Archive of SID

قابلیت حذف یون‌های فلزی از پساب با استفاده از برگ درختان (مطالعه موردی: منطقه کجور شهرستان نوشهر) *

محمدباقر پاشازانوسی[1]، مهدی رئیسی[2] ، بهزاد کرد[3]

چکیده

پساب‌های صنعتی و شهری اغلب حاوی یون‌های فلزی بوده که وقتی در دامنه بیشتر از حد مجاز وجود داشته باشند، می‌توانند برای سلامتی انسان‌ها و آبزیان مضر باشند. در این تحقیق حذف یون‌های فلزی سرب، مس و روی موجود در پساب‌های صنعتی، توسط برگ درختان با هدف معرفی جاذب‌های یون‌های فلزی ارزان، موثر و در دسترس، از مواد زائد طبیعی، به‌عنوان یک جایگزین در مقابل جاذب‌های تجاری موجود، مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور 5 گرم برگ از 7 گونه پهن برگ راش، بلوط، افراء، توسکا، ممرز، گردو و فندق در منطقه غرب مازندران پس از آماده‌سازی انتخاب شدند. سپس 200 میلی‌لیتر پساب حاوی یون‌های فلزی با غلظت‌های معین تهیه و به‌منظور جلوگیری از تجزیه‌شدن یون‌ها توسط آب در pH= 5 تنظیم گردیدند. در نهایت حذف یون‌های فلزی از پساب در زمان‌های مختلف 30، 60، 90، 120 و 150 دقیقه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که بین گونه‌های مختلف و زمان‌های مورد بررسی در حذف یون‌های فلزی، در سطح اطمینان 99% اختلاف معنی‌دار وجود دارد. به‌نحوی‌که برگ گونه راش بیشترین مقدار پاک‌سازی را برای یون‌های سرب، مس و روی از خود نشان داده که مقادیر آن به‌ترتیب 51/89، 39/69 و 29/90 درصد می‌باشد. از طرفی زمان 90 دقیقه به‌عنوان بهترین زمان تماس برای حذف یون‌های فلزی توسط برگ گونه‌های پهن‌برگ به‌دست آمده‌است. همچنین نتایج حاکی از آن است که در پاک‌سازی یون‌های فلزی، برگ گونه‌های مورد مطالعه در مقایسه با جاذب آزمایشگاهی (کربن فعال) دارای کارایی کمتری می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: یون‌های فلزی، جاذب‌های طبیعی، پساب صنعتی، آلودگی‌های زیست‌محیطی، برگ درخت

---

* *مستخرج از طرح پژوهشی مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس*

1- دانشجوی دکتری شیمی تجزیه و عضو هیأت علمی گروه شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس
pashazanousii@ yahoo.com

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی علوم دامی و عضو باشگاه پژوهشگران جوان واحد چالوس

3- استادیار گروه علوم و صنایع چوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پساب‌های صنعتی و شهری اغلب حاوی یون‌های فلزی بوده که وقتی در دامنه بیشتر از حد مجاز وجود داشته باشند، می‌توانند برای سلامتی انسان‌ها و آبزیان مضر باشند. روش‌های معمول برای حذف پساب شامل ته‌نشینی[1]، انعقاد[2]/ شناورسازی[3]، رسوب‌سازی[4]، شناورسازی، فیلتراسیون[5]، روش‌های غشایی[6]، تکنیک‌های الکتروشیمیایی[7]، تبادل یون[8]، روش‌های بیولوژیک[9] و واکنش‌های شیمیایی[10] می‌باشند. هر روش مزیت‌ها و محدودیت‌های مخصوص به خود را در کاربرد دارد. فرایند جذب با کربن فعال شده[11] به‌علت موفقیت در حذف مقادیر کم فلزات سنگین با بازدهی مناسب مورد توجه بسیاری از دانشمندان بوده‌است. اما فرایندهای ذکر شده به‌دلیل هزینه‌های زیاد به‌طور گسترده مورد استفاده قرار نگرفته‌است. به‌همین دلیل، استفاده از مواد ارزان قیمت به‌عنوان ماده جاذب برای حذف یون‌های فلزی از پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری مورد توجه قرار گرفته‌است. مارشال و چامپان[12]، در سال 1995، محصولات فرعی سویا و لیف کتان، ساقه برنج و تفاله چغندر قند را به‌عنوان جاذب یون فلزی در محلول‌های آبی به‌کار بردند به‌طوری‌که ظرفیت جذب برای یون روی (Zn^{2+}) بین 0/06- 0/52 میلی‌اکی‌والان بر گرم وزن خشک گیاه بوده و ساقه برنج و تفاله چغندر قند ظرفیت جذب اندک 0/12 میلی اکی‌والان بر گرم داشته‌است. در یک غلظت تحت اشباع یون فلزی (100 میلی‌گرم بر لیتر) سویا و لیف کتان دارای سطح زیاد جذب 95/6 تا 99/7 درصد از کرومیوم (Cr^{3+})، کبالت (Co^{3+})، مس (Cu^{2+})، نیکل (Ni^{2+}) و روی (Zn^{2+}) بوده‌است. واسگواز[13] و همکاران، در سال 1994، از پوست کاج سوزنی‌برگ به‌عنوان جاذب یون‌های فلزی نظیر روی، مس و سرب استفاده نمودند. آنها با بهینه‌کردن شرایط محیطی و pH، دریافتند که پوست کاج، جاذب بسیار خوبی برای پاک‌سازی یون‌های سمی از فاضلاب می‌باشد به‌طوری‌که ظرفیت جذب آن 85 تا 95 درصد برای یون سرب، 55 تا 85 درصد برای مس و 51 تا 57 درصد برای روی بوده‌است. پریاسامی[14] و همکاران، در سال1994، از پوست بادام زمینی برای جذب کادمیوم از پساب استفاده کردند. به‌طوری‌که حجم پاک‌سازی در pH بین 3/5 تا 9/5 بین 30 تا 60 درصد بوده‌است. در صورتی‌که کربن فعال تجاری به‌عنوان یک جاذب آزمایشگاهی قابلیت جذب بسیار اندک (تقریباً 30 برابر کمتر) را نسبت به پوست بادام زمینی دارد. دی‌واسکونزلوس و گونزالس[15]، در سال 1992، در تحقیق مشابه کاربرد موثر پوست کاج برای جلوگیری از آلودگی آب به یون‌های فلزی نظیر کادمیوم، سرب و کروم را بررسی کردند. اورهان و بایوک گنگور[16]، در سال 1993، از جاذب‌هایی نظیر تفاله چای، قهوه ترک، تفاله قهوه، پوست گردو و بادام‌زمینی برای پاک‌سازی

[1]- Precipitation
[2]- Coagulation
[3]- Flotation
[4]- Sedimentation
[5]- Filtration
[6]- Membrane process
[7]- Electrochemical techniques
[8]- Ion exchange
[9]- Biological process
[10]- Chemical reaction
[11]- Activated carbon
[12]- Marshall and champagne
[13]- Vazquea et al.
[14]- Periasamy et al.
[15]- De Vasconcelos and Gonzales
[16]- Orhan and Buyukgungor

www.SID.ir

Archive of SID

پساب‌ها استفاده کردند. تایلور و همکاران[1]، در سال 1994، از جاذب‌های ضایعات طبیعی برای پاک‌سازی پساب آلومینیوم $[AL^{3+}]$استفاده نمودند، به‌طوری‌که ضریب جذب یون آلومینیوم به مقدار 98، 99، 96، 99/5، 96 درصد به‌ترتیب برای تفاله چای، قهوه ترک، تفاله قهوه، پوست گردو و بادام زمینی به‌دست آمده است. عبدالقانی و همکاران[2]، در سال 2008، از برگ اکالیپتوس برای حذف یون‌های فلزی از پساب‌های صنعتی استفاده کردند که نتایج نشان‌دهنده بیشترین مقدار پاک‌سازی به‌ترتیب برای سرب، مس، کادمیوم و روی بوده‌است. اُبوح و الیور[3]، در سال 2008، از برگ زیتون به‌عنوان جاذب برای حذف یون‌های فلزی استفاده نمودند که نتایج حاصل، نشان دهنده حذف 76/8 درصد برای یون مس (Cu^{2+})، 67/5 درصد برای یون نیکل (Ni^{2+}) ، 58/4 درصد برای یون روی (Zn^{2+}) و 41/45 درصد برای یون سرب (Pb^{2+}) می‌باشد و در تحقیق دیگر اُبوح و الیور، در سال 2008، از دانه سور سوپ [4] به عنوان جاذب برای حذف یون‌های فلزی نظیر سرب، مس، نیکل و روی استفاده نمود. نتایج حاصل نشان دادکه زمان 120 دقیقه به‌عنوان بهترین زمان تماس برای حذف یون‌های فلزی بوده و حذف 40/6 درصد برای یون سرب، حذف 56/4 درصد برای یون روی، 68/5 درصد برای نیکل و 77/6 درصد برای یون مس بود.

هدف از این پژوهش، بررسی حذف یون‌های فلزی از پساب با استفاده از برگ 7 گونه پهن برگ راش، بلوط، افراء، توسکا، ممرز، گردو و فندق به‌منظور شناسایی مناسب‌ترین جاذب بود.

مواد و روش‌ها

الف- نمونه‌برداری

جهت انجام این تحقیق برگ درختان راش، بلوط، افراء، توسکا، ممرز، گردو و فندق در منطقه غرب مازندران (شهرستان نوشهر) از شاخه‌ها جدا و داخل یک کیسه پلاستیکی تمیز جمع‌آوری و سپس با آب مقطر[5] به‌طور کامل شسته و داخل یک سینی قرار داده تا در شرایط سایه خشک شد. در ادامه برگ‌های خشک شده از الک گذرانده شد تا اندازه برگ ها بین 40 تا 50 مش به‌دست آمد.

ب- هضم[6] نمونه‌ها

به‌منظور بهینه‌کردن شرایط آزمایش و تعیین مقادیر یون‌های فلزی مورد آزمایش در برگ درختان قبل از تهیه پساب لازم است که هضم نمونه‌ها انجام شود. به‌همین منظور 5 گرم از هر نمونه درون آون در دمای 70 درجه سانتی‌گراد خشک شده و یک گرم از ماده خشک به‌مدت 6 ساعت در دمای 25±450 درجه سانتی‌گراد درون کوره به خاکستر تبدیل شد. خاکسترهای مربوط به هر نمونه درون ظرف پلی‌اتیلن به حجم 100 میلی‌لیتر ریخته و 3 میلی‌لیتر اسید نیتریک به آنها اضافه و سپس روی حمام آبی در دمای 100 درجه

[1] - Taylor et al.
[2] - Abdel-Ghani et al.
[3] - Obob and Aluyor
[4] - sour- sop
[5] - Deionize
[6] - digestion

www.SID.ir

Archive of SID

سانتی‌گراد حرارت داده تا کاملاً هضم گردید. پس از هضم، نمونه از روی حمام برداشته و کاملاً سرد گردید. سپس حجم محلول را با آب مقطر به 20 میلی‌لیتر رسانده و از کاغذ صافی واتمن[1] شماره 42 عبور داده و محلول زیر صافی، جهت آنالیز به دستگاه جذب اتمی تزریق گردید (غازان شاهی[2]، 1997). نتایج به‌دست آمده در جدول 1 آمده‌است.

جدول 1- غلظت اولیه یون‌های فلزی سرب، مس و روی در برگ گیاه

یون فلزی / نمونه	$Pb^{2+}{}_{(ppm)}$	$Cu^{2+}{}_{(ppm)}$	$Zn^{2+}{}_{(ppm)}$
راش	0/18	0/10	0/08
بلوط	0/17	0/10	0/08
افرا	0/18	0/10	0/08
توسکا	0/16	0/10	0/07
ممرز	0/15	0/09	0/06
گردو	0/11	0/05	0/05
فندق	0/09	0/05	0/03

ج- تهیه پساب مصنوعی

نمونه‌های پساب مصنوعی حاوی محلول سرب به غلظت 49 ppm، محلول مس به غلظت 48/5 ppm و محلول روی به غلظت 50ppm از نمک‌های مربوطه ساخت شرکت مرک[3] تهیه گردید. به‌طوری‌که برای تهیه محلول سرب 0/016 گرم نمک نیترات سرب $Pb(NO_3)_2$، محلول مس 0/029 گرم نمک نیترات مس $Cu(NO_3)_2$ و محلول روی 0/044 گرم نمک سولفات روی آبدار $ZnSO_4.7H_2O$، توسط ترازو مدل سارتوریوس[4] با دقت 0/001 توزین و به‌صورت جداگانه در بالن حجم سنجی با آب مقطر به حجم 200 میلی لیتر رسانده شد. پس از مخلوط‌کردن محتویات بالن‌ها، 200 میلی‌لیتر پساب برای هر آزمایش مورد استفاده قرار گرفت. همچنین به‌منظور جلوگیری از تجزیه‌شدن یون‌ها توسط آب، pH پساب‌ها با چند قطره اسید نیتریک در حدود 5 تنظیم شد.

د- روش آزمایش

در این مرحله 5 گرم از برگ هر یک از نمونه‌های مورد مطالعه به‌طور جداگانه توزین و در دمای اتاق به داخل 200 میلی‌لیتر پساب تهیه‌شده اضافه گردید. پس از انجام واکنش‌های مربوط و به‌منظور بهینه‌کردن زمان تماس، در فواصل زمانی 30، 60، 90، 120 و 150 دقیقه، برداشت محلول از پساب انجام گرفته و

[1] - Wattman
[2] - Ghazanshahi
[3] - Merck
[4] - Sartorius

www.SID.ir

Archive of SID

محلول‌های حاصل جهت تعیین جذب یون‌های فلزی سرب، مس و روی از طیف‌سنج جذب اتمی شعله[1] ساخت واریان[2] استفاده گردید. همچنین به‌منظور مقایسه جاذب‌های طبیعی با جاذب کربن فعال تجاری، تحت شرایط مشابه 5 گرم کربن فعال را وارد پساب نموده و در زمان‌های معین برداشت انجام و محلول‌ها جهت تعیین جذب یون‌های فلزی و درصد پاک‌سازی به دستگاه جذب اتمی تزریق گردیدند. نتایج به‌دست آمده در جدول 2 آمده‌است.

جدول 2- درصد پاک‌سازی یون‌های فلزی از پساب توسط جاذب‌ها

یون فلزی	$Pb^{2+}{}_{(ppm)}$		$Cu^{2+}{}_{(ppm)}$		$Zn^{2+}{}_{(ppm)}$	
غلظت اولیه	49		48/5		50	
pH اولیه	5/42		5/46		5/56	
نمونه	غلظت نهایی (ppm)	حذف فاضلاب (%)	غلظت نهایی (ppm)	حذف فاضلاب (%)	غلظت نهایی (ppm)	حذف فاضلاب (%)
راش	23/39	51/89	29/15	39/69	34/97	29/90
بلوط	23/94	50/80	29/34	39/30	35/07	29/70
افرا	24/04	50/57	29/53	38/91	35/07	29/70
توسکا	24/44	49/80	29/53	38/91	35/18	29/50
ممرز	24/99	48/69	30/66	36/60	37/19	25/50
گردو	26/20	46/31	33/31	31/22	38/20	23/50
فندق	26/49	45/76	34/00	29/79	38/52	22/90
کربن فعال	7/2	85/53	14/60	89/39	16/80	66/40

۵- روش آماری

تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS[3] در قالب طرح آماری کاملاً تصادفی متعادل تحت آزمون فاکتوریل انجام گرفت، و از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح اطمینان 99% جهت مقایسه میانگین‌ها استفاده شد.

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج نشان داد که بین گونه‌های مختلف و زمان‌های مورد بررسی در حذف یون‌های فلزی در سطح اطمینان 99% اختلاف معنی‌دار وجود دارد (جدول 3).

[1] - Flame Atomic Absorption Spectroscopy
[2] - Varian- Spectra-AA۲۰۰
[3] - SPSS Version 13

www.SID.ir

Archive of SID

جدول 3- تجزیه واریانس مقادیر حذف یون‌های فلزی پساب بین گونه‌های مورد بررسی در زمان‌های متفاوت

یونهای فلزی	منبع تغییرات	درجه آزادی	مجموع مربعات	میانگین مربعات	Sig
	گونه	6	6135/18	152/96	0/005
سرب	زمان	4	4812/09	119/97	0/012
	گونه × زمان	24	2528/33	63/03	0/001
	خطا	70	40/11	-	-
	کل	105	13515/71	-	-
	گونه	6	5163/34	129/80	0/000
مس	زمان	4	4018/72	101/02	0/002
	گونه × زمان	24	946/56	23/79	0/006
	خطا	70	39/78	-	-
	کل	105	10168/73	-	-
	گونه	6	1128/31	27/10	0/022
روی	زمان	4	3417/74	82/09	0/014
	گونه × زمان	24	708/09	17/01	0/009
	خطا	70	41/63	-	-
	کل	105	5295/77	-	-

همچنین در جدول 2 مشاهده می‌شود که نمونه حاصل از برگ گونه راش بیشترین درصد پاک‌سازی را برای یون‌های سرب، مس و روی نشان‌داده که به‌ترتیب 51/89، 39/69 و 29/90 درصد می‌باشد. در حالی‌که کمترین مقدار پاک‌سازی و حذف فاضلاب یون‌های فلزی سرب، مس و روی متعلق به برگ گونه فندق بوده که مقادیر آن به‌ترتیب 45/76، 29/79 و 22/90 درصد می‌باشد.

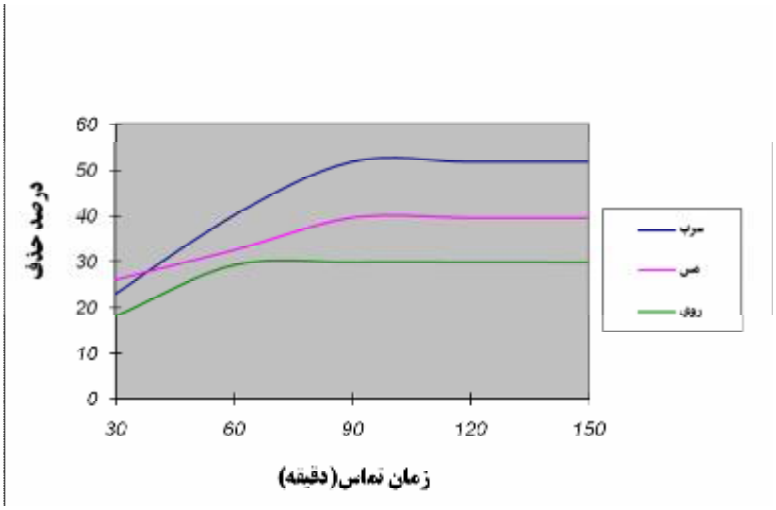
با توجه به نتایج، نسبت پاک‌سازی یون‌های فلزی در فاضلاب توسط برگ گونه‌های پهن برگ به‌ترتیب $Cu^{2+} > Pb^{2+} > Zn^{2+}$ می‌باشد. همچنین نتایج جذب یون‌های فلزی Zn^{2+}، Cu^{2+} و pb^{2+} توسط کربن فعال تجاری که به‌دلیل دانه‌بندی ریز و سطح مخصوص زیاد یکی از جاذب‌های موثر و مفید آزمایشگاهی می‌باشد، در جدول 2 نشان داده شده‌است. که با توجه به آن می‌توان مقایسه‌ای بین مواد جاذب آزمایشگاهی با جاذب‌های مواد زائد طبیعی که ارزان و در دسترس می‌باشند به‌عمل آورد، به‌طوری‌که بیشترین درصد پاک‌سازی یون سرب توسط نمونه حاصل از برگ گونه راش 51/89 درصد بوده که تحت شرایط یکسان این میزان پاکسازی توسط کربن فعال 85/53 درصد می‌باشد. همچنین بیشترین درصد پاکسازی یون‌های مس و روی توسط نمونه حاصل از برگ گونه راش به‌ترتیب 39/69 و 29/90 درصد بوده که این میزان پاک‌سازی توسط کربن فعال به ترتیب 69/89 و 66/40 درصد به‌دست آمد. از این‌رو می‌توان بیان داشت هرچند استفاده از جاذب طبیعی ارزان، موثر و در دسترس گونه راش برای پاک‌سازی یون‌های فلزی سرب،

www.SID.ir

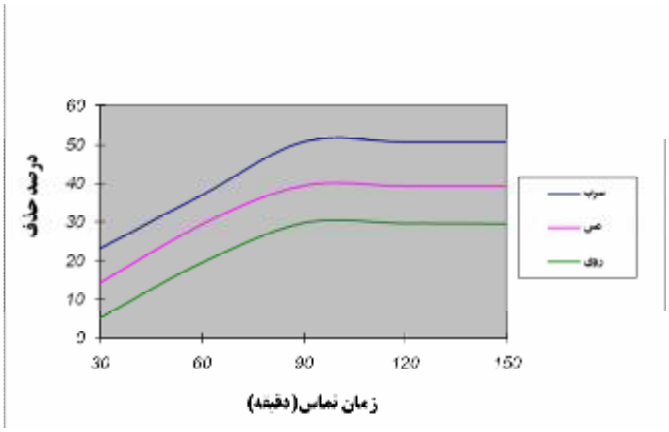
Archive of SID

مس و روی در برابر قابلیت حذف فاضلاب توسط جاذب آزمایشگاهی (کربن فعال) قابل رقابت نمی‌باشد ولی می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

جذب یون‌های فلزی فاضلاب توسط برگ گونه‌های مختلف پهن‌برگ در زمان‌های مختلف در شکل‌های 1 الی 7 ارایه شده است. به‌نحوی‌که با افزایش زمان تماس میزان جذب یون‌های فلزی در برگ گونه‌های پهن برگ افزایش می‌یابد، از طرفی زمان 90 دقیقه به‌عنوان بهترین زمان تماس برای حذف یون-های فلزی توسط برگ گونه‌های پهن برگ تلقی می‌شود زیرا پس از این محدوده زمانی درصد پاک‌سازی تقریباً ثابت مانده‌است.



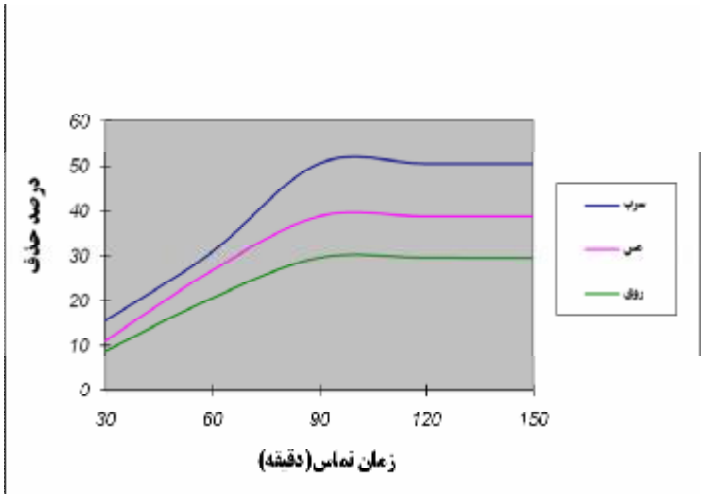
شکل 1- حذف یون‌های فلزی فاضلاب توسط برگ گونه راش در زمان‌های مختلف



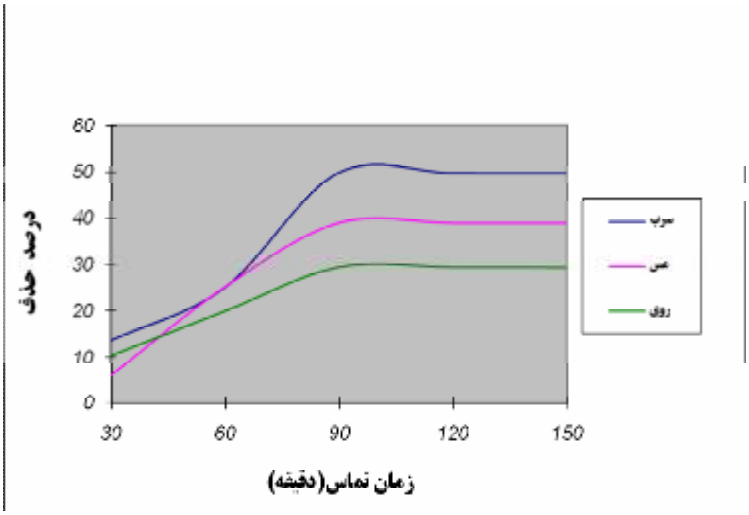
شکل 2- حذف یون‌های فلزی فاضلاب توسط برگ گونه بلوط در زمان‌های مختلف

www.SID.ir

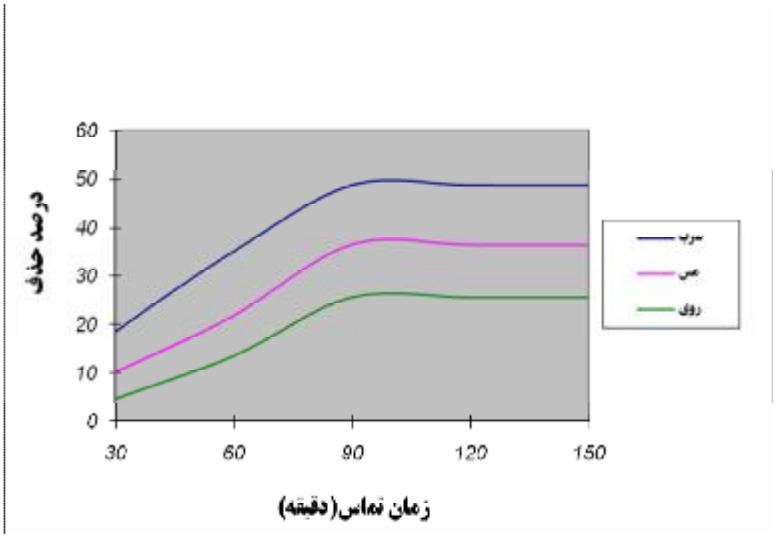
Archive of SID



شکل 3- حذف یون‌های فلزی فاضلاب توسط برگ گونه افرا در زمان‌های مختلف



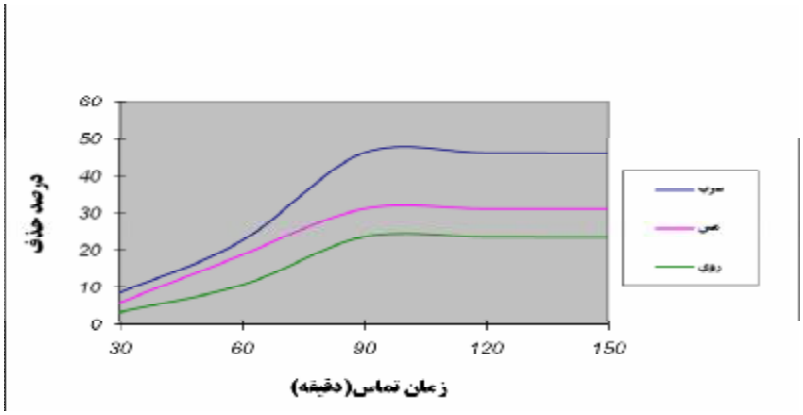
شکل 4- حذف یون‌های فلزی فاضلاب توسط برگ گونه توسکا در زمان‌های مختلف



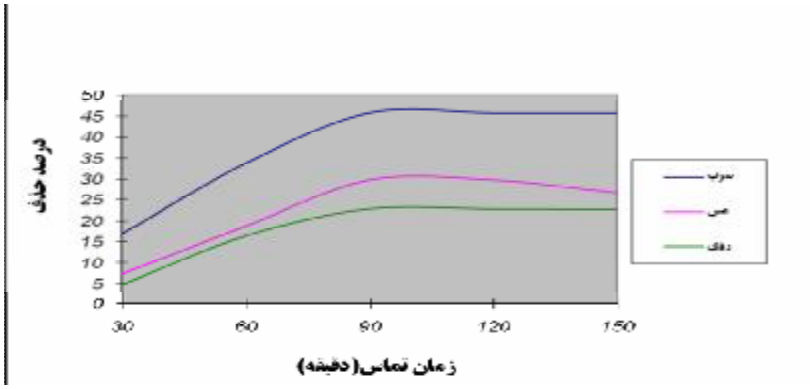
شکل 5- حذف یون‌های فلزی فاضلاب توسط برگ گونه ممرز در زمان‌های مختلف

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 6- حذف یون‌های فلزی فاضلاب توسط برگ گونه گردو در زمان‌های مختلف



شکل 7- حذف یون‌های فلزی فاضلاب توسط برگ گونه فندق در زمان‌های مختلف

با توجه به موارد ذکر شده و نتایج حاصل از این پژوهش می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برگ درختان می‌توانند به‌عنوان یک جاذب طبیعی ارزان، موثر و در دسترس برای پاک‌سازی یون‌های فلزی در پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری مورد استفاده قرار گیرند. درصد جذب یون‌های فلزی به نوع جاذب‌های طبیعی بستگی دارد، به‌طوری‌که این جاذب‌ها می‌توانند با توجه به یون‌های مختلف موجود در پساب عملکرد و بازدهی متفاوتی داشته باشند. از میان جاذب‌های طبیعی مورد بررسی در این پژوهش، جاذب گونه راش بیشترین کارایی را در جهت پاک‌سازی پساب حاوی یون‌های فلزی سرب، مس و روی دارد. از طرفی هر چند که قابلیت پاک‌سازی یون‌های فلزی توسط برگ گونه‌های پهن برگ در مقایسه با جاذب آزمایشگاهی (کربن فعال) دارای کارایی کمتری می‌باشد ولی می‌توان به‌عنوان یک جاذب طبیعی، ارزان، موثر و در دسترس به‌منظور پاک‌سازی یون‌های فلزی در پساب‌های صنعتی، کشاورزی و شهری پیشنهاد گردد.

سپاس‌گزاری

تحقیق حاضر برگرفته از طرح پژوهشی با عنوان «حذف یون‌های فلزی سرب و مس و روی از پساب‌های صنعتی از طریق جذب توسط برگ درختان و اندازه‌گیری آن توسط طیف سنج جذب اتمی» با حمایت مالی دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس انجام شد لذا بر خود واجب می‌دانم از ریاست محترم و مسوولان دانشگاه که با حمایت همه‌جانبه خود کمک فراوانی در به ثمر رسیدن آن نموده‌اند، تقدیر و تشکر نمایم.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

1- Abdel-Ghani, N. T., Hefny, M. M., EL-Chaghaby, G. A. 2008. Removal of metal ions from synthetic wastewater by adsorption onto eucalyptus camaldulenis tree leaves. Journal of the Chilean Chemical Society. 53:3.1585-1587

2- De Vasconcelos, L. A., Teles, B., Gonzales, C. G. 1992. Pine Bark for Heavy Metals Removal in Waste Water Treatment. European Water Pollution Cont. 2:5. 13-21.

3- Marshall, W. E. and Champagne, T.E. 1995. Agricultural Byproducts as Adsorbents for Metal Ions in Laboratory Prepared Solutions and in Manufacturing Wastewater, Journal of Environmental Science sand Health, Part A: Environmental Science and Engineering. 30: 2.241–261.

4- ghazanshahi, j. 1997. Plant and soil analysis, Homa Publication, 311p (in Persian).

5- Oboh, O. I., Aluyor, E.O., 2008. The removal of heavy metal ions from aqueous solutions using sour sop seeds as biosorbent. African Journal of Biotechnology. 7:24. 4508- 4511.

6- Oboh, O. I., Aluyor, E.O.2008.Biosorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solutions Using a Biomaterial. Leonardo Journal of Sciences. Issue 14. p: 58-65.

7- Orhan, Y., and Buyukgungor, H. 1993. Removal of Heavy Metals by Using Agricultural Wastes", Water. Science and Technology. 28:2. 247-255.

8- Periasamy, K., Namasivayam, Ch. 1994 .Process Development for Removal and Recovery of Cadmium From Wastewater by a Low-cost Adsorbent: Adsorption Rates and Equilibrium Studies. Industrial and Engineering Chemistry Research. 33:2. 317-320.

9- Taylor, DT., Edyvean, RGJ., and Johnson, DJ. 1994. Investigations Into the Use of Linseed Flax Straw for the Removal of Metals From Waste Water. Institution of Chemical Engineers Symposium Series. Published by Institute of Chemical Engineers, Rugby, England. pp:116-118.

10- Vazquez, G., Antorrena, G., Gonzalez, J., and Doval, M. D. 1994. Adsorption of Heavy Metal Ions by Chemically Modified Pinus Pinaster Bark. Bioresource Technology: Biomass, Bioenergy, Biowastes, Conversion Technologies, Biotransformation. 48:3. 251-255.

www.SID.ir