

# بررسی سینتیک حذف مس از محیط آبی با استفاده از خاک اره

شایان شامحمدی<sup>۱</sup>

(دریافت ۸۹/۳/۲ پذیرش ۹۰/۱/۲۸)

## چکیده

در حال حاضر در اکثر شهرهای جنوبی ایران استفاده از آب تصفیه‌کن‌های خانگی رایج شده است. یکی از عوامل مهم و مؤثر در فرایند جذب، تغییر جرم جاذب است. هدف از این تحقیق، بررسی اثر تغییر مقدار جرم جاذب خاک اره بر زمان تعادل، راندمان جذب و واسنجی مدل‌های سینتیک در حذف مس از محلول آبی بود. برای این کار، خاک اره از کارگاه محلی تهیه شد و اندازه ذرات آن ۵۰۰ میکرون انتخاب گردید و از محلول‌های با غلظت‌های ۱ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر استفاده شد. سپس چهار مقدار جاذب خاک اره شامل، ۱ گرم در لیتر (SD1)، ۱۰ گرم در لیتر (SD10)، ۲۰ گرم در لیتر (SD20) و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (SD50) انتخاب و آزمایش‌های مختلف بر روی آنها انجام گردید. نتایج نشان داد که برای هر چهار جاذب، pH بهینه برابر ۶ است. با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل جذب کاهش یافت، به طوری که حداکثر زمان تعادل جاذب SD1، SD10، SD20، و SD50 به ترتیب ۱۱۰، ۱۰۵، ۱۰۰ و ۸۰ دقیقه به دست آمد. بررسی رابطه ریاضی راندمان جذب با جرم جاذب و غلظت اولیه محلول نشان داد که اگر چه با افزایش جرم جاذب، راندمان جذب افزایش می‌یابد، ولی در صورتی که غلظت اولیه از یک مقدار معین (مقدار ظرفیت جرمی جاذب) به سمت صفر میل کند، راندمان کلیه جاذبها افزایش و به سمت ۱۰۰ درصد میل می‌کنند. این موضوع در غلظتهایی که به سمت بی‌نهایت میل می‌کنند نیز صادق است. همچنین نتایج واسنجی نشان داد که مدل اورامی با ضریب رگرسیون ۰/۹۸۸ و فاکتور خطای ۰/۰۳۷، داده‌های جذب را بهتر از مدل‌های لاگرگرن و هو و همکاران توصیف می‌کند.

واژه‌های کلیدی: مس، خاک اره، زمان تعادل، مدل‌های سینتیک، راندمان جذب

## Study of Kinetics of Copper in Aqueous Solution by Sawdust Adsorbent

Shayan Shamohammadi<sup>1</sup>

(Received May 22, 2010 Accepted Apr. 16, 2011)

### Abstract

The purpose of this research was to study the effect of the dosage of sawdust adsorbent, on the equilibrium time, the efficiency of absorption in aqueous solution of Copper. Sawdust was prepared and those with particle size of 500 microns was selected. For this study, four adsorbent sawdust concentration of 1 (SD1), 10 g/L (SD10), 20 g/L (SD20) and 50 g/L (SD50) were used. The most absorption rate was occurred at pH6. increasing sorbent the time of absorption at equilibrium condition increases. The maximum balance time of adsorbents (SD1, SD10, SD20, and SD50), were, 110, 105, 100 and 80 minutes respectively. Mathematical relationship between mass absorption efficiency adsorbent solution and initial concentration showed that although increasing sorbent mass absorption efficiency increases, but if the initial concentration of a certain amount (the amount of crime absorbing capacity) toward to approach zero, the efficiency of all adsorbent and rise toward 100% limited to. This concentration toward infinity that applies to e-mail. The calibration results showed that Avram model regression coefficient 0.988 and the error factor 0.037 data better absorption Lagergren models and Ho et al. described.

**Keywords:** Copper, Sawdust, Contact Time, Kinetic Models, Absorption Efficiency.

1. Assoc. Prof. of Water Eng., College of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord (+ 98 381) 2226975 shayan1962@gmail.com

۱- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، shayan1962@gmail.com (۰۳۸۱) ۲۲۲۶۹۷۵

## ۱- مقدمه

گسترش روز افزون صنایع، نگرانی ناشی از افزایش فلزات سنگین در پسابها را افزایش داده است [۱]. در سالهای اخیر برخی از ضایعات کشاورزی مانند خاک اره، برگ درخت سرخس، پوسته شلتوک، پوسته گندم، چوب ذرت و غیره به طور گسترده‌ای برای حذف فلزات سنگین از محلولهای آبی مورد مطالعه قرار گرفته‌اند [۲]. خاک اره<sup>۱</sup> یکی از ارزان‌ترین و فراوان‌ترین جاذبهایی است که توانایی جذب فلزات سنگین از آب و پساب را دارد [۳]. همچنین خاک اره به طور گسترده از صنایع تجاری و دیگر صنایع مرتبط با فرآوری چوب، تولید و به صورت بلا مصرف دفع می‌گردد [۴].

دیواره ثانویه چوب از نظر لیگنین ضعیف و از نظر سلولز غنی است به همین دلیل فلز مس در واکنش با مواد سلولزی مانند خاک اره انباشته می‌شود [۵]. مطالعه حذف مس توسط زغال چوب نشان داد که برای غلظت اولیه ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر محلول، ظرفیت جذب در pH برابر ۴، ۱/۶۲ میلی‌گرم در لیتر است [۶]. همچنین نتایج مطالعات آنادوری و همکاران<sup>۲</sup> نشان داد در pH بهینه ۶/۵ ظرفیت جذب پوست موز و پوست پرتقال، به ترتیب برابر ۴/۷ و ۳/۶۵ میلی‌گرم در لیتر است. این در حالی است که غلظت اولیه محلول بر آب هر دو جاذب ۲۵ میلی‌گرم در لیتر در نظر گرفته شده است [۷]. نتایج مطالعات حذف یون دوظرفیتی مس توسط جاذب رس نشان داد که در pH برابر ۵/۵، ظرفیت جاذب ۳/۰۴ میلی‌گرم بر گرم است [۸]. همچنین نتایج گزارش گوپتا و همکاران<sup>۳</sup> نشان داد که ظرفیت حذف مس توسط باگاس تا حداکثر ۲ میلی‌گرم بر گرم می‌رسد [۹].

سازمان بهداشت جهانی<sup>۴</sup> بیشینه غلظت قابل قبول مس در آب آشامیدنی را ۱/۵ میلی‌گرم در لیتر توصیه کرده است [۶]. حد مجاز آلاینده مس در تخلیه به آبهای سطحی ۱ میلی‌گرم در لیتر و در مصارف کشاورزی و آبیاری ۰/۲ میلی‌گرم در لیتر توصیه شده است [۲]. هدف اصلی از این تحقیق بررسی اثر تغییر مقدار جرم جاذب خاک اره بر زمان تعادل جذب مس بود. همچنین دستیابی به یک تعریف ریاضی از رابطه بین غلظت اولیه و راندمان جذب، از دیگر اهداف این مطالعه بود.

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱- تهیه جاذب

محلول ذخیره یون مس (۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر) با استفاده از تیترازول مس (II)، ساخت کارخانه مرک<sup>۵</sup> آلمان با آب مقطر تهیه

گردید. خاک اره از کارگاه محلی تهیه و اندازه ذرات آن ۵۰۰ میکرون انتخاب گردید. سپس توسط مواد شوینده کاملاً شسته و در آون، در درجه حرارت ۷۰ درجه سلسیوس به مدت ۶ ساعت خشک شد.

### ۲-۲- آزمایش‌های ناپیوسته

آزمایش‌های ناپیوسته برای تعیین pH، زمان تعادل و راندمان جذب مس در غلظتهای مختلف انجام گرفت. همچنین تعیین پارامترهای مدل‌های سینتیک جذب مس در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت.

در کلیه آزمایش‌ها، حجم محلول مورد استفاده در ارلن مایرهای ۲۵۰ میلی‌لیتری، ۱۰۰ میلی‌لیتر در نظر گرفته شد. ظروف با اسید و سپس با آب بدون یون شسته شد. کلیه محلولها از کاغذ صافی واتمن<sup>۶</sup> شماره ۴۰ گذرانده شد. pH توسط دستگاه pH متر مدل 79 PTR تعیین شد و اندازه‌گیری جذب یون توسط دستگاه اسپکتروکوانت<sup>۷</sup> ساخت کارخانه مرک آلمان انجام گرفت. دمای اتاق در کلیه آزمایش‌ها در محدوده ۲۰ تا ۲۲ درجه سلسیوس نگه داشته شد.

### ۲-۲-۱- تعیین pH بهینه

تعداد ۷ ارلن ۲۵۰ میلی‌لیتری برداشته و مقدار ۱ گرم از جاذب خاک اره توزین و داخل هر یک از ارلن‌ها ریخته شد. سپس محلول فلزی با غلظت ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به هر یک از ارلن‌ها اضافه گردید [۲]. pHهای مختلف (۲ تا ۸) مورد تحقیق قرار گرفت. محلولها به مدت ۱۲ ساعت در سرعت ۱۵۰ دور در دقیقه و در دمای کنترل شده روی شیکر گذاشته شدند [۱۱ و ۱۲].

### ۲-۲-۲- غلظت اولیه و زمان تعادل

برای بررسی همگرایی راندمان جذب مس از خاک اره با جرمهای ۱ گرم در لیتر (SD1)، ۱۰ گرم در لیتر (SD10)، ۲۰ گرم در لیتر (SD20) و ۵۰ میلی‌گرم در لیتر (SD50) استفاده گردید. سپس آزمایش‌ها برای غلظتهای ۱ تا ۱۵۰ میلی‌گرم در لیتر انجام گردید. بررسی زمان تعادل جذب نیز در زمان تماسهای ۵ تا ۱۲۰ دقیقه، برای جاذب با، ۴ مقدار پیش گفته انجام شد.

### ۲-۲-۳- مدل‌های سینتیک جذب

مدل‌های سینتیک شامل مدل لاگرگرن<sup>۸</sup>، هو و همکاران<sup>۹</sup>

<sup>6</sup> Whatman

<sup>7</sup> Spectroquant

<sup>8</sup> Lagergeren

<sup>9</sup> Ho et al.

<sup>1</sup> Sawdust

<sup>2</sup> Annadurai et al.

<sup>3</sup> Gupta et al.

<sup>4</sup> World Health Organization (WHO)

<sup>5</sup> Merk

اورامی<sup>۱</sup> و تعاریف پارامترهای آنها در جدولهای ۱ و ۲ معرفی شده‌اند [۱۳، ۱۴ و ۱۵].

جدول ۱- مدل‌های سینتیک جذب

مدل سینتیک	معادلات غیر خطی
اورامی	$q_t = q_e \cdot \{1 - \exp[-(k_{AV} \cdot t)]^{n_{AV}}\}$
لاگرگرن	$q_t = q_e \cdot [1 - \exp(-k_f \cdot t)]$
هو و همکاران	$q_t = \frac{k_s \cdot q_e^2 \cdot t}{1 + q_e \cdot k_s \cdot t}$
	$h_0 = k_s \cdot q_e^2$

جدول ۲- پارامترهای مدل‌های غیر تعادلی جذب

پارامتر	معرفی پارامتر
$q_e$	مقدار ماده جذب شده بر روی سطح جاذب ( $\text{mg g}^{-1}$ )
$K_f$	ثابت سرعت جذب در مدل لاگرگرن ( $\text{h}^{-1}$ )
$K_s$	ثابت جذب در مدل هو و همکاران ( $\text{mg L}^{-1})^{-1/n_s}$
$h_0$	سرعت اولیه جذب در معادله هو و همکاران ( $\text{mg g}^{-1} \text{h}^{-1}$ )
$K_{AV}$	ثابت سینتیک اورامی ( $\text{h}^{-1}$ )
$n_{AV}$	فاکتور مربوط به مکانیسم جذب

در این تحقیق، برای ارزیابی مدل‌ها علاوه بر ضریب همبستگی، از تابع خطا ( $F_{\text{error}}$ ) نیز استفاده شد. در این تابع، اختلاف بین مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایش با مقادیر به دست آمده از مدل به عنوان معیار ارزیابی قرار گرفت [۱۶].

$$F_{\text{error}} = \sqrt{\sum_{i=1}^p \left( \frac{q_{i \text{ model}} - q_{i \text{ experimental}}}{q_{i \text{ experimental}}} \right)^2 \cdot \left( \frac{1}{p-1} \right)} \quad (1)$$

که در این رابطه

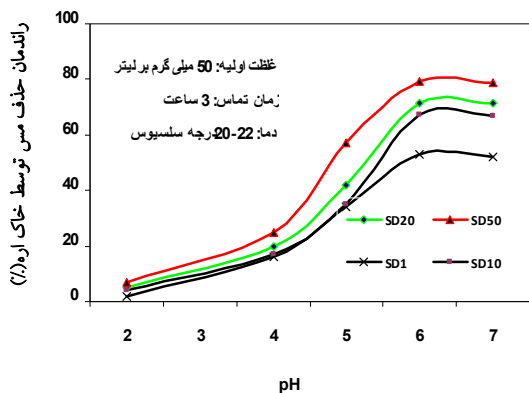
$q_{i \text{ model}}$  مقدار به دست آمده از برازش مدل،  $q_{i \text{ experimental}}$  مقدار به دست آمده از آزمایش و  $p$  تعداد آزمایش‌ها است.

### ۳- نتایج و بحث

#### ۳-۱- تعیین pH بهینه جذب

شکل ۱ تأثیر pH بر راندمان جذب مس را نشان می‌دهد. حداکثر راندمان جذب در pH برابر با ۶ به ترتیب برای SD1 و SD20/۹۳/۷۰ درصد و SD10/۳۳/۶۸ درصد، SD20/۹۳/۷۰ درصد و

SD50/۸۰/۷۹ درصد به دست آمد. شدت جذب مس برای SD1، SD10 و SD20 از pH=۲ تا pH=۶ زیاد و از pH=۶ به بعد کمی کاهش یافت. در صورتی که شدت جذب مس برای SD50 از pH=۴ تا pH=۶ زیاد بود ولی از pH=۴ تا pH=۶ با شیب بیشتری افزایش یافت و از pH=۶ به بعد از شدت آن کاسته شد و راندمان جذب تقریباً ثابت می‌ماند.



شکل ۱- تأثیر pH بر راندمان جذب مس توسط جاذب SD1، SD20، SD10 و SD50

افزایش نسبتاً سریع در راندمان جذب را می‌توان ناشی از دو عامل دانست: ۱- در pHهای کم، مقادیر یون  $H^+$  موجود در محلول که برای جذب سطحی با یون مثبت مس رقابت می‌کنند به اندازه کافی وجود دارند و ۲- برای هر یون فلزی قابل هیدرولیز، یک دامنه pH بحرانی، جایی که راندمان جذب فلز از مقداری خیلی کم به یک مقدار بیشینه می‌رسد، وجود دارد. به این مقدار، آستانه جذب سطحی گفته می‌شود [۱۷]. کاهش در جذب یون‌های مس احتمالاً به دلیل شکل‌گیری مجموعه‌های هیدروکسید قابل حل است. مقدار جزئی کاهش جذب در pH بالاتر از pH بهینه در این تحقیق، با مطالعات حییب و همکاران و پهلوان و همکاران<sup>۲</sup> مطابقت داشت [۱۸ و ۱۹].

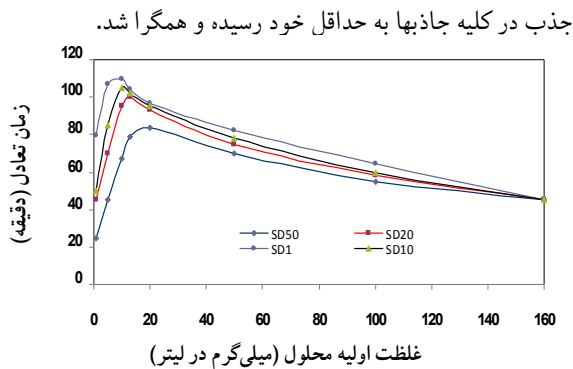
#### ۳-۲- سینتیک جذب

##### ۳-۲-۱- تأثیر غلظت اولیه محلول و جرم جاذب بر زمان تعادل جذب

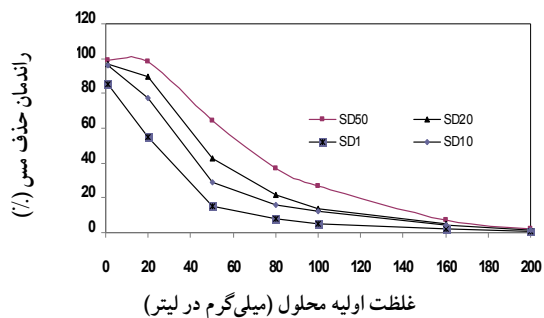
شکل ۲ تغییرات زمان تعادل جذب مس در غلظتهای مختلف توسط SD1، SD10، SD20، SD50 را نشان می‌دهد. در کلیه غلظتهای اولیه محلول به جز غلظت ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر، زمان تعادل جاذبها به صورت  $SD1 < SD10 < SD20 < SD50$  است که نشان می‌دهد با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل جذب کاهش می‌یابد. حداکثر

<sup>2</sup> Pehlivan et al.

<sup>1</sup> Avrami



شکل ۲- تأثیر غلظت اولیه مس و جرم جاذب بر زمان تعادل جذب



شکل ۳- تغییرات راندمان جذب فلز مس با تغییر غلظت اولیه جاذبهای SD1, SD10, SD20, SD50 (زمان تماس = ۱۲۰ دقیقه، مقدار جاذب = ۱ گرم در لیتر و pH = ۶)

با توجه به مطالعات مشابهی که در این زمینه انجام شده است و با توجه به رابطه مربوط به راندمان جذب، می‌توان یک تعریف ریاضی کلی از رابطه بین غلظت اولیه محلول و راندمان جذب ارائه داد.

$$E = \frac{M_{con} - M_{ce}}{M_{con}} = \frac{M_x}{M_{con}} \quad (2)$$

$$M_{con} > M_{cap} \quad (3)$$

$$\lim_{M_{con} \rightarrow \infty} \frac{M_{con} - M_{ce}}{M_{con}} = \lim_{M_{con} \rightarrow \infty} \frac{M_x}{M_{con}} \Rightarrow \lim_{M_{con} \rightarrow \infty} \frac{M_{cap}}{M_{con}} = 0$$

$$M_{con} \leq M_{cap} \quad (4)$$

$$\lim_{M_{con} \rightarrow 0} \frac{M_{con} - M_{ce}}{M_{con}} = \lim_{M_{con} \rightarrow 0} \frac{M_x}{M_{con}} \Rightarrow \lim_{M_{con} \rightarrow 0} \frac{M_{con}}{M_{con}} = 1$$

زمان تعادل برای جاذب SD1 (۱۱۰ دقیقه)، SD10 (۱۰۵ دقیقه)، SD20 (۱۰۰ دقیقه) و SD50 (۸۰ دقیقه) به ترتیب در غلظتهای اولیه ۵/۳۱، ۱۴/۷۶، ۱۵/۰۵ و ۱۹/۷۷ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. با افزایش غلظت محلول از ۵/۷۱ (SD1)، ۱۳/۱۸ (SD10)، ۱۵/۹۱ (SD20) و ۱۹/۰۸ (SD50) به ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر، زمان تعادل فرایند جذب برای همه جاذبها کاهش می‌یابد. در غلظتهای بالا به دلیل تجمع زیاد یون‌های فلزی در اطراف جاذب و افزایش شانس برخورد فلز با جاذب، مدت زمان کمی طول می‌کشد تا ظرفیت جاذب اشباع گردد و فرایند به تعادل برسد. بنابراین به نظر می‌رسد در این حالت عامل تعیین کننده زمان تعادل، غلظت محلول بوده و نقش مقدار جاذب کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش غلظت، زمان تعادل در هر چهار جاذب به هم نزدیک و همگرا می‌شود. این موضوع به خصوص در غلظت ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر به خوبی نشان داده شده است به طوری که در این حالت زمان تعادل برای همه جاذبها برابر ۴۵ دقیقه به دست آمد. همچنین مشاهده می‌شود که با کاهش غلظت محلول از ۵/۷۱ (SD1)، ۱۳/۱۸ (SD10)، ۱۵/۹۱ (SD20) و ۱۹/۰۸ (SD50) به ۱ میلی‌گرم در لیتر زمان تعادل برای هر چهار جاذب SD1، SD10، SD20 و SD50 کاهش یافته و به ترتیب ۸۰، ۴۵، ۵۰ و ۲۵ دقیقه به دست می‌آید که نشان می‌دهد با کاهش غلظت محلول، زمان تعادل نیز کاهش می‌یابد. با کاهش غلظت اولیه محلول، انتظار می‌رود که به دلیل کاهش شانس برخورد فلز با جاذب، زمان رسیدن به تعادل افزایش یابد، ولی با توجه به اینکه در غلظتهای کم، مقدار کل یون‌های فلزی موجود در محلول کم می‌شوند، این مقدار محدود یون، در مدت زمان کمی جذب خلل و فرج جاذب می‌شوند. از این رو با کاهش غلظت اولیه مس، زمان به تعادل رسیدن نیز کاهش می‌یابد. در این حالت در غلظتهای کم نیز عامل تعیین کننده زمان تعادل، غلظت محلول است نه مقدار جاذب، زیرا با کاهش غلظت محلول، زمان تعادل در هر چهار جاذب همگرا می‌شود. به نظر می‌رسد حداکثر زمان تعادل جذب مس توسط خاک ازه با ظرفیت جاذب متناسب باشد. به عبارت دیگر با افزایش جرم جاذب که خود با ظرفیت جاذب متناسب است، زمان تعادل نیز افزایش می‌یابد. همچنین شکل ۳ تغییرات راندمان جذب مس در غلظتهای مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش غلظت محلول از ۱۶۰ به ۱ میلی‌گرم در لیتر، راندمان جذب در جاذبهای SD1، SD10، SD20، و SD50 افزایش می‌یابد. به طوری که حداکثر راندمان جذب SD50 ۹۹/۶ درصد، SD20 ۹۶/۴ درصد، SD10 ۹۶/۰۸ درصد و SD1 ۸۴/۵ درصد در غلظت ۱ میلی‌گرم در لیتر به دست آمد. این نتایج با نتایج مطالعات قبلی هماهنگی دارد [۲۵-۲۰]. همچنین در غلظت ۱۶۰ میلی‌گرم در لیتر، راندمان

که در این روابط

$M_{cap}$  ظرفیت جرمی جاذب (میلی‌گرم یا میکروگرم)،  $M_{con}$  غلظت جرمی محلول (میلی‌گرم یا میکروگرم)،  $M_{ce}$  غلظت جرمی در حالت تعادل (میلی‌گرم یا میکروگرم)،  $E$  راندمان جذب است.

به عبارت دیگر وقتی کل جرم عنصر محلول در یک حجم معین مثلاً ارلن به سمت صفر میل می‌کند، راندمان جذب به سمت ۱۰۰ درصد میل می‌کند. همچنین وقتی که کل جرم عنصر محلول در یک حجم معین مانند ارلن به سمت بی‌نهایت میل می‌کند، راندمان جذب به سمت صفر میل می‌کند.

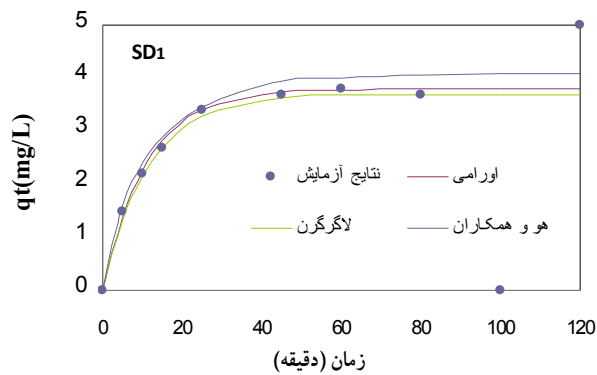
### ۳-۲-۲- مدل‌های جذب سینتیک

یکی از مطالعات مهم فرایند جذب، مطالعه سینتیک جذب است زیرا از این طریق مکانیسم جذب با زمان نشان داده می‌شود [۱۶، ۲۵]. شکل ۴ برآزش مدل‌های اورامی، لاگرگرن و هو و همکاران را بر داده‌های حاصل از آزمایش‌های جذب سینتیک در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر مس نشان می‌دهد. همچنین جدول ۳ نتایج حاصل از برآزش مدل‌های سینتیک را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، هر سه مدل فرایند جذب را به خوبی توصیف می‌کنند، ولی مدل اورامی دارای کمترین فاکتور خطا (۰/۳۷) و بیشترین ضریب همبستگی (۹۸/۸ درصد) بوده و بنابراین به‌عنوان مدل برتر در توصیف سینتیک جذب مس توسط خاک اره انتخاب می‌شود. این نتایج با نتایج رویبر و همکاران<sup>۱</sup>

هماهنگی دارد [۱۶].

همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، مقدار تعادلی جذب ( $q_e$ ) بین ۳/۲ در مدل اورامی تا ۴/۳ در مدل هو و همکاران تغییر می‌کند. همچنین مقدار سرعت اولیه ( $h_0$ ) جذب در معادله هو و همکاران نشان می‌دهد که سرعت اولیه جذب با مطالعات جیانگ و همکاران<sup>۲</sup> هماهنگی دارد [۲].

مقایسه ظرفیت جذب فلز مس در مطالعات دیگران در جدول ۴، نشان می‌دهد که ظرفیت جذب خاک اره از جاذبهای باگاس، رس و زغال بیشتر و از جاذبهای پوست پرتقال و پوست موز کمتر است [۶-۹]. مقدار  $n_{AV}$  در این مطالعه بود که از ۰/۴۴ از مقدار  $n_{AV}$  در مطالعات رویبر و همکاران بیشتر بود و افزایش مقدار  $q_t$  در مدل اورامی برای جذب فلز مس را نشان داد [۱۶].



شکل ۴- مدل‌های سینتیک جذب اورامی، لاگرگرن و هو و همکاران

<sup>۱</sup> Royer et al.

<sup>۲</sup> Jiang et al.

جدول ۳- پارامترهای سینتیک حذف مس توسط جاذب SD1

اورامی		لاگرگرن			هو و همکاران			پارامترهای سینتیکی
$R^2$ (Ferror)	$n_{AV}$	$R^2$ (Ferror)	$k_f$	$q_e$	$R^2$ (Ferror)	$h_0$	$K_s$	
۰/۹۸۸	۰/۴۴	۰/۹۶۸	/۰۸۹	۳/۴	۰/۹۵۲	۱۷/۳	۰/۰۱۶	۴/۳
		(/۲۴۱)			(۰/۷۳)			

جدول ۴- نتایج مطالعات جذب جذب مس توسط تعدادی از جاذب‌های ارزان قیمت

جاذب	ظرفیت جاذب (mg/g)	pH	غلظت اولیه (mg/L)	مقدار جاذب (g/L)	رفرنس
زغال چوب	۱/۶۲	۴	۱۰۰	۱۰	[۶]
پوست پرتقال	۳/۶۵	۶-۸	۲۵	۱	[۷]
پوست موز	۴/۷	۶-۸	۲۵	۱	[۷]
رس	۳/۰۴	۵/۵	۱۱۲	۱۲۷۴	[۸]
باگاس	۲	۶	۱۴	۱۰	[۹]
خاک اره	۳/۲	۶	۱	۱	مطالعه حاضر

#### ۴- نتیجه گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که جاذب خاک اره، نسبتاً از ظرفیت جذب خوبی برای حذف مس برخوردار است. با افزایش جرم جاذب، زمان تعادل افزایش می یابد. بنابراین چنانچه نتایج این تحقیق در مطالعات دیگر نیز تأیید گردد، در آن صورت باید در نحوه آزمایش های ایزوترم جذب تجدید نظر به عمل آید. بررسی ریاضی رابطه بین راندمان و غلظت اولیه جذب نشان داد که اگر چه با افزایش جرم جاذب راندمان جذب افزایش می یابد، ولی در صورتی که غلظت اولیه از یک مقدار معین (مقدار ظرفیت جرمی جاذب) به سمت صفر میل کند، راندمان کلیه جاذبها افزایش

به سمت ۱۰۰ درصد میل می کنند. این موضوع در غلظتهایی که به سمت بی نهایت میل می کنند نیز صادق است. همچنین نتایج واسنجی نشان داد که مدل اورامی با ضریب رگرسیون ۰/۹۸۸ و فاکتور خطای ۰/۰۳۷ داده های جذب را بهتر از مدل های لاگرگرن و هو و همکاران توصیف می کند.

#### ۵- قدردانی

به این وسیله از ریاست محترم مرکز تحقیقات منابع آب دانشگاه شهرکرد که این تحقیق را مورد حمایت قرار دادند، تشکر و قدردانی می گردد.

#### ۶- مراجع

- 1- Khajeh, M., Shamohammadi Heidari, Z., and Sanchooli, E. (2011). "Synthesis, characterization and removal of lead from water samples using lead-ion imprinted polymer." *J. Chemical Engineering*, 166, 1158-1163.
- 2- Jiang, Y., Pang, H., and Liao, B. (2009). "Removal of copper(II) ions from aqueous solution by modified bagasse." *J. of Hazardous Materials*, 164, 1-9.
- 3- Larous, S., Meniai, A. H., and Bencheikh Lehocine, M. (2005). "Experimental study of the removal of copper from aqueous solutions by adsorption using sawdust." *Desalination*, 185, 483-490.
- 4- Jamali Armandi, H., and Shamohammadi Heidari, Z. (2010). "Effect of concentration on efficiency and adsorption equilibrium time of lead from aqueous solution by rice husk adsorbent." *J. Env. Sci. Tech.*, 12 (1), 164-173.
- 5- Basso, M. C., Cerrella, E. G., and Cukierman, A. L. (2002). "Lignocellulosic materials as potential biosorbent of trace toxic metal from wastewater." *Ind. Eng. Chem. Res.*, 41, 3580-3585.
- 6- Karabulut, S., Karabakan, A., Denizli, A., and Yu'ru'm, Y. (2000). "Batch removal of Copper(II) and Zinc(II) from aqueous solutions with low rank." *Turkish Coals. Sep Purif Technol.*, 18, 177-184.
- 7- Annadurai, A., Juang, R. S., and Lee, D.J. (2002). "Adsorption of heavy metals from water using banana and orange peels." *Water Sci. Technol.*, 47(1), 185-190.
- 8- Abollino, O., Aceto, M., Malandrino, M., Sarzanini, C., and Mentasti, E. (2003). "Adsorption of heavy metals on Na-montmorillonite: Effect of pH and organic substances." *Water Res.*, 37, 1619-1627.
- 9- Gupta, V. K., Jain, C.K., Ali, I., Sharma, M., and Saini, S.K. (2003). "Removal of cadmium and nickel from wastewater using bagasse fly ash a sugar industry waste." *Water Res.*, 37, 4038-4044.
- 10- Shamohammadi Heidari, Z., Moazed, H., and Jafarzadeh, N. (2008). "Removal of cadmium from aqueous solution using rice husk." *J. of Water and Wastewater*, 67, 27-33. (In Persian)
- 11- Yu, L. J., Shukla, S. S., Dorris, K. L., Shukla, A., and Margrave J. L. (2003). "Adsorption of chromium from aqueous solutions by maple sawdust." *J. of Hazard. Mater.*, 100 (1-3), 53-63.
- 12- Selvakumari, G., Murugesan, M., Pattabi, S., and Sathishkumar, M. (2002). "Treatment of electroplating industry effluent using maize cob carbon." *Bull. Environ., Contam. Toxicol.*, 69, 195-202.
- 13- Meunier, N., Laroulandie, J., Blais, J.F., and Tyagi, R.D. (2003). "Cocoa shells for heavy metal removal from acidic solutions." *Biores. Technol.*, 90(3), 255-263.
- 14- Rao, M., Parawate, A.V., and Bhole, A.G. (2002). "Removal of Cr<sup>6+</sup> and Ni<sup>2+</sup> from aqueous solution using bagasse and fly ash." *Waste Manage.*, 22, 821-830.

- 15- Lopes, E.C.N., Dos Anjos, F.S.C., Vieira, E.F.S., and Cestari, A.R. (2003). "An alternative Avrami equation to evaluate kinetic parameters of the interaction of Hg(II) with thin chitosan membranes." *J. Colloid Interface Sci.*, 263, 542-547.
- 16- Royer, B., Cardoso, N. F., Lima, E.C., Vaghetti, J.C.P., Simon, N. M., Calvete, T., and Veses, R.C. (2009). "Applications of Brazilian pine-fruit shell in natural and carbonized forms as adsorbents to removal of methylene blue from aqueous solutions Kinetic and equilibrium study." *J. Hazard. Mater.*, 164, 1213-1222.
- 17- Shamohammdi Heidari, Z. (2010). "Lead removal from aqueous solution using low- cost adsorption." *J. of Water and Wastewater*, 75, 45-50. (In Persian)
- 18- Habib, A., Islam, N., Islam, A., and Shafiqul Alam, A. M. (2007). "Removal of Copper from aqueous solution using orange peel, sawdust and Bagasse. Pak." *J. Anal. Environ. Chem.*, 8 (1-2), 21-25.
- 19- Pehlivan, E., Yanik, B.H., Ahmetli, G., and Pehlivan, M. (2008). "Equilibrium isotherm studies for the uptake of cadmium and lead ions onto sugar beet pulp." *Bioresour. Technol.*, 99, 3520-3527.
- 20- Mall, I. D., Chandra Srivastava, V., Agarwal, N.K., and Mishra, I.M. (2005). "Removal of congo red from aqueous solution by bagasse fly ash and activated carbon: Kinetic study and equilibrium isotherm analyses." *Chemosphere*, 61, 492-501.
- 21- Saima, Q., Najma Memon, S.W., Shah, M.Y., and Khuhawar, M.I. (2007b). "Sawdust green and economical sorbent for the removal of cadmium (II) ions." *J. of Hazardous Materials*, 139, 116-121.
- 22- Teker, M., and Imamoglu, M. (1999). "Adsorption of copper and cadmium ions by activated carbon from rice hulls." *Turk. J. of Chem.*, 23, 185-191.
- 23- Kamal Amin, N. (2008). "Removal of reactive dye from aqueous solutions by adsorption onto activated carbons prepared from sugarcane bagasse pith." *Desalination*, 223, 152-161.
- 24- Shamohammdi Heidari, Z., and Jamali Armandi, H. (2010). "Study of the convergence of equilibrium time and lead (II) adsorption efficiency by rice husk and activated carbon at low concentrations." *J. of Environmental Studies*, 36 (2), 19-26
- 25- Kuleyin, A. (2007). "Removal of phenol and 4- chlorophenol by surfactant- modified natural zeolite." *J. of Hazardous Material*, 144, 307- 315.