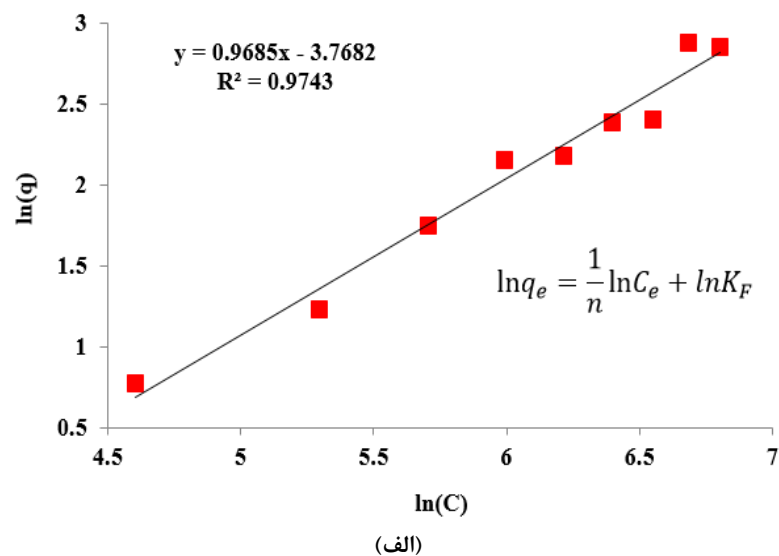
بررسی ایزوترم‌های جذب لانگمیر و فروندلیچ برای جذب فورفورال با جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال به ترتیب در

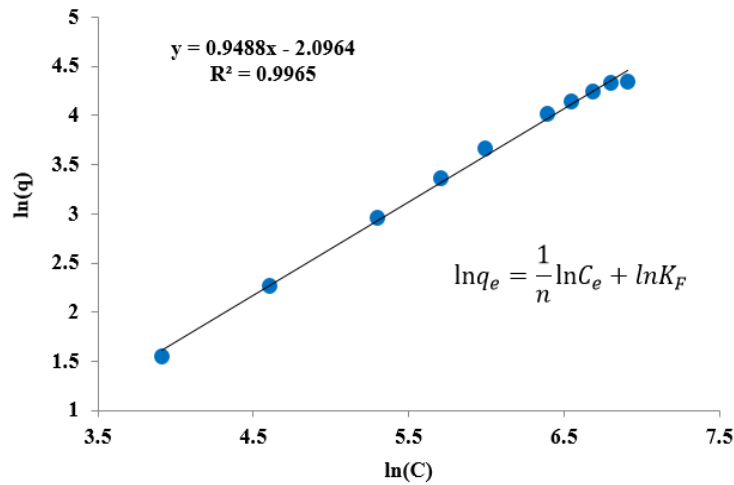


شکل ۱- هم‌دمای لانگمیر برای جذب فورفورال: الف) جاذب سیبوس برنج در شرایط بهینه (زمان ماند ۱۲۰ min، غلظت جاذب ۲۵ g/L و pH=۸) و ب) جاذب کربن فعال در شرایط بهینه (غلظت جاذب ۱۰ g/L و زمان ماند ۳۳۰ min و pH=۷)

شکل ۲، مقدار  $1/n$  کمتر از ۱ است که نشان می‌دهد فورفورال به‌طور مطلوب بر جاذب‌های سیبوس برنج و کربن فعال جذب شده است.

از شکل ۲-الف مشاهده می‌شود که ثوابت ایزوترم فروندلیچ برای جذب فورفورال با جاذب سیبوس برنج به‌ترتیب برابر با  $n=1/0.32$  و  $K_F=0/0.23$  به‌دست آمد و در شکل ۲-ب با جاذب کربن فعال،  $n=1/0.54$  و  $K_F=0/1.23$  حاصل شد. هم‌چنین در





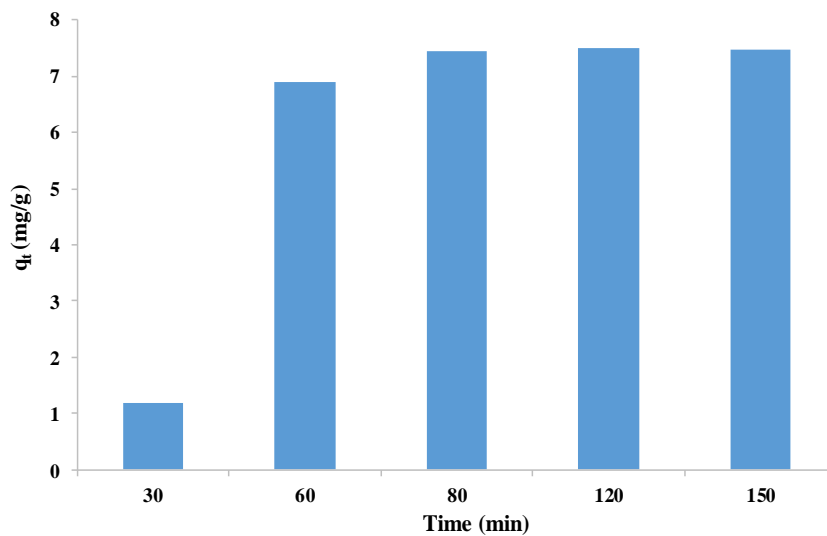
(ب)

شکل ۲- هم‌دمای فروندلیچ برای جذب فورفورال: الف) جذب سبوس برنج در شرایط بهینه (زمان ماند ۱۲۰ min، غلظت جاذب ۲۵ g/L و pH=۸) و ب) جذب کربن فعال در شرایط بهینه (غلظت جاذب ۱۰ g/L و زمان ماند ۳۳۰ min و pH=۷)

زمان ماند تا ۱۵۰ min، تغییری در ظرفیت فورفورال جذب شده مشاهده نمی‌شود و فورفورال به ظرفیت تعادلی حدود ۷/۵ mg/g می‌رسد. این رفتار می‌تواند به علت کاهش نفوذ در ساختار جاذب در اثر تجمع مولکول‌های فورفورال یا کاهش نیروی محرکه انتقال جرم در اثر به تعادل رسیدن فورفورال باشد. نتایج این پژوهش با پژوهش‌های پیشین مطابقت دارد (Li et al., 2019; Fazlzadeh et al., 2018).

### ۲-۳- بررسی اثر زمان ماند بر جذب فورفورال با جاذب سبوس برنج

اثر زمان ماند بر ظرفیت فورفورال جذب شده با جاذب سبوس برنج در شکل ۳ ارائه شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با افزایش زمان ماند تا ۸۰ min در pH=۷، ظرفیت فورفورال جذب شده بیشتر می‌شود. زیرا با گذشت زمان، مولکول‌های فورفورال بیشتری جذب می‌شوند. سپس با افزایش

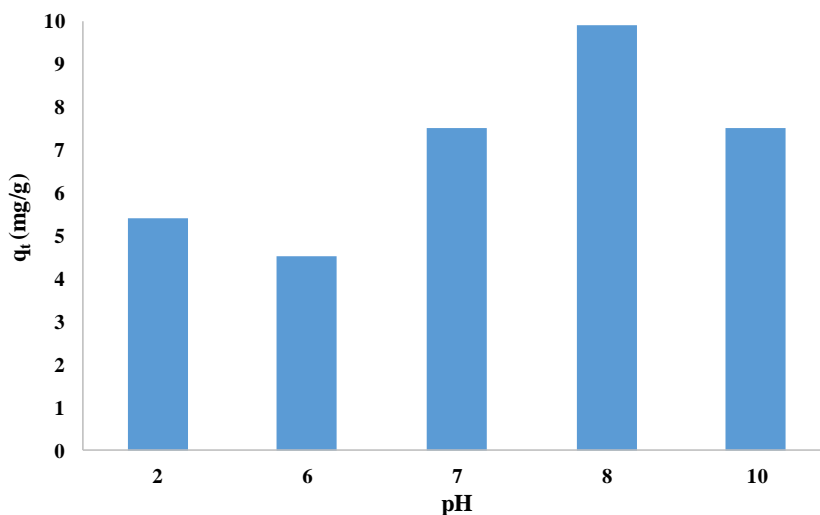


شکل ۳- اثر زمان ماند بر ظرفیت فورفورال جذب شده با جاذب سبوس برنج (غلظت اولیه فورفورال ۳۰۰ mg/L و غلظت جاذب ۱۰ g/L)

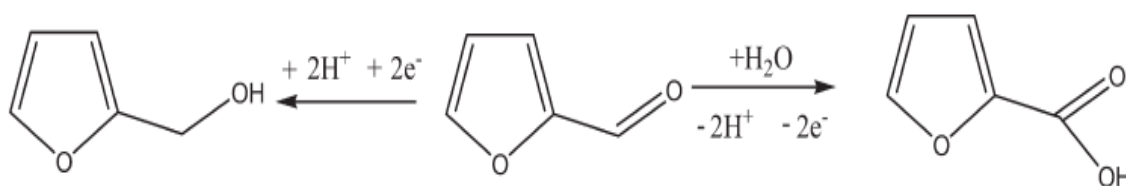
است. از شکل ۵ می‌توان دریافت که فورفورال حالت حد واسط اکسیداسیون اسید و الکل است که در pH های اسیدی و بازی به ترتیب تبدیل به الکل و اسید می‌شود و در pH های حدود خنثی، پایدار است (Kumar et al., 2013). در مطالعه جذب سطحی فورفورال با جاذب زیست‌توده، با افزایش pH، بازده جذب فورفورال ابتدا کاهش و سپس افزایش یافت و حداکثر جذب در pH=۲ حاصل شد (Doddapaneni et al., 2018).

### ۲-۳- بررسی اثر pH بر جذب فورفورال با جاذب سبوس برنج

اثر pH بر ظرفیت فورفورال جذب شده با جاذب سبوس برنج در شکل ۴ مشاهده می‌شود. مطابق با شکل ۴، pH اثر قابل توجهی بر ظرفیت فورفورال جذب شده دارد. با افزایش pH، ابتدا ظرفیت جذب فورفورال کمی کاهش، سپس افزایش و در نهایت کاهش می‌یابد. حداکثر جذب فورفورال در pH=۸ در حدود ۱۰ mg/g



شکل ۴- اثر pH بر ظرفیت فورفورال جذب شده با جاذب سبوس برنج (غلظت جاذب ۱۰ g/L و غلظت اولیه فورفورال ۳۰۰ mg/L)



شکل ۵- تبدیل فورفورال به الکل و اسید در pH اسیدی و بازی (Kumar et al., 2013)

#### ۵- تشکر و قدردانی

این مقاله با همکاری و حمایت پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه اصفهان اجرا شده است. نویسندگان این مقاله بدین‌وسیله مراتب تقدیر و سپاسگزاری خود را اعلام می‌نمایند.

#### ۶- مراجع

- Babaei, A.A., Rahmani, A.R., Zamani, F., and Almasi, H., (2019), "Fe(III)-oxalate-mediated solar degradation of furfural in the presence of persulfate: Operational parameters and artificial neural network modeling", *Journal of the Iranian Chemical Society*, 16(2), 219-229.
- Cuevas, M., Quero, S.M., Hodaifa, G., Lopez, A.J.M., and Sanchez, S., (2014), "Furfural removal from liquid effluents by adsorption onto commercial activated carbon in a batch heterogeneous reactor", *Ecological Engineering*, 68, 241-250.
- Doddapaneni, T.R.K.C., Jain, R., Praveenkumar, R., Rintala, J., Romar, H., and Kontinen, J., (2018), "Adsorption of furfural from torrefaction condensate using torrefied biomass", *Chemical Engineering Journal*, 334, 558-568.
- Esmaili, Z., Solaimany Nazar, A.R., and Farhadian, M., (2017), "Degradation of furfural in contaminated water by titanium and iron oxide nanophotocatalysts based on the natural zeolite (clinoptilolite)", *Scientia Iranica*, 24(3), 1221-1229.
- Fazlzadeh, M., Ansarizadeh, M., and Leili, M., (2018), "Data of furfural adsorption on nano zero valent iron (NZVI) synthesized from Nettle extract", *Data in Brief*, 16, 341-345.
- Fernandez-Reyes, B., Ortiz-Martinez, K., Lasalde-

#### ۴-۳- بررسی بازده حذف فورفورال با جاذب‌های سبوس

##### برنج و کربن فعال در شرایط بهینه

بازده متوسط حذف فورفورال با جاذب سبوس برنج در شرایط بهینه (غلظت جاذب ۲۵ g/L، زمان ماند ۱۲۰ min و pH=۸) حدود ۵۰٪ است. حذف فورفورال با جاذب کربن فعال در شرایط بهینه (غلظت جاذب ۱۰ g/L، زمان ماند ۳۳۰ min و pH=۷) حدود ۹۰٪ است. مطابق با نتایج این پژوهش، جاذب کربن فعال از بازده بیشتری درمقایسه با سبوس برنج برخوردار است، ولی به دلیل قیمت ارزان جاذب طبیعی سبوس برنج، استفاده از آن در فرآیندهای پیش‌تصفیه مقرون‌به‌صرفه است. ظرفیت فورفورال جذب‌شده در غلظت‌های بالای جاذب سبوس برنج افزایش می‌یابد. علت این رفتار این است که سطح و فضاهای بیشتری برای جذب فورفورال در دسترس قرار می‌گیرد که نتایج حاصل با پژوهش Cuevas et al. (2014) مطابقت دارد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان داد که جاذب‌های سبوس برنج و کربن فعال می‌توانند به‌عنوان روشی کارآمد برای حذف فورفورال از فاضلاب‌های صنعتی مورد استفاده قرارگیرند. تحلیل نتایج با استفاده از روش یک عامل در یک زمان بیانگر این است که pH اثر موثری در حذف فورفورال دارد. با افزایش غلظت جاذب سبوس برنج و زمان ماند، بازده حذف فورفورال افزایش می‌یابد. هم‌چنین در مطالعات هم‌دما برای جاذب‌های سبوس برنج، مدل لانگمیر تطابق بیشتری با داده‌های تجربی دارد.

- Ramirez, J.A. and Hernandez-Maldonado, A.J., (2020), "Chapter 1: Engineered adsorbents for the removal of contaminants of emerging concern from water", In: Hernandez-Maldonado, A.J., and Blaney, L. (eds.), *Contaminants of Emerging Concern in Water and Wastewater*, Butterworth-Heinemann, United Kingdom, pp. 3-45.
- Gilpavas, E., Dobrosz-Gomez, I., and Gomez-Garcia, M.-Á., (2019), "Optimization and toxicity assessment of a combined electrocoagulation,  $H_2O_2/Fe^{2+}/UV$  and activated carbon adsorption for textile wastewater treatment", *Science of The Total Environment*, 651(1), 551-560.
- Khudhair, H.A., and Ismail, Z.Z., (2019), "New application of single and mixed immobilized cells for furfural biodegradation", *Bioremediation Journal*, 23(1), 32-41.
- Kumar, N.S., Srivastava, V.C., and Basu, S., (2013), "Optimization and kinetics of furfural oxidation to furoic acid over alum-impregnated activated alumina", *Indian Chemical Engineer*, 55(3), 153-164.
- Li, S., Yang, Y., Shan, H., Zhao, J., Wang, Z., Cai, D., Qin, P., Baeyens, J., and Tan, T., (2019), "Ultrafast and ultrahigh adsorption of furfural from aqueous solution via covalent organic framework-300", *Separation and Purification Technology*, 220, 283-292.
- Momina, Sh. M., and Isamil, S., (2018), "Regeneration performance of clay-based adsorbents for the removal of industrial dyes: A review", *RSC Advances*, 8(43), 24571-24587.
- Pineiro-Garcia, A., Gonzalez-Alatorre, G., Vega-Diaz, S. M., Perez-Perez, M. C. I., Tristan, F. and Patino-Herrera, R., (2020), "Reduced graphene oxide coating with high performance for the solid phase micro-extraction of furfural in espresso coffee", *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(1), 314-321.
- Regti, A., Laamari, M.R., Stiriba, S.-E., and El haddad, M., (2017), "Use of response factorial design for process optimization of basic dye adsorption onto activated carbon derived from *Persea* species", *Microchemical Journal*, 130, 129-136.
- Shabanloo, A., Salari, M., Shabanloo, N., Dehghani, M.H., Pittman, C.U., and Mohan, D., (2020), "Heterogeneous persulfate activation by nano-sized  $Mn_3O_4$  to degrade furfural from wastewater", *Journal of Molecular Liquids*, 298, 112088.
- Shokoohi, R., Bajalan, S., Salari, M., and Shabanloo, A., (2019), "Thermochemical degradation of furfural by sulfate radicals in aqueous solution: Optimization and synergistic effect studies", *Environmental Science and Pollution Research*, 26(9), 8914-8927.
- Solaimany Nazar, A.R., Jokar Baloochi, S., Farhadian, M., and Goshadrrou, A., (2018), "2,4-dichlorophenoxyacetic acid adsorption from contaminated water through activated carbon reclaimed with zero-valent iron and titanium dioxide", *Scientia Iranica*, 25(3), 1395-1411.
- Sophia A.C. and Lima, E.C., (2018), "Removal of emerging contaminants from the environment by adsorption", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 150, 1-17.