

پیامد هوموسی شدن کاه گندم و توانایی ریزجانداران آن بر جذب زیستی سرب از یک آب آلوده

علی اکبر صفری سنجانی^۱، رقیه باقری^۲

۱- استاد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان (نویسنده مسئول) aa-safari@basu.ac.ir
۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(دریافت ۹۳/۵/۴ پذیرش ۹۳/۱۲/۲۵)

چکیده

یکی از روش‌هایی که برای جداسازی فلزهای سنگین از زیستگاه‌های آبی استفاده می‌شود، جذب زیستی است. هدف این پژوهش، ارزیابی پیامد هوموسی شدن و توانایی ریزجانداران کاه گندم در جذب و نگهداری سرب از محیط‌های آبی بود. برای دستیابی به این هدف، کاه گندم در دمای آزمایشگاه و رطوبت ۷۰ درصد برای هوموسی شدن نگهداری شد و در هر یک از روزهای ۱، ۲۰ و ۶۰، نمونه‌هایی از آن برداشت شد و برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن‌ها بررسی شد. سپس دو زیر نمونه سترون و ناسترون از آن آماده شد و همدماهای جذب سرب بر هر یک از مانده‌های نمونه‌برداری شده سترون و ناسترون با کاربرد غلظت‌های گوناگونی از سرب در محلول ۰/۰۰۱ نرمال نیترات سدیم در pH برابر ۶ بررسی شد. از میان همدماهای جذب لانگمیر، فروندلیچ و تمکین تنها مدل تمکین بر داده‌های جذب سرب خوب برازش نشد. بیشترین گنجایش جذب سرب ۶۳/۳۶ و ۱۰۸/۴۱ میلی گرم بر گرم به ترتیب در نمونه کاه گندم تازه- سترون شده و کاه گندم هوموسی شده ناسترون برآورد شد. درصد جذب سرب در بالاترین غلظت به کار رفته آن در نمونه‌های ناسترون کاه گندم در روزهای انکوباسیون ۱، ۲۰ و ۶۰ به ترتیب برابر ۳۲/۲۱، ۴۳ و ۶۰/۹۶ درصد بود. با پیشرفت هوموسی شدن کاه گندم ضریب‌های K_d ، n و K_f نیز افزایش یافت. همه فراسنجه‌های جذب سرب در کاه گندم ناسترون به اندازه چشمگیری بیشتر از نمونه‌های سترون شده بود و این نشان می‌دهد که ریزجانداران کاه توانایی بالایی در جذب سرب از محیط آبی دارند.

واژه‌های کلیدی: کاه گندم، هوموسی شدن، سترون‌سازی، جذب زیستی سرب، همدم

۱- مقدمه

پیش از رها کردن پساب دارای سرب به سیستم شبکه جمع‌آوری فاضلاب شهری یا رها کردن آن در زیستگاه‌ها، این فلز از آنها جداسازی شود و یا غلظت آن کاهش داده شود [۶]. در پالایش پساب از روش‌های گوناگون فیزیکی، شیمیایی و زیستی بهره‌گیری می‌شود [۷]. روش‌های فیزیکوشیمیایی به کار رفته در پالایش و بهسازی آب و خاک، از دیدگاه ساخت، نگهداری، خرید مواد شیمیایی و یا دستگاه‌های مورد نیاز، پیچیده، گران و پرهزینه هستند. دشواری دیگر این روش‌ها، کارایی اندک آنها در غلظت‌های کمتر از ۱۰۰ ppm فلز است که روش‌های یاد شده کارایی چندانی برای کاهش غلظت فلز به پایه ۱ ppm ندارند [۴]. از این رو در سال‌های گذشته نگاه‌ها بیشتر بر روش‌های جذب زیستی^۱ یون‌ها در محلول‌های آبی بوده است [۸]. بهره‌گیری از مواد ارزان به‌ویژه مانده‌های گیاهی و کشاورزی می‌توانند پتانسیل بالایی برای جداسازی فلزهای سنگین و پالایش پساب داشته باشند [۹].

از دشواری‌های نوین جهانی، آلودگی آبها و زیستگاه‌های آبی است که با کارکردهایی مانند بهره‌برداری از معادن، صنعتی شدن و شهرنشینی، پیوسته روبه افزایش است [۱]. در میان آلاینده‌های محیط زیست، فلزهای سنگین جایگاه ویژه‌ای دارند و به ریخت‌های فیزیکی و شیمیایی و در اندازه‌های گوناگون، از راه رها کردن پساب مانند پساب‌های کارخانه‌ای، به زیستگاه ریزجانداران می‌رسند [۲ و ۳]. سرب یکی از فلزهای سنگین و از آلاینده‌های محیط است که بیشتر از راه پساب پدید آمده از کارکرد کارخانه‌های گوناگون، به ویژه باتری‌سازی، آبکاری، ذوب و پالایش فلزها، رنگ و رزین، لاستیک‌سازی، شیشه، کریستال و سوخت بنزین به زیستگاه‌ها می‌رسد و با انباشته شدن در بدن انسان و دیگر جانداران می‌تواند بیماری‌های گوناگونی را پدید آورد [۴].

یکی از راه‌های آلودگی زیستگاه‌ها به این عنصر، رهاسازی پساب پالایش شده یا پالایش نشده برخی از کارخانه‌هایی است که در فرایند خود با این عنصر کار می‌کنند [۵]. بنابراین نیاز است

^۱ Biosorption

آنها pH بهینه برای جذب فلز کادمیم، برابر $3/5 \pm 0/6$ و بیشترین میزان جذب فلز در هر دو جلبک در pH اسیدی رخ داد و زمان بهینه جذب فلز با سیستوسیرا و فوکوس به ترتیب ۳۶۰ و ۳۰۰ دقیقه به دست آمد. بیشترین گنجایش جذب کادمیم با دو جلبک سیستوسیرا و فوکوس در مدل لانگمیر $44/58$ و $54/95$ میلی گرم بر گرم وزن خشک جلبک بود و جلبک فوکوس کارایی بالاتری در برابر جلبک سیستوسیرا در جذب فلز کادمیم نشان داد [۲۳].

بنابراین پالایش زیستی می تواند جانشین و یا دست کم کمک کننده شایسته ای برای دیگر روش های بهسازی زیستگاه های آلوده باشد و بهره گیری از روش های زیستی کارآمد و ارزان برای پالایش پساب های دارای فلزهای سنگین می تواند بیشتر از گذشته بررسی شود [۱۹-۲۸].

در این پژوهش، تلاش شد که پیامد درجه هموسی شدن کاه گندم و توان ریزجانداران آن که تاکنون بررسی نشده است، بر پاک سازی پساب های دارای سرب آزمایش شود. این کار با هدف به دست آوردن شناخت بیشتر در باره چگونگی روش های پالایش زیستی پساب های آلوده به فلزهای سنگین، در راستای کاربردی نمودن این روش ها انجام شد.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- هموسی کردن کاه گندم

کاه گندم از کشتزارهای استان همدان گردآوری شد و برای هموسی شدن در دمای آزمایشگاه برابر ۲۰ تا ۲۵ درجه سلسیوس برای ۱، ۲۰ و ۶۰ روز در رطوبت ۷۰ درصد نگهداری شد و در هر یک از روزهای یاد شده، نمونه هایی برداشت و ویژگی های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن ها بر پایه منابع و روش های یاد شده بررسی شد. از بین این ویژگی ها در عصاره ۱:۱۰ مانده به آب pH، EC، TDS بر پایه روش استاندارد^۳، همه کربن آلی محلول^۴، TOC، همه فسفر، فراوانی قارچ ها، باکتری ها و اکتینومیست ها^۵، تنفس برانگیخته و پایه کربن بیومس اندازه گیری شد [۲۹-۳۶].

۲-۲- سترون سازی مانده های کاه گندم

هر یک از مانده های ۱، ۲۰ و ۶۰ روز هموسی شده به دو زیرنمونه بخش شد. یکی از زیرنمونه ها برای ۱۵ دقیقه در دمای ۱۲۱ درجه

پژوهش های فراوانی روی زدودن و گرفتن سرب از محلول های آبی با برخی فراورده های کشاورزی و مانده های کم ارزش مانند برگ ذرت، خاک اره، خاکستر پوسته شلتوک، پوسته شلتوک و بهسازی شده پوسته شلتوک با اسید تارتاریک، پوشال غله، سبوس گندم و کربن فعال شده از مانده های کشاورزی انجام یافته است [۱۸-۱۰].

دیویند و همکاران در سال ۱۳۹۱ در بررسی کارایی نانودانه های خاکستر برگ سدر در زدودن سرب از آب گزارش کردند که با افزایش pH از ۳ تا ۵ و افزایش زمان تماس جذب کننده با آب آلوده به سرب و همچنین مقدار جذب کننده، سرب جذب شده بر یک گرم از جاذب افزایش می یابد [۱۹].

زوار موسوی و ارجمندی در سال ۱۳۸۹ با استفاده از روده خشک شده گوسفند اقدام به زدودن فلزهای سرب، مس و آهن از آبهای آلوده کرده و دریافتند که بهترین زمان جذب دو ساعت و بهترین pH برای جذب ۴ تا ۸ است و داده های جذب با رابطه لانگمیر بهتر همخوانی دارد [۲۰].

شکوهی و همکاران در سال ۱۳۹۲ با بررسی توان دانه های مرجان آهکی به میزان ۳۰ مش در زدودن فلزهای سرب و کادمیم از آبهای آلوده، گزارش کردند که با افزایش زمان تماس و pH تا ۱۰ و مقدار جذب کننده، جذب این فلزها افزایش و در شرایط بهینه، بیشینه گنجایش جذب این دانه ها برای سرب $3/370$ و برای کادمیم $77/14$ میلی گرم بر گرم است. آنها رابطه لانگمیر را برای داده های جذب کادمیم و رابطه فروندلیچ را برای داده های جذب سرب بهتر گزارش کردند [۲۱].

جعفری و احمدی اسبچین در سال ۱۳۹۳ نیز توان یک گونه جلبک قهوه ای را در زدودن فلزهای سرب و کادمیم از آبهای آلوده بررسی کردند. آنها گزارش کردند که با افزایش pH جذب این فلزها افزایش می یابد و بهترین pH برای جذب این فلزها ۶ تا ۷ گزارش شد. آنها نشان دادند که با افزایش زمان تماس از ۱۰ به ۴۰ دقیقه، جذب بیشتر می شود و در دمای ۴۰ تا ۵۰ درجه سلسیوس بیشترین جذب به دست می آید. آنها رابطه فروندلیچ را برای داده های جذب کادمیم و سرب بهتر از رابطه لانگمیر گزارش کردند و دریافتند که این توده زیستی به گونه کارآمدی توانایی زدودن و گرفتن فلزهای یاد شده از آبهای آلوده به آنها را دارد [۲۲].

جعفری در سال ۱۳۹۳ توانایی بیومس خشک دو جلبک قهوه ای سیستوسیرا اندیکا^۱ و فوکوس سراتوس^۲ ($5/0$ تا $1/0$ میلی متر) برای جذب فلز کادمیم را بررسی کردند. بر اساس پژوهش

¹ Cystoseira Indica

² Focus Serratus

³ American Public Health Association (APHA)

⁴ Dissolved Organic Carbon (DOC)

⁵ Achromyces

در رابطه‌های ارائه شده در جدول ۱، K_1 عدد ثابت لانگمیر و نشان دهنده توان پیوند میان نگهدارنده و جذب شونده بر حسب میلی‌گرم در میلی‌لیتر، Q_m بیشترین توان جذب بر حسب میلی‌گرم در گرم، K_f و n ثابت‌های تجربی ایزوترم فروندلیچ، A و b ثابت‌های همدمای تمکین و B ثابتی است که به گرمای جذب سطحی وابسته است.

همچنین درصد جذب سرب در هر یک از جذب کننده‌های سترون و ناسترون با رابطه زیر برآورد شد

$$y = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (2)$$

این پژوهش در قالب فاکتوریل با فاکتورهای هموسی شدن در سه سطح ۱، ۲۰ و ۶۰ روز و سترون‌سازی در دو سطح سترون شده و سترون نشده با طرح کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد و به کمک نرم‌افزارهای SAS و اکسل داده‌های به دست آمده از درصد جذب سرب بر هر مانده تازه و هموسی شده، و همچنین فراسنجه های همدماهای جذب در مدل‌های لانگمیر، فروندلیچ و تمکین پردازش و آزمون شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- دگرگونی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی کاه گندم پس از انکوباسیون

جدول ۲ برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی کاه گندم به کار رفته در این پژوهش را نشان می‌دهد. در آغاز انکوباسیون pH کاهش یافت و سپس در پایان دوره دوباره افزایش یافت. به طور کلی افزایش رسانایی الکتریکی و همه ماده جامد محلول در زمان آزمایش یکنواخت بود. مقدار کربن آلی محلول کم کاهش یافت که این کاهش در آغاز انکوباسیون تندتر بود و نشان داد که مواد تند تجزیه شونده کاهش یافته و کود به بلوغ رسیده است [۳۸]. TOC کاه گندم با گذشت زمان و کانی شدن آن کمتر شد [۳۹].

سلسیوس در فشار ۱/۵ اتمسفر درون اتوکلاو سترون شده و دیگری به ریخت ناسترون آزمایش شد.

۳-۲- بررسی همدماهای جذب سرب بر مانده‌های کاه گندم سترون و ناسترون

برای بررسی همدماهای جذب سرب بر مانده گیاهی در آغاز غلظت‌های ۰، ۲، ۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۲۰، ۲۰۰، ۴۰۰، ۶۰۰ و ۸۰۰ میلی‌گرم در لیتر سرب از نمک نترات سرب در محلول ۰/۰۰۱ نرمال نترات سدیم در pH برابر ۶ ساخته و سپس هر یک از آن‌ها در سه تکرار بر یک گرم از سوسپانسیون مانده به حجم ۲۰۰ میلی‌لیتر به کار رفت. با توجه به این که در pH بیش از ۶ فلز سرب به ریخت هیدروکسید می‌تواند ته‌نشین شود، غلظت یون‌های آن در محلول کاهش یافته و سرب جذب شده به نادرستی بیشتر برآورد می‌شود، در pH کمتر نیز رویارویی H^+ و یون فلز برای جذب شدن در جایگاه‌های جذب، جذب سرب را کاهش می‌دهد. پس از شیک کردن در دمای آزمایشگاه و رسیدن به تعادل، اندازه سرب جذب شده بر مانده‌ها با پالایش سوسپانسیون مانده‌ها بر کاغذ صافی به کمک دستگاه جذب اتمی مدل واریان ۲۲۰، از رابطه زیر برآورد شد [۳۷]

$$q_t = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (1)$$

که در آن

q_t اندازه سرب جذب شده بر یک گرم از وزن نگهدارنده بر حسب میلی‌گرم در گرم، C_0 غلظت اولیه سرب بر حسب میلی‌گرم در لیتر، C_e غلظت تعادلی سرب بر حسب میلی‌گرم در لیتر، V حجم محلول بر حسب لیتر و M وزن نگهدارنده بر حسب گرم است. سپس هریک از مدل‌های همدماهای جذب لانگمیر، فروندلیچ و تمکین بر داده‌های به دست آمده برآزش شده و پارامترهای این مدل‌ها آزمون شد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات همدماهای مورد بررسی

منبع	فرم خطی	معادله اصلی	نوع همدما
[۲۰]	$\frac{C_e}{q_e} = \frac{1}{K_1 Q_m} + \frac{C_e}{Q_m}$	$q_e = \frac{Q_m K_1 C_e}{1 + K_1 C_e}$	لانگمیر
[۲۱]	$\text{Log} q_e = \text{log} K_f + \left(\frac{1}{n}\right) \text{log} C_e$	$q_e = K_f C_e^{1/n}$	فروندلیچ
[۲۱]	$q_e = B \ln A + B \ln C_e$	$q_e = B(\ln A C_e), B = \frac{RT}{h}$	تمکین

جدول ۲- برخی از ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و زیستی کاه گندم نمونه برداری شده در زمان‌های گوناگون

ویژگی	واحد	زمان نمونه برداری (روز)		
		۶۰	۲۰	۱
pH	-	۸/۰۲	۸/۰۱	۶/۹۴
		۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۱۲
EC	dS m ⁻¹	۶/۸۵	۵/۶۵	۴/۳۲
		۰/۰۹	۰/۰۶۳	۰/۰۵۷
همه کربن (TC)	g kg ⁻¹	۵۲۲/۹۶	۵۲۸/۴۸	۵۳۱/۵۸
		۳/۰۲	۰/۲۹	۰/۳۳
همه ازت (TN)	g kg ⁻¹	۵/۷۴	۵/۷۸	۵/۷۸
		۰/۴۲	۰/۲۹	۰/۲۹
ماده جامد محلول	g kg ⁻¹	۱۰۶/۳۳	۸۷/۰۰	۶۶/۳۳
		۲/۳۰	۰/۰۰۰۱	۰/۵۷
کربن الی محلول (DOC)	g kg ⁻¹	۹/۲۷	۱۴/۳۱	۱۹/۲۱
		۰/۴۶	۰/۳۹	۰/۲۳
لگاریتم فراوانی باکتری‌ها	(مانده g ⁻¹ CFU*)	۹/۰۹	۹/۷۱	۹/۲۹
		۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳
لگاریتم فراوانی قارچ‌ها	(مانده g ⁻¹ CFU)	۶/۵۸	۶/۷۱	۶/۵۹
		۰/۰۰۶	۰/۰۱	۰/۰۰۶
لگاریتم فراوانی اکتینومیست‌ها	(مانده g ⁻¹ CFU)	۷/۴۱	۸/۵۸	۸/۰۲
		۰/۱۰	۰/۰۱	۰/۰۲

* CFU - یگان‌های سازنده کلنی

فروندلیج در همه تیمارها بیشتر از مدل لانگمیر بود. بنابراین مدل فروندلیج برای پیش‌بینی رفتار جذب سرب از زیستگاه آبی با جذب در هر سه زمان انکوباسیون و در هر دو ریخت سترون و ناسترون گزینش و شناسانده شد. هر چند مدل لانگمیر هم این توانایی را در اندازه پذیرفتنی دارد. ایزوترم‌های لانگمیر و فروندلیج، جذب تک لایه‌ای را نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان دریافت که سرب به گونه تک لایه بر روی کاه گندم جذب شده است [۴۳].

۳-۲-۱- پیامد زمان، سترون‌سازی و برهمکنش آن‌ها بر ضرایب رابطه‌های لانگمیر و فروندلیج و درصد جذب سرب بر کاه گندم جدول ۳ تجزیه واریانس پیامد هوموسی شدن (زمان انکوباسیون)، سترون‌سازی و برهمکنش آن‌ها را بر ضرایب رابطه‌های لانگمیر و فروندلیج و پیامد آن‌ها را بر درصد جذب سرب در کاه گندم نشان می‌دهد.

الف- مدل لانگمیر

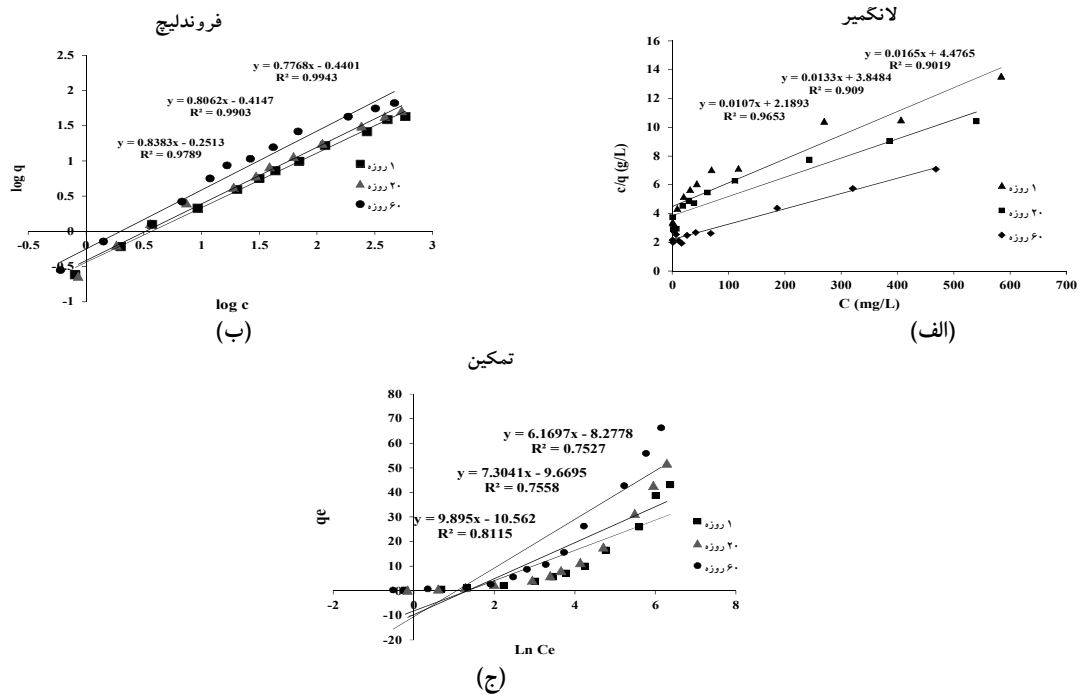
همان‌گونه که در جدول ۳ دیده می‌شود پیامد زمان نمونه برداری و سترون‌سازی و برهمکنش این دو بر ضرایب K_1 و q_{max} مدل لانگمیر از دیدگاه آماری چشمگیر بود. در این پژوهش با هوموسی کردن کاه گندم گنجایش جذب آن برای سرب به گونه چشمگیری ($p < 0.01$) افزایش یافت. بیشترین گنجایش جذب سرب بر

روند دگرگونی فراوانی باکتری‌ها، قارچ‌ها و اکتینومیست‌ها همانند هم بود، به گونه‌ای که از روز نخست آزمایش تا روز ۲۰ آن‌ها افزایش یافتند و سپس در زمان ۶۰ روز، همگی کاهش داشتند [۴۰]. تنفس پایه مانده‌ها با گذشت زمان کاهش یافت ولی اندازه تنفس برانگیخته مانند روند دگرگونی فراوانی ریزجانداران بود و از روز نخست آزمایش تا روز ۲۰ افزایش و در زمان ۶۰ روز کاهش یافت [۴۱]. همچنین بیشترین مقدار کربن بیومس نیز ۲۰ روز پس از انکوباسیون، و در بالاترین فراوانی و کارکرد ریزجانداران دیده شد.

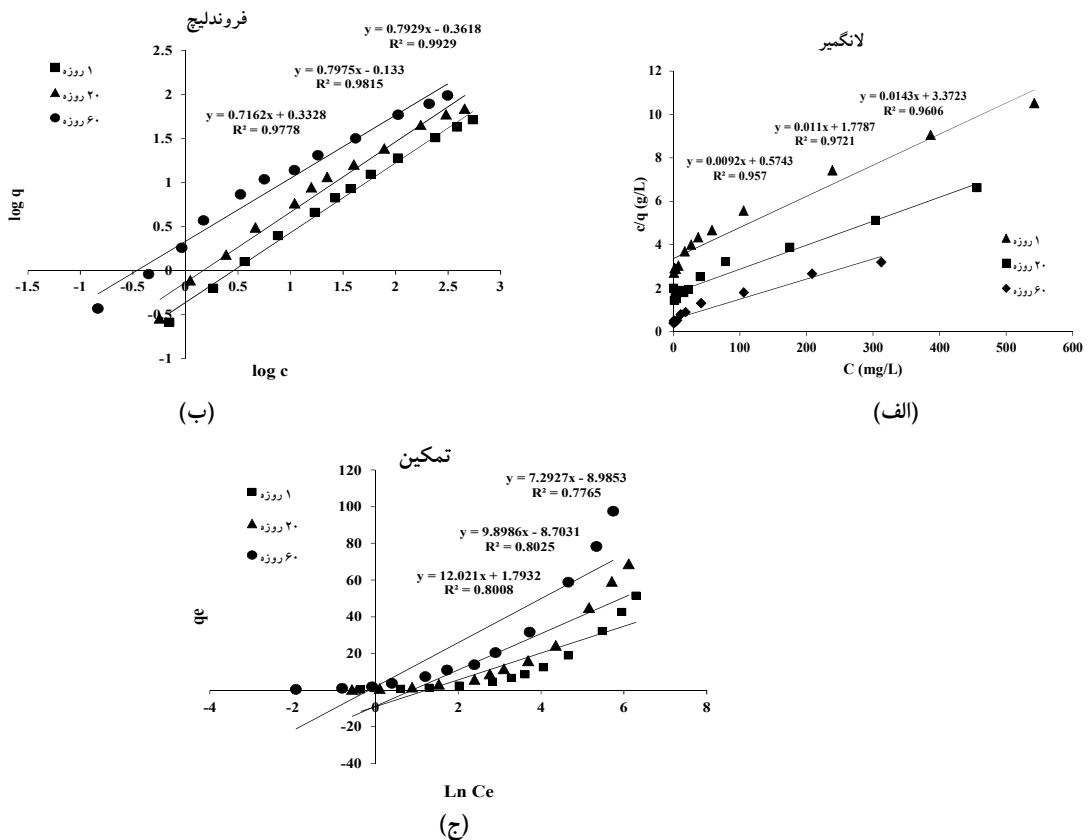
۳-۲- بررسی مدل‌های همدمای جذب رویه‌ای سرب بر مانده‌های کاه گندم سترون و ناسترون

بررسی چگونگی جذب سرب از داده‌های اندازه‌گیری شده آن و آزمون همدماهای جذب آن برای به دست آوردن رابطه‌ای که با آن چگونگی جذب مشخص شود و پیش‌بینی جذب ممکن باشد، جایگاه ویژه‌ای دارد. افزون بر این، از همدماهای جذب می‌توان برای شناخت چگونگی واکنش ماده جذب شونده با جذب کننده یا گیرنده، همچنین شناخت بهترین جذب کننده یا گیرنده گرفت [۴۲].

شکل‌های ۱ و ۲ برازش مدل‌های لانگمیر، فروندلیج و تمکین بر داده‌های جذب سرب بر مانده‌های سترون و ناسترون کاه گندم را نشان می‌دهد. ضرایب تعیین مدل‌های لانگمیر و فروندلیج در هر سه زمان انکوباسیون در هر دو ریخت پذیرفتنی و نزدیک به هم بود. اما مدل تمکین با داده‌ها سازگاری نداشت. ضرایب تعیین مدل



شکل ۱- همدماهای جذب سرب بر کاه گندم سترون نمونه برداری شده در زمان های ۱، ۲۰ و ۶۰ روز پس از انکوباسیون الف- لانگمیر، ب- فروندلیچ و ج- تمکین (**چشمگیر در پایه آماری ۱ درصد)



شکل ۲- همدماهای جذب سرب بر کاه گندم ناسترون نمونه برداری شده در زمان های ۱، ۲۰ و ۶۰ روز پس از انکوباسیون الف- لانگمیر، ب- فروندلیچ و ج- تمکین (**چشمگیر در پایه آماری ۱ درصد)

جدول ۳- تجزیه واریانس پیامد زمان، سترون سازی و برهمکنش آن‌ها بر ضرایب معادله‌های لانگمیر و فروندلیچ و درصد جذب آنها در جذب سرب بر کاه گندم سترون و ناسترون

درصد جذب	میانگین مربع‌ها				درجه آزادی	منابع دگرگونی
	فروندلیچ		لانگمیر			
	K_f	N	K_l	q_{max}		
۲۳۹/۹۵۹***	۱۰/۴۰***	۰/۰۸۹**	۰/۰۰۰۰۶۶***	۱۰۵۱/۳۸***	۱	سترون سازی
۷۴۲/۴۹***	۲۵/۲۳***	۰/۰۲۱***	۰/۰۰۰۱۰***	۱۰۳۹/۷۶***	۲	زمان
۲۵/۰۶**	۱/۱۸*	۰/۰۰۳*	۰/۰۰۰۰۳۳***	۷۸/۲۵*	۲	سترون سازی × زمان
۴/۵۲	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰۸۶	۰/۰۰۰۰۰۱۴	۱۸/۸۷	۱۲	خطا
۶/۰۱۹	۵/۷۶	۲/۲۹	۵/۵۷	۵/۱۶	-	ضریب دگرگونی

*** و ** به ترتیب نشان‌گر پیامد چشمگیر در پایه آماری ۰/۰۵ و ۰/۰۱ درصد. ns بدون پیامد چشمگیر

جدول ۴- پارامترها و ضرایب همبستگی مدل‌های لانگمیر و فروندلیچ بر جذب سرب بر کاه گندم سترون و ناسترون

نوع همدم	پارامترهای همدم	کاه گندم سترون			کاه گندم ناسترون		
		زمان	زمان	زمان	زمان	زمان	زمان
		روزه ۱	روزه ۲۰	روزه ۶۰	روزه ۱	روزه ۲۰	روزه ۶۰
لانگمیر	q_{max}	۶۸/۳۵ ^c	۷۲/۸۱ ^c	۸۸/۷۰ ^b	۷۵/۰۶ ^c	۹۱/۱۷ ^b	۱۰۸/۴۰ ^a
	K_l	۰/۰۰۳ ^d	۰/۰۰۳ ^d	۰/۰۰۶ ^b	۰/۰۰۳ ^d	۰/۰۰۶ ^c	۰/۰۱۶ ^a
فروندلیچ	N	۱/۲۴ ^c	۱/۲۳ ^c	۱/۲۹ ^b	۱/۲۵ ^{bc}	۱/۲۵ ^{bc}	۱/۳۹ ^a
	K_f	۰/۳۶ ^c	۰/۴۰ ^c	۰/۸۵ ^b	۰/۴۲ ^c	۰/۷۴ ^c	۲/۱۶ ^a

در هر ردیف میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵ درصد ناهمانندی چشمگیری ندارند.

(q_{max}) و نیروی پیوند سرب جذب شده (K_l) با پیشرفت فروزینیگی و هموسی شدن کاه گندم به گونه چشمگیری ($p < 0/01$) بزرگ‌تر شد که این افزایش نشان از بزرگی توان جذب و نیروی پیوند میان سرب و کاه گندم هموسی شده داشت. بیشترین اندازه جذب (q_{max}) مدل لانگمیر، در روزهای ۱، ۲۰ و ۶۰ روز پس از انکوباسیون کاه گندم به ترتیب برابر ۷۵/۰۶، ۹۱/۱۷، ۱۰۸/۴۰ میلی گرم بر گرم بود. گنجایش جذب کاه گندم هموسی شده و ناسترون در ۶۰ روز به گونه چشمگیری بسیار بیشتر از نمونه‌های تازه‌تر آن بود. اندازه q_{max} بین ۶۳/۳۵ و ۱۰۸/۴۰ بود که بیشترین آن وابسته به نمونه ناسترون و هموسی شده و کمترین آن در نمونه تازه برداشت شده در ۱ روز پس از انکوباسیون و سترون دیده شد. این نشان از گنجایش بالا و کارایی ریزجانداران درون کاه در جذب زیستی سرب دارد.

از برابری اندازه ثابت لانگمیر (K_l) و بیشینه گنجایش جذب (q_{max}) در زمان‌های گوناگون نمونه نتیجه‌گیری می‌شود که نیروی پیوند میان جذب شونده (سرب) و جذب کننده (کاه گندم) در نمونه‌های ناسترون در هر سه زمان بیشتر از نمونه‌های سترون است

مانده‌های سترون (q_{max}) در زمان‌های انکوباسیون ۱، ۲۰ و ۶۰ روز به ترتیب برابر ۶۸/۳۵، ۷۲/۸۱ و ۸۸/۷۰ میلی گرم در گرم بود. با هموسی کردن مانده‌ها، دانه‌ها ریزتر و رویه ویژه آن‌ها بیشتر شد و افزون بر آن گروه‌های عاملی منفی نیز در آن‌ها فراوان‌تر بود، که موجب افزایش گنجایش جذب در مانده‌های سترون شد. عذر و پرینسی در سال ۲۰۰۶ و عذر و همکاران در سال ۲۰۰۴ به ترتیب توان جذب کادمیم و مس با مانده‌های گندم را ۱۰۱/۵ و ۵۱/۵ میلی گرم در گرم گزارش نمودند [۴۴ و ۴۵]. با گذشت زمان و هموسی شدن کاه، نیروی پیوند سرب جذب شده (K_l) بر کاه گندم سترون شده نیز به گونه چشمگیری ($p < 0/01$) افزایش یافت. ثابت رابطه لانگمیر (K_l) در نمونه ۶۰ روز پس از انکوباسیون ۰/۰۰۶۸ بود که بیشتر از نمونه‌های تازه‌تر که برابر ۰/۰۰۳۵ در یک روز پس از انکوباسیون و ۰/۰۰۳۹ در روز بیستم نمونه برداری بود. این نشان می‌دهد نیروی پیوند میان جذب شونده (سرب) و جذب کننده (کاه گندم) در نمونه هموسی شده بیشتر است و با پیشرفت فروزینیگی این ضریب بزرگ‌تر و نیروی پیوند افزایش می‌یابد (جدول ۴). در نمونه‌های ناسترون نیز بیشینه گنجایش جذب سرب

می‌کند. پارامتر n بیشتر در نمونه ۶۰ روزه که برابر $1/29$ بود نشان از کشش بیشتر نمونه هموسی شده به جذب تک‌لایه عنصر سرب داشت.

در نمونه‌های کاه گندم ناسترون نیز اندازه k_f جذب سرب با گذشت زمان انکوباسیون به گونه چشمگیری ($p < 0.01$) افزایش یافت که نشان می‌دهد کاه هموسی شده توان بیشتری برای جذب و نگهداری سرب از محلول آبی دارد. با توجه به ضرایب n به دست آمده از برازش مدل فروندلیچ بر داده‌های جذب، مشخص می‌شود که جذب یون‌های سرب روی جاذب کاه گندم از شایستگی خوبی برخوردار است. پارامتر n معادله فروندلیچ در نمونه ۶۰ روزه بیشترین میزان برابر $1/39$ و در نمونه ۱ روزه کمترین میزان برابر $1/253$ را داشت که این نشان دهنده تمایل بیشتر نمونه ۶۰ روزه به جذب عنصر سرب است. اندازه انرژی جذب (K_f) از 0.42 در کاه گندم یک روز هموسی شده به 0.74 در روز بیستم انکوباسیون و در پایان به $2/16$ در نمونه ۶۰ روزه هموسی شده رسید. پس نتیجه‌گیری می‌شود که کاه گندم هموسی شده سرب را بیشتر در بخش جامد جذب کرده و کمتر آن را به شکل محلول رها می‌کند.

در این پژوهش ناهمانندی آشکاری میان ضرایب K_f و n معادله فروندلیچ برای نمونه سترون شده و سترون نشده مشاهده شد. برای نمونه K_f و n در نمونه ۶۰ روزه کاه گندم سترون به ترتیب 0.858 و $1/299$ بود که به گونه چشمگیری کمتر از نمونه‌های ناسترون ($n=1/39$ و $K_f=2/16$) بود (جدول ۴). این ناهمانندی‌ها نشان‌دهنده شایستگی بالاتر جذب و همچنین بالا بودن توان جذب و نگهداری سرب از محلول آبی با ریزجانداران در نمونه ناسترون است.

ج- درصد جذب سرب بر کاه گندم سترون و ناسترون

درصد جذب سرب در بالاترین غلظت به کاررفته که برابر 800 میلی‌گرم در لیتر بر کاه گندم در هر دو ریخت سترون و ناسترون بود، در جدول ۵ نشان داده شده است. درصد جذب بین $26/958$

و افزون بر آن، نمونه‌های ناسترون توانایی و گنجایش جذب بالایی برای جذب سرب داشتند.

ضریب q_{max} نشان دهنده اندازه یون فلزی مورد نیاز برای پیدایش تک‌لایه پیرامون جذب کننده است. مطابق جدول ۴ اندازه بیشتری از فلز برای پیدایش تک‌لایه بر نمونه ناسترون کاه گندم ۶۰ روزه در برابر نمونه‌های دیگر نیاز است. پس گنجایش این مانده در جذب سرب بسیار بالاتر از مانده‌های تازه‌تر و سترون است. از سوی دیگر بالا بودن اندازه K_f در نمونه هموسی شده و ناسترون نشان می‌دهد که جذب سرب با توان و انرژی بیشتری بر روی این مانده در برابر نمونه سترون آن انجام می‌شود.

ب- مدل فروندلیچ

جدول ۳ نشان می‌دهد که پیامد هموسی شدن (زمان نمونه برداری) و سترون‌سازی و برهمکنش این دو بر ثابت فروندلیچ چشمگیر است. ثابت فروندلیچ (k_f) در روزهای ۱ و ۲۰ پس از انکوباسیون نمونه‌های سترون به ترتیب برابر 0.36 و 0.40 بود و در کاه گندم هموسی شده که در ۶۰ روز پس از انکوباسیون نمونه برداری شد، به 0.858 رسید. افزایش K_f (ضریب پخشندگی سرب در دو فاز محلول و جامد) با گذشت زمان انکوباسیون نشان داد که کاه گندم هموسی شده سرب کمتری را در فاز محلول رها می‌کند. بنابراین بخش جامد سرب بر مانده‌های هموسی شده بیشتر می‌شود.

ضریب فروندلیچ (n) باید در بازه ۱ تا ۱۰ باشد تا جذب، مطلوب و شایسته شناخته شود [۳۷]. با توجه به ضرایب n به دست آمده از برازش مدل فروندلیچ بر داده‌های جذب مشخص می‌شود که جذب یون‌های سرب روی جذب کننده کاه گندم در همه تیمارها از شایستگی خوبی برخوردار است.

افزون بر آن n بزرگ‌تر از یک نشان می‌دهد که ریخت منحنی جذب به توابع هیپربولیک (معادله لانگمیر) نزدیک‌تر است، که در آن با افزایش غلظت سرب، جذب آن تا مرز ویژه‌ای افزایش می‌یابد و پس از آن ثابت می‌ماند [۴۶]. بنابراین جذب رویین سرب بر کاه گندم در این بررسی از معادله لانگمیر به خوبی پیروی

جدول ۵- میانگین درصد جذب سرب بر کاه گندم سترون و ناسترون در زمان‌های گوناگون انکوباسیون

کاه گندم	زمان (روز)	غلظت نخستین سرب (میلی‌گرم در لیتر)	غلظت نهایی سرب (میلی‌گرم در لیتر)	درصد جذب
سترون	۱	۸۰۰	۵۸۴/۳۳	۲۶/۹۵ ^d
	۲۰	۸۰۰	۵۴۰/۳۳	۳۲/۴۵ ^c
	۶۰	۸۰۰	۴۶۸/۶۶	۴۱/۴۱ ^d
ناسترون	۱	۸۰۰	۵۴۲/۳۳	۳۲/۲۰ ^c
	۲۰	۸۰۰	۴۵۶	۴۳ ^d
	۶۰	۸۰۰	۳۱۲/۳۳	۶۰/۹۵ ^d

میانگین‌های دارای دست کم یک حرف یکسان در پایه آماری ۵ درصد ناهمانندی چشمگیری ندارند.

سودمند هستند ولی در برابر جذب کننده‌های مرده توان بردباری و پایداری کمتری دارند و این بستگی به گونه ریزجاندار و غلظت بازدارنده و یا کشنده فلز دارد [۲۸].

در پژوهشی دیگر هو و همکاران در سال ۱۹۹۸ گزارش کردند که کمتر بودن جذب سرب در نمونه‌های اتوکلاو شده و سترون، می‌تواند به دو دلیل باشد: ۱- در نمونه‌های سترون شده جذب سرب تنها به‌گونه رویین است و جذب درونی در آن‌ها رخ نمی‌دهد؛ ۲- هنگام اتوکلاو کردن، برخی از جایگاه‌های پیوند سرب پس از شوک وابسته به دمای بالا، دناتور و ویران می‌شوند [۴۸].

این پژوهش نشان داد که اندازه جذب در نمونه کارا از دیدگاه متابولیسمی یا نمونه‌های زنده و ناسترون، از نمونه‌های ناکارا یا نمونه‌های سترون و مرده بیشتر است. این نشان از آن دارد که نمونه کارای متابولیسمی، افزون بر اینکه از مکانیسم جذب زیستی در نمونه‌های ناکارا برخوردار است، از روش زیست-انباشتگی نیز برای گرفتن و انباشتن فلز در درون خود بهره‌گیری می‌کند. بیومس کارا، هر دو شیوه جذب را انجام می‌دهد و این دارای دو ویژگی عمده است: ۱) بیومس زنده دارای پتانسیل جذب فلز به درون خود است؛ ۲) جذب درون‌یاخته‌ای مایه بهینه کردن گنجایش جذب و پایداری فلز جذب شده در یاخته می‌شود [۲۴ و ۴۹].

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش پیامد هموسی شدن و همچنین توانایی ریزجانداران کاه گندم بر جذب سرب از یک آب آلوده بررسی شد. در هر سه زمان انکوباسیون کاه گندم داده‌های جذب با همدماهای فروندلیچ و لانگمیر سازگاری بیشتری داشتند که این نشان می‌دهد سرب به گونه تک لایه‌ای بر جاذب جذب می‌شود.

این پژوهش نشان داد که از کاه گندم می‌توان همانند یک گیرنده شایسته برای جداسازی فلز سنگین سرب از محلول‌های آبی بهره‌گیری نمود و هموسی کردن آن گنجایش جذب سرب، نیروی پیوند میان جذب‌شونده و گیرنده، ضریب جذب و ضریب پخش سرب را به گونه چشمگیری افزایش داد که این پارامترهای جذب در نمونه‌های ناسترون به اندازه چشمگیری بیشتر از در نمونه‌های سترون شده بود. پس با هموسی کردن کاه گندم بدون سترون‌سازی می‌توان جاذب زیستی کارآمدی را برای جذب سرب از آبهای آلوده داشت.

تا ۶۰/۹۵۸ بود که بیشترین آن در کاه گندم هموسی شده و ناسترون و کمترین آن در نمونه ۱ روزه و سترون بود. با گذشت زمان انکوباسیون، راندمان جذب افزایش یافت و برای نمونه درصد جذب در نمونه‌های ناسترون کاه گندم در روزهای انکوباسیون ۱، ۲۰ و ۶۰ به ترتیب برابر ۳۲/۲۰، ۴۳ و ۶۰/۹۵ درصد بود. در نمونه‌های سترون نیز این روند افزایشی دیده شد. ناهمانندی درصد جذب سرب بر نمونه‌های سترون و ناسترون نشان‌دهنده توانایی ریزجانداران در جذب زیستی سرب است.

۳-۳- بررسی چگونگی جذب سرب بر کاه گندم سترون و ناسترون

ناهمانندی جذب سرب بر کاه گندم سترون و ناسترون توانایی و کارکرد ریزجانداران در جذب سرب را در جذب کننده‌های زیستی نشان داد. یکی از سازوکارهای جذب برای ریزجانداران زنده، داد و ستد یونی است. جذب سرب با بیومس مرده و لاشه یاخته‌های ریزجانداران، نیز به روش جذب زیستی انجام می‌شود. در نمونه‌های سترون نشده، همان توده‌ها به ریخت زنده هم می‌توانند فلزها را به روش زیست-انباشتگی با کاربرد انرژی در ساختار خود انباشته سازند [۲۵ و ۲۶]. در برابر این پژوهش‌ها، میبیدی و همکاران در سال ۱۳۹۲ با بررسی توان جذب توده زیستی مخمر و کپک زنده و کشته شده گزارش کردند که در کمترین غلظت کادمیم در آب برابر ۵۰ میلی‌گرم در لیتر، مرده این ریزجانداران به ترتیب ۸۶/۹۵ و ۵۸/۶۵ درصد از کادمیم آب را زدودند ولی توده زنده آنها توانایی کمتر معادل به ترتیب ۲۹/۸۴ و ۳۱/۹۴ درصد را داشت. درصد جذب کادمیم بر همه جذب کننده‌ها با افزایش غلظت آن در آب کاهش یافت و در پژوهش آنها توده کشته شده مخمر، بهترین جذب کننده کادمیم گزارش شد [۲۷].

در نمونه‌های ناسترون و دارای ریزجاندار زنده، گروه‌های کربوکسیلات و فسفات، گروه‌های باردار منفی در دیواره یاخته ریزجانداران هستند که می‌توانند همانند یک هسته نیرومند برای جذب کاتیون‌های فلزی عمل کنند. این گروه‌ها در pHهای بالا با کاتیون‌های فلز سرب پیوند برقرار کرده و مایه افزایش راندمان و درصد جذب می‌شوند که می‌تواند دلیلی بر بالا بودن جذب در مانده‌های هموسی شده و ناسترون یا زنده باشد [۴۷]. ریزجانداران زنده درون جذب کننده‌ها اگر چه در جذب فلزهای کمک کننده و

۵- مراجع

1. Saedi, M., Jamshidi, A., Abessi, O., and Bayat, J. (2009). "Removal of dissolved cadmium by adsorption onto walnut and almond shell charcoal: Comparison with granular activated carbon (GAC)." *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 20. No.2 (70), 16-22. (In Persian)

2. Wu, C.H., and Zhang, L. (2010) "Heavy metal concentrations and their possible sources in paddy soils of a modern agricultural zone southeastern China." *Environmental Earth Science*, 60, 45-56.
3. Varnam, A.H., and Malcolm, G.E. (2000). *Environmental microbiology*, ASM Press, Washington D.C., USA.
4. Puranik, P.R., and Paknikar, K.M. (1997). "Biosorption of lead and zinc from solutions using *Streptovorticillium cinnamoneum* waste biomass." *Journal of Biotechnology*, 55, 113-124.
5. Volesky, B. (1990). *Biosorption of heavy metals*, CRC press, Boca Raton, F.L. P. 396.
6. Deng, L., Su, Y., Su, H., Wang, X., and Zhu, X. (2007) "Sorption and desorption of lead (II) from wastewater by green algae *Cladophora fascicularis*." *Journal of Hazardous Materials*, 143(1-2), 220-225.
7. Raungsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D., and Harvey, N.W. (2008). "Removal of lead (Pb^{2+}) by the cyanobacterium *gloeocapsa* sp." *Bioresource Technology*, 99, 5650-5658.
8. Tereshina, V.M., Marin, A.P., and Kasyakov, V.N. (1999). "Different metal sorption capacities of cell wall polysaccharides of *Aspergillus niger*." *Applied Biochemistry Microbiology*, 35, 389-392.
9. Kumar, U., and Bandyopadhyay, M. (2007) "Sorption of cadmium from aqueous solution using pretreated rice husk." *Bioresource Technology*, 97, 104-109.
10. Babarinde, N.A.A., Babalola, J.O., and Sanni, R.A. (2006) "Biosorption of lead ions from aqueous solution by maize leaf." *International Journal of Physical Sciences*, 1 (1), 23- 26.
11. Abdel-Ghani, N.T., Hefny M., and El- Chaghaby, G.A.F. (2007) "Removal of lead from aqueous solution using low cost abundantly available adsorbent." *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4(1), 67- 73.
12. Feng, Q., Lin, Q., Gong, F., Sugita, S., and Shoya, M. (2004). "Adsorption of lead and mercury by rice husk ash." *Journal of Colloid and Interface Science*, 278, 1-8.
13. Shamohammadi, Z., Moazed H., Jaafarzadeh, N., and Haghghat Jou, P. (2008) "Removal of low concentrations of cadmium from water using improved rice husk." *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 19 No.3 (67), 27-33. (In Persian)
14. Wong, K.K., Lee, C.K., Low, K.S., and Haron, M.J. (2003). "Removal of Cu and Pb by tartaric acid modified rice husk from aqueous solution." *Chemosphere*, 50, 23-28.
15. Han, R., Zhang, J., Zou, W., Shi, J., and Liu, H. (2005) "Equilibrium biosorption isotherm for lead ion on chaff." *Journal of Hazardous Material*, 125, 266- 271.
16. Farajzade, N. A., and Monji, A. B. (2004). "Adsorption characteristics of wheat barn towards heavy metal cation." *Separation and Purification Technology*, 38, 197- 207.
17. Periasamy, K., and Namasivayama, C. (1996) "Adsorption of Pb (II) by peanut hull carbon from aqueous solution." *Separation Science and Technology*, 30 (10), 2223- 2237.
18. Nick Azar, M., and Noorbakhsh, N. (2006) "Elimination of heavy metals (Cr (VI) Pb (II) Cd (II) from aqueous solutions by activated carbon produced from agricultural waste (rice bran wheat bran and straw)." *Journal of Environmental Science and Technology*, 8(1), 34-43 (In persian).
19. Divband, L., Behzad, M., Boroomand nasab, S., and Divband, S. (2012). "Investigation of nano particles efficiency prepared from cedar fly ash (*Zizyphus spinachristi*) for lead (Pb^{2+}) removal from aqueous solution., Iran." *Journal of Health and Environment*, 5(2), 51-62. (In Persian)

20. Zavvar Mousavi, S.H., and Arjmandi, A. (2010). "Removal of heavy metals from industrial wastewater by sheep gut waste." *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 21 No.3 (75), 63-68 (In Persian)
21. Shokohi, R., Ehsani, H.R., and Tarlaniazar, M. (2014). "Removal of lead and cadmium by coral limestone granules of aquatic solutions." *Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 109-121.
22. Jafari, N., and Ahmadi Asbchin, S. (2014) "Adsorption of cadmium and lead ions from aqueous solution by brown algae *Cystoseira indica*." *Journal of Plant Researches (Iranian Journal of Biology)*, 27(1), 23-31. (In Persian).
23. Jafari, N. (2014). "Comparison uptake of cadmium (II) from aqueous solution onto algae brown fucus serratus and *Cystoseira indica*." *Journal of Water and Wastewater*, Vol. 25 No. 6 (94), 30-35. (In Persian).
24. Puranik, P.R., and Paknikar, K.M. (1997). "Biosorption of lead and zinc from solutions using *Streptovercillium cinnamoneum* waste biomass." *Journal of Biotechnology*, 55, 113-124.
25. Abrahimipur, Gh.H., Foladi, J., Dalry, S., and Tafakori, V. (2005). "Screening and selecting the best strain absorbing lead." *Journal of Environmental Sciences*, 7, 1-12. (In Persian)
26. Ghorbani, F., and Younesi H. (2009). "Biosorption of cadmium(II) ions by *Saccharomyces cerevisiae* biomass from aqueous solutions." *Journal of Water and Wastewater*, Vol.19 No. 4 (68), 33-39. (In Persian)
27. Meybodi, S.M., Jahan Fotoohi, Sh., Jalilzadeh, E., Fotoohi, M., Jalili, T., and Shamlooi, Sh. (2013). "Biosorption of cadmium by fungal strains isolated from wastewater of Zanjan leads and zinc plants." *Journal of Water and Wastewater*, Vol.24 No. 3 (87), 122-127. (In Persian)
28. Nasrazadani, A., Tahmourespour, A., and Hoodaji, M. (2011). "Determination of bacteria resistance threshold to lead, zinc and cadmium in three kind of industrial wastewater." *Journal of Environmental Studies*, 36(56), 75-86. (In Persian)
29. Thomas, G.W. (1996). "Soil pH and soil activity." In, Klute (Ed)., *Methods of soil analysis Part3., chemical methods*, pp., 475-490. Widsion., Wisconsin USA.
30. Roades, J.D. (1990). "Salinity electrical conductivity and total dissolves solids." *In: Methods of soil analysis, part3 chemical methods*, pp, 417-436. Medision., Wisconsin USA.
31. Nelson, D.W., and Somers, L.E. (1996). "Total carbon, organic carbon and organic matter." In, Klute (Ed)., *Methods of soil analysis part3., chemical methods*, PP., 691-1010, Madision Wisconsin, USA.
32. Matthiessen, M.K., Larney, F.J., Selinger, L.B., and Olson, A.F. (2005) "Influence of loss-on ignition temperature and heating time on ash content of compost and manure." *Soil Science and Plant Analysis*, 36, 2561-2573.
33. Peperzak, P., Caldwell, A., G., Huniziker, R., and Black, C.A. (1959) "Phosphorus fraction in manures." *Soil Science*, 87, 293-302.
34. Alef, K., and Nannipieri, P. (1995). *Methods in applied soil microbiology and biochemistry*, Academic Press Inc. USA.
35. Isermeyer, H. (1952) "Eine einfache method zur bestmmung der bodenatmung und der carbonate im boden." *Pflanzenernah Boden*, 55, 26-38.
36. Vance, E.D., Brookes, P.C., and Jenkinson, D.S. (1987). "An extraction method for measuring soil microbial biomass C." *Soil Biology and Biochemistry*, 19, 703-707.

37. Nassar, M.M. (1997) "The kinetics of basic dyes removal using palm fruit bunch." *Adsorption Science Technology*, 15(8), 609-617.
38. Saviozzi, A., Levi-Minzi, R., Riffaldi, R., and Benetti, A. (1992). "Evaluating garbage compost." *BioCycle*, 33, 72-75.
39. Bernal, M.P., Alburquerque, J.A., and Moral, R. (2009). "Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment, A review." *Bioresource Technology*, 100, 5444-5453.
40. Moore, J.C., McCann, K., and Rüter, P.C. (2005) "Modelling trophic pathways nutrient cycling and dynamic stability in soils." *Pedobiologia*, 49, 499-510.
41. Janzen, H.H., and McGinn, S.M. (1991) "Volatile loss of nitrogen during decomposition of legume green manure." *Soil Biology Biochemistry*, 23, 291-297.
42. Hameed, B.H. (2009). "Evaluation of papaya seeds as a novel non-conventional low-cost adsorbent for removal of methylene blue." *Journal of Hazardous Materials*, 162, 939-944.
43. Sciban, M., Radetic, B., Kevresan, Z., and Klasnja, M. (2007) "Adsorption of heavy metals from electroplating wastewater by wood sawdust." *Bioresource Technology*, 98, 402-409.
44. Ozer, A., and Pirinc, C.I.H.B. (2006). "The adsorption of Cd(II) ions on sulfuric acid-treated wheat bran." *Journal of Hazardous Materials*, 137, 849-855.
45. Ozer, A., Ozer, D., and Ozer, A. (2004) "The adsorption of copper(II) ions on to dehydrated wheat bran (DWB), determination of the equilibrium and thermodynamic parameters." *Process Biochemistry*, 39, 2183-2191.
46. Sciban, M., Radetic, B., Kevresan, Z., and Klasnja, M. (2007) "Adsorption of heavy metals from electroplating wastewater by wood sawdust." *Bioresource Technology*, 98, 402-409.
47. Saglam, A., Yacinkaya, Y., Denizli, A., Arica, M.Y., Genc, O., and Bektas, S. (2002). "Biosorption of mercury by carboxycellulose and immobilized *Phanerochaete chrysosporium*." *Microchemical Journal*, 71, 73-81.
48. Jung Ho, S., Jong Won, Y., and Seog, D.K. (1998). "Comparison of Pb²⁺ accumulation characteristics between live and dead cells of *Saccharomyces cerevisiae* and *Aureobasidium pullulans*." *Biotechnology Letters*, 20, 247-251.
49. Macaskie, L.E., and Dean, A.C.R. (1989). "Microbiol metabolism, desolubilisation and deposition of heavy metal: Metal uptake by immobilized cells and application to detoxification of liquid wastes." In: Mizrahi A., (Ed.) *Advances in biotechnology processes, biological waste treatment*, New York, 201.