

## بررسی جذب مس از محلول آبی توسط برگ علف پاغازه

بهمن راموندی<sup>۱</sup>، راحله کفائی<sup>۲\*</sup>، احمد ابراهیمی<sup>۲</sup>، مژگان صفری<sup>۲</sup>، مسعود محمدی باغملایی<sup>۲</sup>

۱. استادیار گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران
۳. گروه بهداشت عمومی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۷/۰۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۳/۰۲/۱۷

### چکیده

**مقدمه:** افزایش آلودگی محیط زیست ناشی از تخلیه فاضلاب حاوی مس سبب نگرانیهای بسیار جدی بدلیل اثر بر سلامت بویژه مغز و کبد و تجمع بیولوژیکی آن شده است. هدف این مطالعه بررسی عملکرد جاذب ارزان قیمت و طبیعی علف پاغازه (*Falcaria Vulgaris*) در حذف یون مس از محلول آبی است.

**روش کار:** در این پژوهش برگ علف پاغازه از مزارع استان لرستان جمع آوری و جهت تهیه جاذب استفاده شد. اثر پارامترهای مختلفی چون pH (۲ تا ۱۲)، زمان تماس (۵ تا ۸۰ دقیقه)، غلظت اولیه مس (۵۰ تا ۱۵۰ mg/L) و مقدار جاذب (۰/۳ تا ۲ mg/L) بر راندمان جذب مورد بررسی قرار گرفت. داده های آزمایشگاهی با ایزوترم های لانگمویر، فرنرندلیچ، تمکین و دوبینین-رادشکوویچ برآزش داده شد. مشخصات جاذب مانند مساحت سطح BET و حجم حفره ها، اندازه ذرات و pH<sub>zpc</sub> تعیین گردید. یافته ها: نتایج نشان داد که جذب مس از فاکتورهایی چون غلظت اولیه مس، مقدار جاذب و pH محلول تاثیر می پذیرد. حداکثر جذب در pH ۲ حاصل شد. راندمان حذف مس با افزایش غلظت اولیه مس کاهش یافت. در بین چهار مدل ایزوترم مورد مطالعه، مدل لانگمویر (با حداکثر ظرفیت جذب ۸/۸۳ mg/g) جذب مس به جاذب را به خوبی توصیف نمود. سطح BET جاذب بدست آمده از برگ گیاه پاغازه ۲/۶ m<sup>2</sup>/g بود.

**نتیجه گیری:** نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که جاذب تهیه شده قابلیت خوبی در حذف یون مس از محلول آبی دارد. با توجه به هزینه پایین، آماده سازی راحت و راندمان بالای جاذب تهیه شده از برگ گیاه پاغازه، می توان از آن به عنوان جایگزینی مناسب بجای کاربرد جاذبهای نسبتاً گران قیمتی مانند کربن فعال در حذف آلاینده های فلزی استفاده نمود.

**واژگان کلیدی:** پاغازه، جذب سطحی، مس، محلول آبی

### مقدمه

آلاینده های فلزی، مس می باشد که به طور گسترده در بسیاری از صنایع از جمله آبکاری و جلاکاری فلزات، آسیاب کاغذ، خمیر چوب، رنگ سازی، کودسازی استفاده می گردد. تجمع مس در بدن انسان سبب آسیب های کبدی و مغزی، ناراحتی و زخم معده، بیماری های پوستی و قلبی و ... می گردد (۲). سازمان بهداشت جهانی (WHO) حداکثر غلظت

در سال های اخیر، آلودگی فلزات در محیط های آبی به دلیل سمیت، فراوانی و پایداری در محیط، توجه زیادی را به خود جلب کرده است (۱). فاضلاب ها به منبع ورود بیش از حد یون فلزات به محیط تبدیل شده اند. یکی از معمول ترین

\* نویسنده مسئول: راحله کفائی، دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بوشهر، بوشهر، ایران  
تلفن: ۰۷۷-۱۴۵۵۰۱۳۴ ایمیل: rahelekafe@yahoo.com

لانگمویر بهتر توصیف می شوند و راندمان جذب در pH های اسیدی قابل توجه است (۱۱). بنابراین تحقیقات برای یافتن جذبی که به طور متمرکز، فراوان و بدون هزینه یافت شود، در حال انجام است.

یکی از جذب های که تاکنون مطالعه ای بر روی آن انجام نشده است علف پاغازه یا غازیاقی می باشد. گیاه پاغازه با نام علمی *Falcaria vulgaris* از خانواده *Apiaceae* در غرب و جنوب غرب کشور بصورت خودرو، با رشد سریع و یکساله رشد می نماید. این گیاه دارای ساقه و ارتفاع آن بطور متوسط ۳۰ سانتیمتر است. در غرب کشور مانند استان های لرستان و همدان از این گیاه به عنوان سبزیجات و سالاد استفاده می شود و در گذشته جهت تسریع در بهبود زخم های پوستی، سنگ کلیه، ناراحتی های کبدی و اختلالات گوارشی مورد استفاده قرار می گرفته است (۱۲).

این مطالعه، اولین گزارش کاربرد برگ گیاه پاغازه بعنوان جذب برای حذف مس از محلول آبی است. در این تحقیق، مشخصات سطحی جذب، متغیرهای بهره برداری در فرآیند جذب (شامل pH محلول، غلظت اولیه آلاینده و جذب) و همچنین چهار ایزوترم جذب مورد بررسی قرار گرفته است.

## روش کار

### تهیه و آماده سازی جذب

برگ های گیاه پاغازه از کشتزارهای گندم در استان لرستان جمع آوری و پس از شستشو با قراردادن در معرض نور خورشید به مدت ۵ روز خشک شدند. برگ های خشک شده آسیاب و سپس با الک مخصوص ASTM (با مش ۲۰) از لحاظ دانه بندی یکنواخت گردید. ذرات الک شده در ظرف شیشه ای در بسته نگهداری و به عنوان جذب در آزمایشات مورد استفاده قرار گرفت.

### روش آزمایش

این مطالعه از نوع تجربی است که در مقیاس آزمایشگاهی و بصورت ناپیوسته با استفاده از ارلن ۲۵۰ میلی لیتری انجام شد. فاکتورهای بهره برداری مانند pH (۲ تا ۱۲)، زمان تماس (۵ تا ۸۰ دقیقه)، غلظت اولیه مس (۵۰ تا ۱۵۰ mg/L) و مقدار جذب (۰/۳ تا ۲ mg/L) در مراحل جداگانه مورد بررسی قرار گرفت. محلول استوک یون مس (۱۰۰۰ mg/L) از حل کردن ۳/۸۰۱ گرم  $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$  در ۱۰۰۰ mL آب مقطر دو بار تقطیر بدست آمد. محلول های کاری با ترقیق محلول استوک تهیه گردید. از آب مقطر دوبار تقطیر برای

قابل قبول مس در آب آشامیدنی را ۱/۵ mg/L و حد مجاز این آلاینده در تخلیه به آب سطحی را ۱ mg/L و در مصارف کشاورزی و آبیاری را ۰/۲ mg/L اعلام کرده است (۳).

روش های معمول تصفیه فاضلاب های حاوی فلزات سنگین مانند مس عبارتند از: ترسیب شیمیایی، فرآیندهای بیولوژیکی، تبادل یون، فیلتراسیون غشایی و تکنیک های الکتروشیمیایی (۴). به دلیل هزینه ی بالا، زمان طولانی تصفیه، سمیت مواد شیمیایی، ممنوعیت در کاربرد های گسترده و محدودیت دسترسی در کشورهای در حال توسعه، کارایی این روش ها محدود است. بنابراین نیاز به استفاده از روش های جایگزین ضروری می باشد. جذب سطحی یکی از روش های کم هزینه است که به طور گسترده مورد توجه واقع شده است (۵). در این میان کربن فعال به دلیل سطح زیاد و ظرفیت بالای جذب کاربرد فراوانی دارد. هر چند که استفاده از کربن فعال به عنوان یکی از بهترین فناوری های موجود جهت حذف آلاینده ها از آب و فاضلاب توسط سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا توصیه شده است ولی همچنان بحث هزینه های بالای مورد نیاز برای تأمین آن به عنوان یک چالش مطرح بوده و همچنین هرچه کیفیت بالایی از پساب مورد نیاز باشد، هزینه های مورد نیاز نیز به همان نسبت بیشتر خواهد شد. هزینه های احیاء شیمیایی و گرمایی کربن فعال مصرفی در مقیاسهای بالا نیز زیاد بوده و استفاده از این فناوری را غیرممکن می سازد. بنابراین، انجام مطالعات جهت پیدا کردن انواع جاذبهای ارزان قیمت و با ظرفیت جذب بالا همچنان ادامه دارد، تا هم مقدار مصرف و در نتیجه هزینه های مورد نیاز کاهش پیدا کرده و هم اینکه کارایی حذف تا حد ممکن افزایش داده شود. اخیراً توجه زیادی به استفاده از انواع جذب های طبیعی مثل زائدات غلات (۶)، پوست سویا (۷)، پوست پرتقال و موز (۸)، هسته زیتون (۹) و ... معطوف شده است که از مزایای آنها قیمت پایین و داشتن کمترین اثر بر محیط می باشد. به عنوان مثال نتایج مطالعه *Zhong* و همکاران (۱۰) در خصوص تعیین سینتیک و ترمودینامیک و بهینه سازی پارامترهای بهره برداری در فرآیند جذب مس توسط زائدات گندم نشان داد که حداکثر ظرفیت جذب در جذب مس ۷۳ mg/g می باشد. همچنین پارامترهای pH محلول، مقدار جذب و زمان تماس بر فرآیند جذب موثر بودند. در مطالعه دیگری از سه نوع زائدات کشاورزی (بادام زمینی، سویا و کلزا) برای حذف مس از فاضلاب استفاده شد. بررسی ایزوترم واکنش ها نشان داد که داده ها با ایزوترم

تنظیم شد و سپس ۰/۵ گرم از جاذب به محلول اضافه شد. پس از گذشت ۲۴ ساعت، pH نهایی اندازه گیری و در برابر pH اولیه نموداری رسم گردید. نقطه تلاقی منحنی pH نهایی و pH اولیه به عنوان  $ZPC_{pH}$  در نظر گرفته شد. سطح ویژه و حجم کل روزنه-های جاذب با تکنیک جذب نیتروژن (۲۳۷۲-Micrometetics/Gemini) تعیین گردید. همه آزمایشات جذب دوبار تکرار و میانگین آنها در این مطالعه گزارش شده است. تجزیه تحلیل داده های آزمایشگاهی به کمک نرم افزار Excel انجام شد.

### یافته ها

مشخصات جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه در جدول ۱ ارائه شده است. همانطوری که مشاهده می شود، بالا بودن حجم حفره ها و سطح ویژه جاذب می تواند قابلیت و شانس این جاذب را در حذف آلاینده ها افزایش دهد.

جدول ۱: مشخصات فیزیکی و شیمیایی جاذب تهیه شده از برگ گیاه پاغازه

ویژگی	واحد	مقدار
سطح BET	M <sup>2</sup> /g	۲/۶
حجم حفره ها	Cm <sup>2</sup> /g	۰/۰۰۱۲
قطر حفره ها	nm	۰/۵۲
pH <sub>ZPC</sub>	-	۶
دانسیته حجمی	g/ml	۰/۹۳
میزان خاکستر	%	۱/۸
اندازه ذرات جاذب	Mesh	۲۰

از آنجا که pH محلول نقش کلیدی در فرآیند جذب دارد، آزمایشات جذب مس توسط برگ گیاه پاغازه در pH های مختلف انجام گرفت که نتایج آن در شکل ۱ آمده است. این شکل به طور واضحی نشان می دهد که جذب مس از pH محلول تاثیر می پذیرد. همانطوری که ملاحظه می گردد بیشترین درصد حذف مس از محلول توسط جاذب تهیه شده از برگ گیاه پاغازه در pH های اسیدی اتفاق افتاده به طوری که در pH برابر ۲، مقدار حذف ۸۵/۸۸٪ حاصل شد. حداقل درصد حذف مس نیز در pH برابر ۱۲ به میزان ۵۵/۵۸٪ بدست آمد.

تهیه محلول ها و معرف ها و از HCl و NaOH ۰/۱ نرمال جهت تنظیم pH محلول استفاده شد. مقدار اختلاط برای بررسی متغیرها به میزان ۱۲۰ rpm بود.

در هر مرحله از آزمایشات، ظرفیت و راندمان جذب به ترتیب با معادله ۱ و ۲ تعیین شد:

$$q_e = \frac{V(c_o - c_e)}{M} \quad (1)$$

$$q_e = 100 \times \frac{c_o - c_t}{c_o} \quad (2)$$

در این روابط  $q_e$  ظرفیت جذب جاذب در شرایط تعادلی (mg/g)،  $E_{cu}$  راندمان جذب مس (%)،  $C_o$  غلظت اولیه مس (mg/L)،  $C_e$  غلظت تعادلی مس بعد از برقراری تعادل (mg/L)،  $C_t$  غلظت باقیمانده مس در زمان  $t$  (mg/L)،  $V$  حجم محلول (L) و  $M$  جرم جاذب (gr) می باشد. در این مطالعه بعد از تعیین زمان تماس مناسب، مقدار بهینه جاذب و pH، مشخصه های مرتبط با ایزوترم جذب مس بر روی جاذب تعیین گردید. میزان انطباق داده های تجربی تعادل جذب با مدل های ایزوترم جذب لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و دوبنین - رادشکوچ به ترتیب طبق معادلات ۳-۶ بررسی شد.

$$\frac{c_e}{q_e} = \frac{1}{ab} \times \frac{1}{a} c_e \quad (3)$$

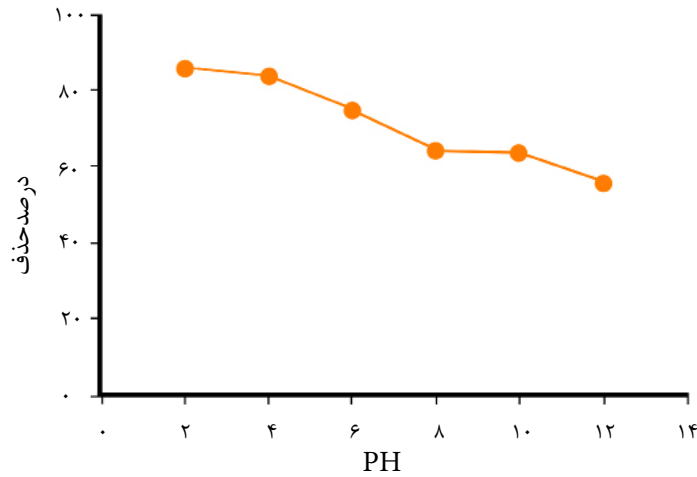
$$\log q_e = \log k_f \times \frac{1}{n} (\log c_e) \quad (4)$$

$$q_e = B \ln A + B \ln \quad (5)$$

$$\ln q_e = \ln q_m - D\varepsilon^2 \quad (6)$$

در این معادلات  $a$  و  $b$  ثابت های ایزوترم لانگمویر،  $k_f$  ثابت ایزوترم فروندلیچ،  $A$  و  $B$  به ترتیب ثابت باند تعادلی (L/g) ثابت تمکین (L/mol)،  $\varepsilon$  پتانسیل پلانی (J/mol) و  $qm$  ثابت ایزوترم دوبنین - رادشکوچ می باشند.

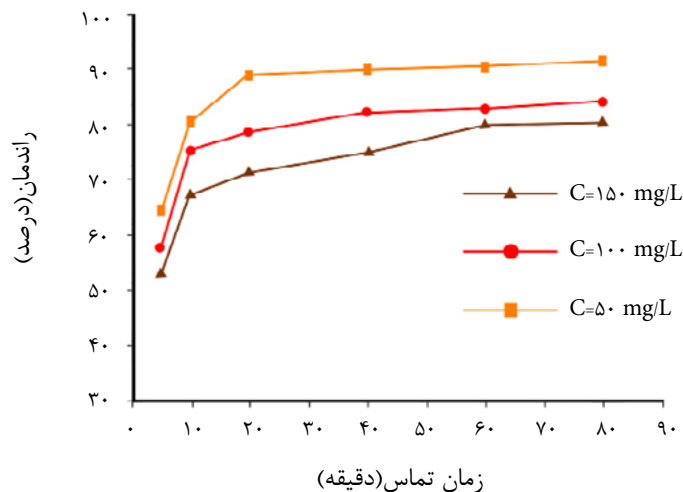
غلظت مس در نمونه ها به روش ارائه شده در کتاب استاندارد متد (۱۵) و با استفاده از دستگاه جذب اتمی (varian AA240، استرالیا) اندازه گیری گردید. برای تعیین pH نقطه بار صفر ( $pH_{ZPC}$ ) ۱۵۰ میلی لیتر از محلول ۰/۰۱ مولار NaCl در بشر ۲۵۰ میلی لیتری ریخته و pH آن با استفاده از سود یا هیدروکلراید ۰/۱ نرمال بین ۲ تا ۱۲



نمودار ۱: تاثیر pH اولیه بر حذف مس توسط جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه (زمان تماس: ۴۰ دقیقه، غلظت اولیه آلاینده ۱۰۰ mg/L و مقدار جاذب ۱ g/L)

غلظت مس ۱۰۰ میلی گرم در لیتر بود، بنابراین دوز بهینه ی جاذب، ۱ گرم بر لیتر تعیین شد. در این حالت ۸۱/۷۸ درصد مس از محلول آبی حذف شد. با افزایش دوز جاذب از ۱ به ۲ گرم در لیتر، راندمان حذف کاهش یافت. ارائه موفق دینامیک جداسازی آلاینده از محلول بستگی به توصیف مناسب جداسازی تعادلی بین دو فاز دارد (۲۵). ثابت های ایزوترم جذب می تواند مشخصات سطحی جاذب، کشش جاذب و آلاینده به یکدیگر و همچنین ظرفیت جذب آلاینده را مشخص کند. بنابراین ایزوترم های جذب با ارائه این اطلاعات مهم، برای طراحی و بهینه نمودن فرآیند جذب می تواند مفید باشد. در این مطالعه از ایزوترم لانگمویر، فروندلیچ، تمکین و دوبینین-رادشکوویچ جهت تحلیل جذب مس توسط جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه استفاده گردید. نتایج این مطالعه در جدول ۲ آورده شده است. با توجه به ضریب همبستگی مدل های مورد مطالعه جذب مس از مدل لانگمویر (۰/۹۹۹) تبعیت می کند.

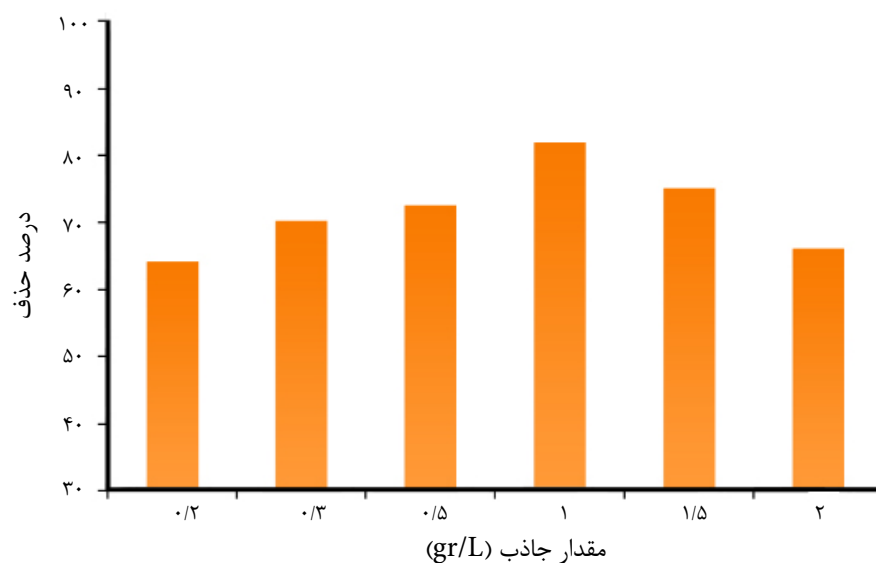
صنایع مختلف ممکن است فاضلاب های با غلظت آلاینده متفاوت تولید نمایند، بنابراین این سوال در ذهن ایجاد گردد که عملکرد جاذب تهیه شده برای حذف مس در غلظت های مختلف چگونه است. نتایج بررسی اثر غلظت اولیه مس بر راندمان حذف مس طبق شکل ۲ نشان داد که با افزایش غلظت اولیه مس راندمان حذف کاهش می یابد و با گذشت زمان در همه غلظت ها راندمان حذف تا زمان ۴۰ دقیقه افزایش می یابد. همچنین درصد حذف ۷۵ و ۶۸٪ در زمان تماس ۱۰ دقیقه برای غلظت های اولیه مس برابر ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ میلی گرم بر لیتر بدست آمد. با توجه به اینکه جذب یک فرآیند سطحی است، توده جاذب و مقدار در دسترس سطح برای جذب تاثیر بسزایی بر راندمان جذب دارد. بنابراین تاثیر غلظت جاذب بر حذف مس مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۳). با افزایش مقدار جاذب از ۰/۲ به ۱ گرم در لیتر درصد حذف مس از محلول افزایش یافت. بیشترین درصد حذف مس در دوز جاذب ۱ گرم در لیتر و



نمودار ۲: تاثیر غلظت اولیه مس و زمان تماس بر جذب مس توسط جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه (pH برابر ۲ و مقدار جاذب ۱ g/L)

جدول ۲: اطلاعات مدل های ایزوترمی برای جذب مس توسط جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه

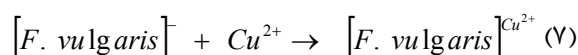
ایزوترم		نتایج
لانگمویر	Fitted model	$C_e/q_e = 0.0074 + 0.1132 C_e$
	a	۸/۸۳
	b	۱۵/۲۹
	R <sup>2</sup>	۰/۹۹۹
	RL = 1/1 + bCi	۰/۰۰۰۴-۰/۰۰۱
فرونلیچ	Fitted model	$\ln q_e = 3.8924 + 0.2951 \ln C_e$
	kf	۴۹/۰۲
	n	۳/۳۸
	R <sup>2</sup>	۰/۸۴۵
دوبینین - رادوشکویچ	Fitted model	$\ln q_e = 4.373 - 0.0003e^2$
	D	۰/۰۰۰۳
	$\epsilon = 1/(2D)^{0.5}$	۴۰/۸۳
	qm	۷۹/۲۸
	R <sup>2</sup>	۰/۹۴۵
تمکین	Fitted model	$q_e = 52.56 + 24.93 \ln C_e$
	KT	۸/۱۶
	qm	۲۴/۹۳
	R <sup>2</sup>	۰/۹۳۲



نمودار ۳: تاثیر مقدار جاذب بر حذف مس توسط جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه (pH برابر ۲، زمان تماس: ۴۰ دقیقه و غلظت اولیه آلاینده ۱۰۰ mg/L)

## بحث

نتایج حاصل از بررسی مشخصات جاذب تهیه شده از برگ گیاه پاغازه نشان داد که این جاذب دارای سطح معادل  $m^2/g$  ۲/۶ است که در گستره سطح BET سایر جاذبها (۹، ۱۳، ۱۶) می باشد. مقدار کم سطح BET این جاذب نشان دهنده این است که احتمالاً گروههای عاملی نقش پررنگ تری در حذف مس از محلول دارند و فرآیند جذب به صورت شیمیایی یا تعویض یون است (۴، ۱۷). همچنین مطالعات سطح نشان می دهد که قطر حفرات جاذب تهیه شده کمتر از ۲۰ nm است، بنابر این بر اساس طبقه بندی IUPAC این جاذب در گروه جاذب های میکروپور دسته بندی می شود (۱۳). pH محلول به واسطه تاثیر بر خواص فلزات، مکانیسم جذب فلزات، قطبیت بار سطحی از طریق نقاط ایزوالکتریک و ظرفیت جذب سطحی از مهمترین فاکتورهای کنترل کننده فرآیند جذب سطحی یون های فلزی می باشد. همانگونه که نتایج نشان می دهد با افزایش pH کارایی حذف کاهش یافته است. علت این پدیده به  $pH_{ZPC}$  جاذب تهیه شده ارتباط دارد.  $pH_{ZPC}$  یکی از پارامترهایی است که در فرآیند جذب مورد استفاده قرار می گیرد.  $pH_{ZPC}$  نشان دهنده نقطه ای است که در آن بار در سطح ماده جاذب صفر است و در pH های بالاتر از آن سطح ماده جاذب دارای بار منفی بوده و در پایین تر از آن سطح جاذب دارای بار مثبت می باشد (۱۸).  $pH_{ZPC}$  جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه در محدوده ۶ بدست آمد. از آنجایی که در pH پایین تر از ۶ سطح جاذب دارای بار الکتریکی منفی است، جذب یون مس ( $Cu^{2+}$ ) به دلیل اتصال به گروه های عاملی آنیونی موجود بر سطح جاذب افزایش می یابد (۱۹). به عبارت بهتر، با کاهش pH تعداد بارهای منفی جاذب افزایش یافته و با توجه به ماهیت کاتیونی یون مس در محلول جاذبه الکترواستاتیکی میان جاذب و آلاینده برقرار (۲۰) و راندمان جذب بر اساس فرمول زیر افزایش می یابد:



pH برابر ۲ که در آن بیشترین درصد حذف مس (۸۵/۸٪) صورت گرفته است، به عنوان pH بهینه در نظر گرفته شد. در مطالعات انجام شده بر روی حذف مس توسط تفاله چای سیاه (۲۱) و رس بنتونیت (۲۲) نیز حداکثر جذب در pH های بسیار اسیدی اتفاق افتاده است. در جدول ۳ مطالعات موافق و مخالف بیشتری در این زمینه لیست شده است.

همانطوری که در شکل ۲ مشخص است غلظت اولیه مس تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر راندمان حذف دارد. میزان مس حذف شده در زمان تماس ۴۰ دقیقه برای غلظت‌های اولیه مس ۵۰، ۱۰۰ و  $150 \text{ mg/L}$  به ترتیب ۸۹، ۸۱ و ۷۵ درصد بود. جذب سریع در مرحله‌ی اولیه ناشی از نیروی محرکه‌ی بزرگی است که بعلت در دسترس بودن سطوح زیاد جاذب و کم بودن یون مس بوجود می‌آید. با افزایش زمان تماس تا ۸۰ دقیقه، راندمان حذف مس بسیار جزئی تغییر کرده است. بعبارت دیگر فرآیند جذب در ۴۰ دقیقه به تعادل رسیده است. کاهش راندمان با افزایش غلظت اولیه مس به این علت است که تعداد جایگاه‌های جذب بر سطح جاذب در محلول ثابت است، بنابراین با افزایش غلظت مس تعداد جایگاه‌های در دسترس کمتری برای اشغال وجود دارد و در نتیجه راندمان کاهش یافته است (۸، ۲۱). این نتایج با یافته های برخی از محققین شبیه است، Peller و همکارانش نشان دادند که جذب مس بر روی جاذب مورد مطالعه در مدت زمان چند دقیقه (زمان کوتاه) به تعادل می رسد که با یافته های این مطالعه نزدیک است (۲۳). از طرفی نتایج این مطالعه با یافته های برخی محققین متفاوت است. Hansen و همکارانش (۹) در مطالعه جذب مس توسط مواد زائد کشاورزی گزارش کردند که جذب مس بر روی جاذب مطالعه شده در مدت زمان ۵۰۰ دقیقه به تعادل می رسد. اختلاف در گزارش نتایج محققین را می توان با شرایط آزمایش، نوع جاذب و اصلاحات اعمال شده بر روی جاذب-ها توضیح داد. زمان تعادل بسیار کم جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه در حذف مس بیانگر پتانسیل این جاذب در عملیاتی نمودن آن جهت تصفیه آلاینده ها است.

مطابق شکل ۳، با افزایش دوز جاذب از  $0.2 \text{ g/L}$  به  $1 \text{ g/L}$  برای غلظت مس ۱۰۰ میلی گرم بر لیتر، راندمان حذف از  $64/24\%$  به  $81/78\%$  رسیده است و برای دوزهای جاذب بیشتر از  $1 \text{ g/L}$  راندمان حذف تقریباً ثابت است. افزایش جذب مس تا دوز جاذب  $1 \text{ g/L}$  ناشی از افزایش تعداد محل های در دسترس برای جذب مس است (۱۴). دلیلی که برای عدم افزایش جذب مس برای دوزهای جاذب بیشتر از  $1 \text{ g/L}$  می‌توان بیان نمود همپوشانی محل‌های جذب بر سطح جاذب است که منجر به کاهش محل‌های جذب و در نتیجه کاهش راندمان و میزان جذب شده است (۲۴). دوز بهینه‌ی جاذب در اکثر مطالعات گذشته (جدول ۳) بالاتر از  $1 \text{ g/L}$  است که نشان می‌دهد جاذب مورد مطالعه پتانسیل مناسبی

مس و سطح جذب است (۱۳). بعلاوه بر اساس اطلاعات جدول ۲، مقدار پارامتر  $E$  در ایزوترم دوبینین - رادوشکوویچ  $40/83 \text{ kJ/mol}$  بدست آمد. کمیت  $E$  نشان دهنده متوسط انرژی جذب به ازای یون مس جذب شده است که بیانگر نوع جذب می باشد. این یافته تایید می نماید که جذب مس توسط جاذب تهیه شده یک فرآیند شیمیایی است که توسط توزیع بین ذره ای کنترل می شود (۱۳، ۲۷).

### نتیجه گیری

مطالعه جذب مس از محلول آبی با استفاده از برگ علف پاغازه به عنوان یک جاذب کم هزینه و در دسترس نشان داد که متغیرهای مختلف از جمله غلظت اولیه، زمان تماس، دوز جاذب و pH محلول تاثیر بسزایی بر راندمان جذب دارد. حداکثر راندمان جذب مس در pH برابر ۲، مقدار جاذب  $40 \text{ g/l}$ ، با غلظت اولیه آلاینده  $100 \text{ mg/L}$  و در زمان تماس ۴۰ دقیقه به میزان  $81/78\%$  بدست آمد. ایزوترم لانگمویر (با حداکثر ظرفیت جذب مس  $8/83 \text{ mg/g}$ ) مناسب ترین مدل جهت توصیف فرآیند جذب تشخیص داده شد. بنابراین می توان نتیجه گیری کرد که جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه، یک جاذب کارآمد و قابل قبول برای حذف مس از محیط های آبی است.

### تشریح و قدردانی

نویسندگان مقاله از حمایت مادی و معنوی دانشگاه علوم پزشکی بوشهر در اجرای این مطالعه قدردانی می نمایند.

### تضاد منافع

این مطالعه برای نویسندگان هیچ گونه تضاد منافی نداشته است.

### References

- Islam MS, Ahmed MK, Raknuzzaman M, Habibullah Al Mamun M, Islam MK. Heavy metal pollution in surface water and sediment: A preliminary assessment of an urban river in a developing country. *Ecological Indicators*. 2015;48:282-291.
- Zhong QQ, Yue QY, Li Q, Gao BY, Xu X. Removal of Cu(II) and Cr (VI) from wastewater by an amphoteric sorbent based on cellulose-rich

برای جذب آلاینده ها در مقیاس عملیاتی دارد. در این مطالعه بعد از تعیین شرایط بهینه زمان تماس، دوز جاذب و pH، مشخصه های مرتبط با ایزوترم های جذب مس مشخص گردید و نتایج نشان داد که داده های آزمایشگاهی با ایزوترم لانگمویر با مقدار  $R^2$  بالا (۰/۹۹۹) بهتر توصیف می شوند. ظرفیت جذب بدست آمده از مدل ایزوترم لانگمویر  $8/83 \text{ mg/g}$  بدست آمد که در مقایسه با دیگر جاذبها (جدول ۳)، این جاذب بسیار کارآمدتر به نظر می رسد. اینکه داده های آزمایشگاهی همخوانی بیشتری با مدل لانگمویر داشت ناشی از توزیع هموزن جایگاه های فعال بر سطح جاذب می باشد، چرا که معادله لانگمویر بر این فرض استوار است که سطح جاذب هموزن است. بر اساس جدول ۲، مقدار پارامتر RL در محدوده  $0/004-0/001$  تعیین شد، بنابراین جذب مس به جاذب تهیه شده مطلوب توصیف می شود. در این ارتباط نتایج مشابهی برای جذب آلاینده ها از محلول آبی با زائادات کشاورزی گزارش شده است (۱۱، ۲۵، ۲۶). هر چند دیگر مطالعات جذب مس توسط جاذبهای طبیعی نشان داد که داده های آزمایشگاهی از ایزوترم فروندلیچ نیز تبعیت می نماید. تفاوت در گزارشها می تواند ناشی از تفاوت شرایط آزمایش جذب و نوع جاذب مورد استفاده باشد. مقدار پارامتر  $n$  در ایزوترم فروندلیچ (که بیشتر از عدد یک می باشد) نشان دهنده مناسب بودن جذب مس به جاذب تهیه شده از گیاه پاغازه است (۲۰). ثابت های  $K_F$  و  $q_m$  و ضریب همبستگی  $R^2$  مدل ایزوترم تمکین به ترتیب  $8/16$ ،  $24/93$ ،  $0/932$  بدست آمد. بنابراین، جذب مس به جاذب با مقدار انرژی باند شونده بالایی توصیف می شود (۲۷). همچنین پتانسیل جذب تمکین  $B \ln A$  برای جاذب مورد نظر  $52/5 \text{ kJ/mol}$  تعیین گردید که نشان دهنده ایجاد باند قوی بین مولکول

biomass. *Carbohydrate Polymers*. 2014;111:788-796.

3. Jiang Y, Pang H, Liao B. Removal of copper (II) ions from aqueous solution by modified bagasse. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;164(1):1-9.

4. Bilal M, Shah JA, Ashfaq T, Gardazi SMH, Tahir AA, Pervez A, et al. Waste biomass adsorbents for copper removal from industrial waste-



- water A review. *Journal of Hazardous Materials*. 2013;263:322-333.
5. Awual MR, Rahman IMM, Yaita T, Khaleque MA, Ferdows M. pH dependent Cu(II) and Pd(II) ions detection and removal from aqueous media by an efficient mesoporous adsorbent. *Chemical Engineering Journal*. 2014;236:100-109.
  6. Basci N, Kocadagistan E, Kocadagistan B. Biosorption of copper (II) from aqueous solutions by wheat shell. *Desalination*. 2004;164(2):135-140.
  7. Marshall WE, Champagne ET. Agricultural byproducts as adsorbents for metal ions in laboratory prepared solutions and in manufacturing wastewater. *Journal of Environmental Science and Health Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology*. 1995;30(2):241-261.
  8. Annadural G, Juang RS, Lee DJ. Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels. *Water Science and Technology : A Journal of the International Association on Water Pollution Research*. 2003;47(1):185-190.
  9. Hansen HK, Arancibia F, Gutierrez C. Adsorption of copper onto agriculture waste materials. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;180(1):442-448.
  10. Zhong Q-Q, Yue Q-Y, Gao B-Y, Li Q, Xu X. A novel amphoteric adsorbent derived from biomass materials: Synthesis and adsorption for Cu(II)/Cr(VI) in single and binary systems. *Chemical Engineering Journal*. 2013;229:90-98.
  11. Tong X-j, Li J-y, Yuan J-h, Xu R-k. Adsorption of Cu(II) by biochars generated from three crop straws. *Chemical Engineering Journal*. 2011;172(2):828-834.
  12. Jaberian H, Piri K, Nazari J. Phytochemical composition and in vitro antimicrobial and antioxidant activities of some medicinal plants. *Food Chemistry*. 2013;136(1):237-244.
  13. Ramavandi B, Asgari G, Faradm J, Sahebi S, Roshani B. Abatement of Cr(VI) from wastewater using a new adsorbent, cantaloupe peel: Taguchi L16 orthogonal array optimization. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2014;31(12):2207-2214.
  14. Asgari G, Ramavandi B, Sahebi S. Removal of a cationic dye from wastewater during purification by *PHoenix dactylifera*. *Desalination and Water Treatment*. 2014;52(37-39):7354-7365.
  15. Clesceri LS, Greenberg AE, Eaton AD. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Edition: APHA American Public Health Association; 1998.
  16. Moussavi G, Khosravi R. The removal of cationic dyes from aqueous solutions by adsorption onto pistachio hull waste. *Chemical Engineering Research and Design*. 2011;89(10):2182-2189.
  17. Lasheen MR, Ammar NS, Ibrahim HS. Adsorption/desorption of Cd(II), Cu(II) and Pb(II) using chemically modified orange peel: Equilibrium and kinetic studies. *Solid State Sciences*. 2012;14(2):202-210.
  18. Ramavandi B, Farjadfard S. Removal of chemical oxygen demand from textile wastewater using a natural coagulant. *Korean Journal of Chemical Engineering*. 2014;31(1):81-87.
  19. Ramavandi B, Barikbin B, Asgari G, Ghaedi H. Efficacy evaluation of activated carbon prepared from date stones in cyanide adsorption from synthetic wastewater. *Journal of Birjand University of Medical Sciences*. 2013;19(4):399-408. (Persian)
  20. Asgari G, Ramavandi B, Rasuli L, Ahmadi M. Cr(VI) adsorption from aqueous solution using a surfactant-modified Iranian zeolite: characterization, optimization, and kinetic approach. *Desalination and Water Treatment*. 2013;51(31-33):6009-6020.
  21. Weng C-H, Lin Y-T, Hong D-Y, Sharma YC, Chen S-C, Tripathi K. Effective removal of copper ions from aqueous solution using base



- treated black tea waste. *Ecological Engineering*. 2014;67:127-133.
22. Fernández-Calviño D, Rodríguez-Salgado I, Pérez-Rodríguez P, Nóvoa-Muñoz JC, Arias-Estévez M. Time evolution of the general characteristics and Cu retention capacity in an acid soil amended with a bentonite winery waste. *Journal of Environmental Management*. 2015;150:435-443.
23. Pellerá FM, Giannis A, Kalderis D, Anastasiadou K, Stegmann R, Wang JY, et al. Adsorption of Cu(II) ions from aqueous solutions on biochars prepared from agricultural by-products. *Journal of Environmental Management*. 2012;96(1):35-42.
24. Dastgheib SA, Karanfil T, Cheng W. Tailoring activated carbons for enhanced removal of natural organic matter from natural waters. *Carbon*. 2004;42(3):547-557.
25. Zhang M. Adsorption study of Pb(II), Cu(II) and Zn(II) from simulated acid mine drainage using dairy manure compost. *Chemical Engineering Journal*. 2011;172(1):361-368.
26. Tong KS, Kassim MJ, Azraa A. Adsorption of copper ion from its aqueous solution by a novel biosorbent *Uncaria gambir*: Equilibrium, kinetics, and thermodynamic studies. *Chemical Engineering Journal*. 2011;170(1):145-153.
27. Moussavi G, Khosravi R. Removal of cyanide from wastewater by adsorption onto pistachio hull wastes: Parametric experiments, kinetics and equilibrium analysis. *Journal of Hazardous Materials*. 2010;183(1):724-730.

## Evaluation of copper adsorption from aqueous solution using the leaf of *Falcaria vulgaris*

Bahman Ramavandi<sup>1</sup>, Raheleh Kafaei<sup>2\*</sup>, Ahmad Ebrahimi<sup>2</sup>, Mozhgan Safari<sup>2</sup>,  
Masoud Mohammadi Baghmollaei<sup>3</sup>

1. Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

2. MSc Student of Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

3. Department of Public Health, Faculty of Health, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran

Received: 29 Sep. 2014

Accepted: 7 May 2014

### Abstract

**Introduction:** Increasing environmental pollution by the discharge of wastewaters containing copper has caused much concern because of the serious health effects, particularly the brain and liver and its bio-accumulation. The objectives of this study was to investigate the performance of a low-cost and natural adsorbent namely *Falcaria vulgaris* to remove Cu(II) ions from aqueous solution.

**Methods:** In this study, the leaf of *Falcaria vulgaris* was collected from farms in Lorestan Province and used for preparing the adsorbent. Effect of various parameters such as solution pH (2-12), contact time (5-80 min), Cu concentration (50-150 mg/L) and adsorbent dose (0.3-2 g/l) were studied. The experimental data were fitted to Freundlich, Langmuir, Temkin, Dubinin–Radushkevich Isotherm. Adsorbent characteristics such as BET surface, pore volume, particle size and pHzpc were determined.

**Results:** The results showed that Cu adsorption was affected by factors such as initial copper concentration, adsorbent dose and solution pH. Maximum adsorption was obtained at the solution pH of the adsorption efficiency decreased with increasing the initial Cu concentration. Among four isotherm models studied, Langmuir model (with maximum adsorption capacity of 8.83 mg/g) well-described the copper adsorption onto the adsorbent. The BET surface area of the adsorbent obtained from the leaves *Falcaria Vulgaris* was achieved to 2.6 m<sup>2</sup>/g.

**Conclusion:** Overall, the results of this study showed that the prepared adsorbent has a good ability to remove copper ion from aqueous solutions. Regarding the low cost, ready to preparation and high efficiency of the prepared adsorbent from *Falcaria vulgaris*, it can be used as an appropriate alternative instead of relatively expensive adsorbents such as activated carbon to remove metallic pollutants.

**Keywords:** *Falcaria vulgaris*, Adsorption, Copper, Aqueous solution

\* Corresponding Author: Raheleh Kafaei, M.Sc. student of Environmental Health Engineering, faculty of health, department of Health Engineering, Bushehr University of Medical Sciences, Bushehr, Iran  
Email: Rahelekafaei@yahoo.com Tel: +987714559134

Please cite this article as: Ramavandi B, Kafaei R, Ebrahimi A, Khazaei S, Safari M, Khazaei Z, Baghmollaei M M.[Evaluation of copper adsorption from aqueous solution using the leaf of *Falcaria vulgaris*]. *Pajouhan Scientific Journal*. 2015;13(1):42-51