جذب بیولوژیک عناصر سنگین از محیط آبی به کمک ضایعات کشاورزی و جلبکها

Bio-adsorption of heavy metals from aqueous solution by agricultural wastes, and algae

ثمین تکاسی، فارغ‌التحصیل کارشناسی

مهندسی شیمی، دانشگاه تهران

مقدمه و بیان ضرورت:

امروزه توسعه صنایع مختلف (مانند پالایش سنگ معادن ، صنایع کود ، چرم‌سازی ، باتریسازی ، صنایع کاغذسازی، و ایجاد سموم آفت‌کش) و افزایش فاضلابهای صنعتی کارخانه‌ها مشکل جدی برای محیط‌زیست و انسان‌ها به حساب می‌آید. این پساب‌های صنعتی شامل انواع فلزات سنگین و یون‌های مختلف‌اند. خطرناکترین یون‌ها برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده Cr, Fe, Se, V, Cu, Co, Ni, Cd, Hg, As, Pb, Zn هستند.[۱]

وجود این یون‌ها در بدن مشکلات جدی برای سیستم عصبی، ششها، کلیه و کبد ایجاد می‌کند؛ سرب در بدن بی‌نهایت سمی است و مشکلات جدی برای سیستم عصبی، کلیه و متابولیسم ویتامین D ایجاد میکند. نیکل سرطان‌زا است و حضور دائم آن در بدن باعث از دست دادن فعالیت کلیه، شش‌ها و تحلیل استخوان‌ها می‌گردد. [۲]

کروم ماده‌ای سمی است که با فعالیت‌هایی چون رنگ‌رزی، نساجی، پلاستیک‌سازی واستفاده از سموم وارد محیط می‌شود و اثرات متعددي بر سلامت انسان دارد. این ترکیب باعث آلرژي شدید مانند خارش پوستی در افراد مي‌شود. با تنفس کروم بيني تحریک شده و خونریزي بيني اتفاق مي‌افتد. سایر اثرات منفی کروم عبارت هستند از: خارش پوستی، زخم معده، مشکلات دستگاه تنفسی، ضعیف شدن سیستم ایمني بدن، آسیب‌های کلیوی و کبد، تغییر ژنتیکی، سرطان ریه و مرگ. [۳]

کادمیوم برخلاف بقیه فلزات سنگین در آب حل می‌شود و با تحرک زیادش، می‌تواند محیط وسیعی را آلوده کند. جذب کادمیوم در بدن خصوصا کلیه باعث از کارافتادگی آن می‌شود. کادمیوم با بعضي از عناصر ضروري در متابولیسم

واکنش می‌دهد و عوارض مختلفي از قبیل کم‌خونی، بیماري استخوانی، کبدی، کلیوی و سرطان ایجاد می‌کند. [۴]

بیان راه حل:

انواع روش‌های فیزیکی و شیمیایی جهت تصفیه این پساب‌ها مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌اند (روش‌هایی چون اکسیداسیون/ احیا، ته نشینی، تبادل یونی، اسمز معکوس ، فیلتراسیون غشایی، انعقاد و شناورسازی)؛ اما محدودیت‌هایی چون هزینه، زمان و بازده کاربرد این روشها را محدود کرده‌اند. کربن فعال و جاذب‌های نانو بازده بسیار بالایی در این خصوص دارند ولی هزینه فعالسازی و سنتز نانوذرات بالاست. [۵]

جذب سطحی موثرترین روش برای جداسازی یون‌های سنگین و رنگ‌ها از آب است که ضایعات کشاورزی برای نیل به این هدف بسیار امیدبخش می‌باشند. از مهم‌ترین مزایای این روش میتوان به هزینه پایین، بازدهی بالا، کمینه مصرف مواد شیمیایی و ایجاد لجن، امکان احیا فلزات و تجدیدپذیربودن جاذب بیولوژیکی اشاره کرد.[۱]

ساختار ضایعات کشاورزی باعث ایجاد پیوند قوی بین یون‌های موجود در آب و سطح جاذب می‌شود. بیومس ضایعات کشاورزی عمدتا دارای اجزای زیر اند: همی‌سلولز، لیگنین، لیپید، کربوهیدرات، قندهای ساده و نشاسته[۱]

در ادامه چند ماده کشاورزی و کاربرد آن بیان می‌گردد. پارامترهای مختلفی نظیر pH، غلظت اولیه ماده مورد نظر، مدت زمان تماس، دما، حضور یون‌های رقابتی (به طورکلی پارامترهای تعادلی و سینیتیکی) و همچنین سایز ذرات جاذب و نوع آن‌ها در این فرآیند موثر است.[۶]

مکانیسم جذب بیولوژیکی (Mechanism of biosorption) :

شکل ۱ - مکانیسم جذب بیولوژیکی

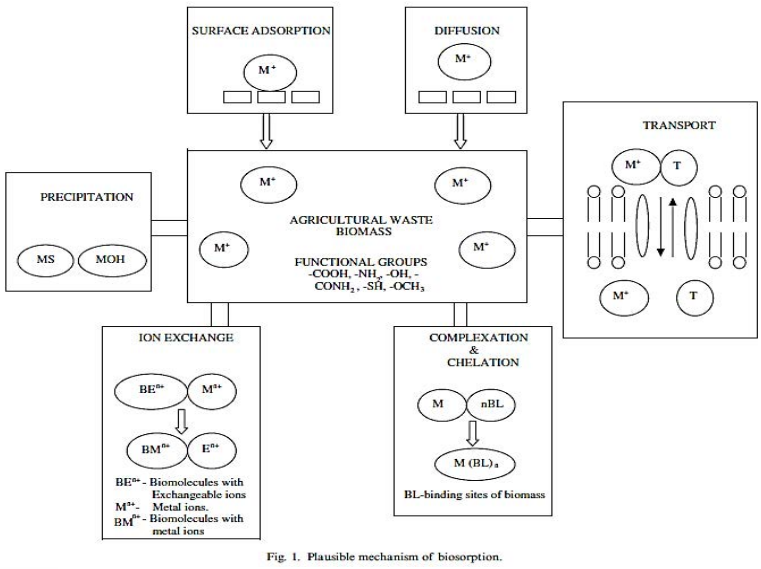


Fig. 1. Plausible mechanism of biosorption.

فرآیند جذب شامل دو فاز است: فاز جامد (جامد مورد استفاده) و فاز مایع (شامل ذراتی که جذب خواهند شد). به علت تمایل بالای جاذب با یونهای فلزی فرآیندهای پیچیده‌ای با مکانیسمهایی نظیر؛ جذب شیمیایی[۳]، جذب سطحی[۴]، تبادل یونی، جذب توسط نیروهای فیزیکی، گیرافتادن داخل مویرگهای فیبریلار و فضای بین شبکه پلی‌ساکاریدی در عبور از دیواره و غشای سلول وجود دارند.[۱][۷]

میزان جذب از فرمول زیر به دست آمده است، که در آن C_0 غلظت اولیه و C غلظت نهایی بعد از برقرای تماس با جاذب است و در ادامه به کمک این فرمول قدرت جذب انواع جاذب‌ها بیان خواهد شد.

$$\% \ adsorbed = \left(\frac{C_0 - C}{C_0} \right) \times 100$$

بررسی جاذبهای کشاورزی مطالعه شده:

پوستهبرنج (Rice Husk) :

پوسته برنج در کشورهای آسیایی بسیار در دسترس است، نرخ تولید برنج در جهان تقریبا ۵۰۰ تن است که ۱۰-۲۰٪ این نرخ را پوست آن تشکیل می‌دهد. ۷۰-۸۵٪ پوست برنج خشک را موادآلیای چون لیگنین، سلولز، قندها و غیره تشکیل می‌دهند. در تحقیقات، از پوسته برنج غیراصلاح شده یا اصلاح شده با تارتاریک‌اسید جهت جذب عناصر سنگین استفاده شده است.[۶]

جذب یون‌هایی نظیر Cr^{6+}، Pb^{2+}, As^{5+}, Cd^{2+}, Cu^{2+} از محیط آبی توسط پوسته برنج قبل از تصفیه کارایی بهتری داشت. به طور مثال قدرت جذب متیلن بلو ۳۱۲ mg/g است.[۵]

جذب مس و سرب در pH بین 2 و 3 اپتیمم است و پوستهٔ برنج اصلاح‌شده با فسفات PRH در جذب عناصر Ni (II), Zn (II), Cd (II) و Cr (VI) خوب عمل کرد که برای نیکل و کادمیوم از همه بهتر بودند. در pH>12 بیشاز ۹۰٪ جذب برای کادمیوم گزارش شده‌است.[۶]

جذب پوسته برنج آسیاب شده برای فلزات Sr, Cd, Ni, Pb, Zn, Co, Cr, As بالای ۹۰٪ بود و جذب Ni ۸۰٪ گزارش شد. طبق نتایج ماکسیمم جذب کروم توسط سبوس برنج خام ۶۶٪ در pH=2 با غلظت اولیه ۷۰ g/L در بازه ۲ ساعته صورت گرفت.[۶]

شکل ۲- استفاده از پوسته‌ی برنج به عنوان جاذب

خاک اره(Saw dust) :

خاک اره یک محصول فراوان در کشاورزی است که از طرق مختلف به دست می‌آید، خاک اره حاصل از درخت منگو برای جذب Cr^{6+} مناسب است که در صورت پیش‌فرآوری به بازده ۱۰۰٪ می‌رسد. [۸] خاک‌اره اصلاح شده با فسفات (PTS) قدرت جذب بی‌نظیری را در مقایسه با خاک‌اره بهبود نیافته از خود نشان داد و در pH=2 به جذب۱۰۰٪ رسید. [۸]

Table 3. Types of saw dust as adsorbent for heavy metal

Source	Adsorbent	Heavy metal removal efficiency (%)			
		Cr(VI)	Ni(II)	Cu(II)	Zn(II)
[14]	Phosphate treated tree sawdust	100	83	86	86
	Untreated tree sawdust	-	91	86	75.7
[16]	Coconut tree saw dust carbon	98.84	-	-	-

جدول ۱ – بررسی انواع خاک اره به عنوان جاذب بیولوژیک

شکل ۳ – استفاده از خاک اره به عنوان جاذب

مغز هسته‌ها (Coir pith) :

مغز هستههای کشاورزی بسیار ارزان و فراوان است؛ پودر هسته‌های میوه‌هایی نظیر هلو، سیب، هنداونه، زردآلود و گیلاس و غیره با اصلاح توسط آمونیوم پرسولفات برای جذب Hg^{2+},Ni^{2+} و Cu^{2+} مناسب‌اند. استفاده از $ZnCl_2$ به عنوان عامل فعالسازی بازدهی را بسیار افزایش می‌دهد.[۹]

شکل ۴ – استفاده از هسته‌های کشاورزی به عنوان جاذب

باگاس نیشکر (Sugarcane bagasse) :

باگاس نیشکر دارای ۵۰٪ سلولز، ۲۷٪ پنتوسان و ۲۳٪ لیگنین است؛ که برای جذب Cu^{2+} Pb^{2+}, Cd^{2+} بررسی شده‌است.[۵]

لیگنین کربوکسیل متیل شده‌ی باگاس نیشکر در pH=6 و دمای $30C^{\circ}$ و قدرت یونی $0.1\ mol/dm^3$ دارای خاصیت جذب انتخابی سرب نسبت به کادمیوم است.[۱۰]

شکل ۵ – استفاده از باگاس نیشکر به عنوان جاذب

پوسته بادامزمینی (Peanut shell):

پوسته بادامزمینی اصلاح‌شده با کربن فعال بازدهی بالاتری از بسیاری از جاذبهای تجاری داشت. این محصول کمترین ظرفیت بارگیری را در مقایسه با پوست برنج و نارگیل از خود نشان داد.[۵]

شکل ۶ – استفاده از پوسته بادام زمینی به عنوان جاذب

پوست پرتقال (Orange peels):

جذب یونهای Co^{2+}, Ni^{2+}, Cd^{2+} و Zn^{2+} اصلاح شده با پایه های مختلف $NaOH$, NH_4OH and $Ca(OH)_2$ و پایه‌های اسیدی بررسی شد که جذب را تا ۱۳۰٪ افزایش داد. حذف یون مس با سدیم هیدروکسید و کلسیم کلرید با موفقیت ظرفیت بارگیری را بیشتر کرد.[۱۱]

پوست سویا، پوست پنبه، سبوس کاه و پوست سبوس برنج (Soybean hulls, cottonseed hulls, rice bran and straw):

پوست سویا بهبودیافته با سیتریک اسید برای جذب یون مس در $120\ C^{\circ}$ و بازه ۹۰ دقیقه در غلظتهای مختلف 0.1–1.2 اسیدسیتریک و 0.1 N سود بررسی گردید که گنجایشی بین 0.68–2.44 m moles/g داشتند که بسیار از پوست سویا خام (0.39 m moles/g) عملکرد بهتری داشت. پوست لوبیا اصلاح شده با سدیم هیدروکسید و تعدیل شده با سیتریک اسید با غلظت 0.6M به جذب 1.7 m moles Cu^{2+}/g hulls می‌رسد.[۱۲]

طبق آزمایشات ظرفیت جذب Zn (II) برای جاذب‌های ذکرشده به قرار زیراست:

باگاس نیشکر > سبوس برنج > پوست دانه کتان> پوست لوبیا

پوسته هایی که با NaOH یا HCl شسته شدند نسبت به شست‌وشو با آب جذب بالاتری داشتند، دانه پنبه و پوست سویا حرارت‌داده‌شده جذب کمتری از خود نشان دادند و احیا جاذب و دوباره استفاده کردن از آن قدرت جذب را به شدت کاهش داد پس می‌توان گفت این جاذب‌ها یک بار مصرف‌اند.[۱۳] به طور خلاصه برخی از جاذب‌ها و میزان جذب نیکل و جیوه را در آنها مشاهده می‌کنید.[۱۴]

Table 5. Other types of agricultural wastes as adsorbent for heavy metal

Sources	Adsorbent	Heavy metal removal efficiency (%)				
		Cr(VI)	Ni(II)	Cu(II)	Hg(II)	Pb(II)
[15]	Silk cotton carbon	-	64	-	100	-
	Coconut tree sawdust carbon	-	84.3	-	100	-
	Sago waste carbon	-	100	-	100	-
	Maize cob carbon	-	100	-	100	-
	Banana pitch carbon	-	96.40	-	100	-
[17]	Coconut husk	> 80	-	-	-	-
	Palm pressed fibre	> 80	-	-	-	-
[31]	Sago waste	-	-	> 75	-	> 95

جدول ۲ - بررسی انواع جاذب ها در جذب Cr,Ni,Cu,Hg وPb

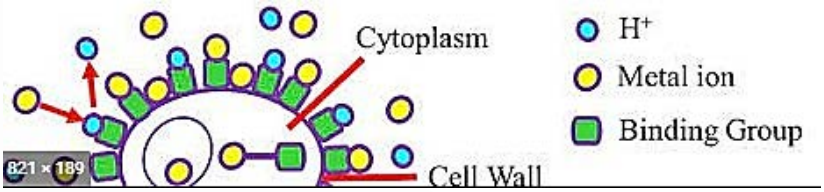
استفاده از جلبک:

جلبکها چندین کاربرد صنعتی خصوصا برای ایجاد سوختهای زیستی دارند، درکنار این فعالیت‌ها تصفیه پساب و حفظ محیط زیست از دیگر کاربرد جلبک‌ها می‌باشد. بررسی ساختار سلولی، اصلاح و تغییر ژنتیکی برای بهبود جذب بیولوژیکی مورد بررسی واقع شده‌است. مواردی نظیر غلظت بیومس، غلظت یون اولیه موجود در محیط، دما، pH، تاثیر سایز یون‌های حاضر از پارامترهای موثر بر جذب جلبکها هستند. جلبک در فرآیند جذب بیولوژیکی یونهای سمی و رادیواکتیو روشی ارزان، امن و پربازده است؛ همچنین عناصر ارزشمندی مانند طلا و نقره توسط آن قابل استخراج هستند.[۱۵]

با توجه به آمار جهانی ۲۲٪ از آبهای آلوده دارای منشا صنعتی، ۸٪حاصل مصرف خانگی و ۷۰٪ ناشی از فعالیت‌های کشاورزی اند. در سلولهای جلبک زنده توانایی تصفیه پساب وابسته به سرعت رشد، غلظت بیومس و ظرفیت جاذب است. گزارشات کمی از استفاده جلبک زنده وجود دارد چون زندگی جلبک بسیار تحت تاثیر شرایط محیطی است. جذب یونهای سنگین در گونه زنده بسیار پیچیده‌تر می‌باشد زیرا جذب در فاز رشد اتفاق می‌افتد و درون‌سلولی است. در مقابل جلبک‌های غیرزنده یون‌ها را روی سطح خود جذب می‌کنند و فرآیند برون‌سلولی محسوب می‌شود که راحت‌تر کنترل و بهینه می‌گردد.[۱۵]

ظرفیت گونه‌های ماکروجلبک طبق ترتیب زیر برای جذب مس گزارش شده‌اند:[۱۶]

Fucus spiralis > Ascophyllum nodosum > Chondrus crispus > Asparagopsis armata > Spirogyra in- signis > Codium ver- milara



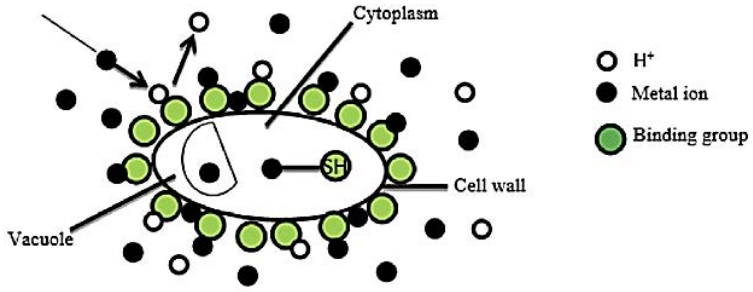
شکل ۷ - نمایی از جذب بیولوژیکی جلبک

بنابر مقاله‌های پژوهشی و مروری، بالاترین نرخ جذب جلبک‌ها درpH بین ۳ و ۵ اتفاق می‌افتد (زیرا میزان اسیدیته محیط بر باندهای سطحی یون و بیومس و ساختار شیمیایی یون‌ها موثر است) و بیومس

خشک‌شده جلبک ظرفیت بسیار بالاتری دارد و در ۱۲۰ دقیقه اول بخش عمده جذب صورت خواهدگرفت.

تجمع فلزات سنگین در میکروارگانیسم‌ها عمدتا در دو فاز صورت می‌گیرد؛ فاز اول در سطح سلول اتفاق می‌افتد که جذبی سریع و غیرفعال است و تماما به متابولیسم سلول وابسته می‌باشد، فاز دوم جذب فعال یون‌ها به درون سیتوپلاسم سلول جلبک که به متابولیسم سلول وابسته است و عنوان دیگر آن جذب درون سلولی نام دارد[۱۵].

جذب فلزات سنگین با گروههایی نظیر هیدروکسیل، فسفوریل، کربوکسیل، سولفوریل، آمینی، سولفاته، فسفاته و کربوهیدراته روی سطح جلبک صورت می‌گیرد. در دسترس بودن سایت‌های فعال جلبک از طریق آزمایش FTIR مشخص می‌شود. همچنین میزان جذب به تعداد گروههای موثر در سلول‌های جلبک، در دسترس بودنشان، جهت‌گیری یون‌های فلزی و وضعیت شیمیایی سایت‌های فعال بستگی دارد. معمولا گروههای عاملی (OH^-) PO_4^{2-}, COO^-, SH^-, RO, RS^-, RNH_2^-, NO_3^-) بار منفی روی سطح ایجاد می‌کنند این پیوندها در سیتوپلاسم سلول خصوصا واکوئل قرار دارند و جذب را بهبود می‌بخشند. در شکل زیر این موضوع نشان داده‌شده است:[۱۷]



شکل ۸ – جذب عناصر فلزی روی سطح سلول جلبک

پروتئین های سیتوپلیک انتقال دهنده یون‌ها به درون سلول می‌باشند بنابراین واکوئل اندامکی جهت انباشته کردن یون‌های فلزی است. طبق جدول زیر لیگاندهای مخصوص جذب هر یون را مشاهده می‌کنید:

Ligand class	Ligands	Metal classes
I: ligands Preferred to Class A	F^-, O^{2-}, OH^-, H_2O, CO_3^{2-}, SO_4^- $ROSO_3^-$, NO_3^-, HPO_4^{2-}, PO_4^{3-}, ROH $RCOO^-$, C=O, ROR	Class A: Li, Be, Na, Mg, K, Ca, Sc, Rb, Sr, Y, Cs, Ba, La, Fr, Ra, Ac, Al, Lanthanides, actinides
II: Other Important ligands	Cl^-, Br^-, N_3^-, NO_2^-, SO_3^{2-}, NH_3, N_2, RNH_2, R_2NH, R_3N, =N–, –CO–N– R, O_2, O_2^-, O_2^{2-}	Borderline ions: Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Cd, In, SN, Sb, As
III: Ligands Preferred to Class B	H^-, I^-, R^-, CN^-, CO, S^{2-}, RS^-, R_2S, R_3AS	Class B: Rh, Pd, Ag, Lr, Pt, Au, Hg, Ti, Pb, Bi

سلول های دیواره جلبک اولین مانع در برابر جذب هستند، و باتوجه به فراوانی ترکیبات دیواره سلولی در انواع سویه های جلبکی[1] ظرفیت برای جذب فلزات متفاوت خواهد بود. با توجه به تحقیقات، جلبک قهوه‌ای[2] جاذب بسیار خوبی در این حوزه است.[۱۵]

استفاده از جلبک اصلاح شده (Metal ion sorption by pretreated algae biomass) :

با انواع روشهای فیزیکی و شیمیایی میتوان قدرت و تعداد سایتهای فعال جلبک را افزایش داد. روشهای بهبود فیزیکی مثل گرم کردن، جوشاندن، خرد کردن، یخ زدن و خشک کردن معمولا جذب بیولوژیک را افزایش می‌دهد چون سطح بیشتری برای اتصال پیوندها فراهم می‌کنند و همچنین خارج کردن محتویات سلول امکان ایجاد

1 Algal Strains
2 Brown Algae

پیوندهای فلزی را افزایش می‌دهد. معروف‌ترین اصلاحات شیمیایی با فرمالدهید، $CaCl_2$، NaOH، HCl و گلوتارآلدئید می‌باشند که تاثیر آن‌ها را درجدول زیر قابل مشاهده است.[۱۵]

اصلاح شیمیایی	تاثیر آن در فرآیند جذب بیولوژیک
$CaCl_2$	با اتصال کلسیم به جلبک تبادل یونی قوی‌تر می‌گردد.
فرمالدئید	باعث تقویت کراس‌لینک بین گروههای موثر (خصوصا هیدروکسیل و آمینی) می‌شود.
NaOH	فعل و انفعالات الکترواستاتیکی را افزایش داده و شرایط بهتری برای تبادل یونی ایجاد می‌کند.
HCl	یونهای فلزات سبک را با یک پروتون جایگزین می‌کند و پلی‌ساکاریدهای دیواره سلول را حل می‌کند.

جدول ۴ - تاثیر انواع اصلاحات شیمیایی بر جذب جلبک

جلبکهای میکرو یا ماکرو (Macro vs micro algae):

شکل ۹ - استفاده از جلبک به عنوان جاذب

جلبک‌های دریایی و سبز[۳] و قهوه‌ای و مشتقات آن‌ها قدرت جذب بالایی برای اکثر فلزات دارند. ظرفیت جذب جلبک قهوه‌ای مستقیما مرتبط است با محتوای جلبکی[۴]،در دسترس بودن و ساختار کلان مولکولی[۵] خاص آن.

قدرت جذب بیومس جلبک Sargassum برای یونهای Cd^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} وCu^{2+} به ترتیب ۷۹، ۲۲۷،۷۸ و ۵۱ میلی گرم بر گرم می‌باشد. دو جلبک رشته‌ای Spirogyra و Cladophora برای جذب سرب و مس بررسی شدند و قدرت جذب Spirogyra بالاتر بود. جلبک‌های میکرو در تصفیه پیش‌قدم‌اند زیرا در کنار جذب بیولوژیک عناصر سنگین، نیتروژن‌زدایی[۶]، فسفرزدایی[۷] و کاهش COD[۸] را نیز به خوبی انجام می‌دهند.[۱۵]

جلبک‌های زنده یا غیر زنده (Living vs non-living algae) :

در این خصوص قبلا مواردی را ذکر کردیم اما برای توضیح بیشتر بازده و قابلیت اجرای این دو گونه را بحث می‌کنیم. یک مزیت بزرگ جلبک‌های غیر زنده امکان استفاده مجدد از بیومس[۹] است که می‌توان از آب دی‌یونیزه‌شده استفاده کرد درحالی که جلبک زنده مقاومت کمی در برابر احیا دارد. یک مزیت دیگر جلبک غیرزنده سهولت استفاده در اصلاح فیزیکی و شیمیایی و عدم نیاز به اضافه کردن مواد مغذی به داخل محیط است. ممکن است در اثر رشد جلبک زنده مواد حاصل از متابولیسم آن در روند جذب اختلال ایجاد کنند. تنها مزیت جلبکهای زنده قدرت جذب

3 Seaweed, Green Macro-Algae
4 Alginate Content
5 Specific Macromolecular Conformation
6 Denitrification
7 Dephosphorylation
8 Chemical Oxygen Demand (COD) Reduction
9 Recycle

بالاتر و جذب طیف وسیعی از عناصر می‌باشد.[۱۵]

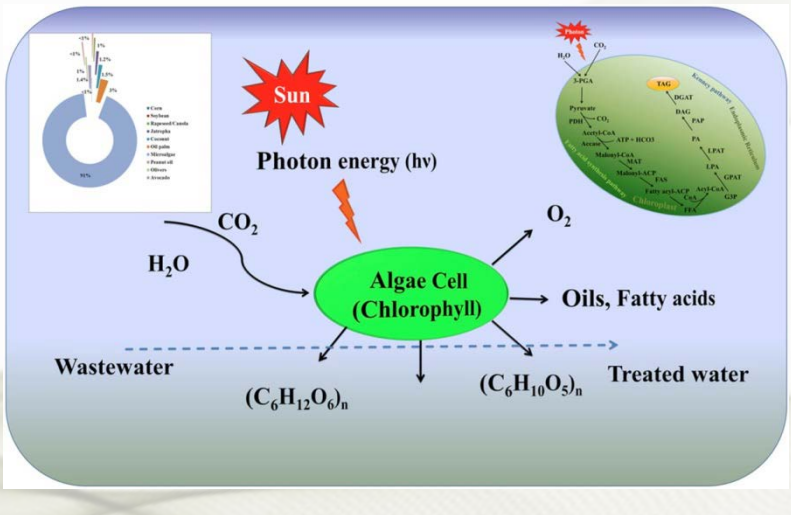
جلبک‌های ساکن (Immobilized algae) :

روشهای لخته‌سازی، جذب سطحی، ایجاد پیوند کوالانسی با حامل‌ها، باندهای عرضی جلبک‌ها و گیرانداختن جلبک در شبکه پلیمری از روش‌های ساکن‌سازی جلبک هستند. بیوپلیمرهای طبیعی مانند آگار و آلژینیت یا مواد سنتزشده مثل سیلیکاژل و پلی‌آکریل‌آمید می‌توانند به عنوان مواد پایه استفاده شوند.

پلیمرهای طبیعی مانند کلسیم آلجینیت به علت غیرسمی بودن استفاده گستردهای درایجاد بستر ساکن برای جلبک‌ها دارند. از میان پلیمرهای سنتزی پلی‌آکریل‌آمید بیشترین استفاده را دارد زیرا مقاومت خوبی را داراست و محیط سمی ایجاد نمی‌کند و نسبتا ارزانتر است.[۱۸]

تلفیق تصفیه پساب با ایجاد سوخت (Coupling wastewater treatment and biofuel pro-duction) :

هزینه فرآیند ایجاد و نگهداری سوخت زیستی حاصل از بیومس جاذب بسیار کاهش می‌یابد، تصفیه فاضلاب هیبریدی و کشت جلبک ۲۰-۲۵٪ در هزینه انرژی صرفه‌جویی می‌کند چون هزینه آب تمیز و مواد مغذی حذف می‌شوند. ترکیب کردن جذب بیولوژیکی و تولید سوخت روشی برای مقابله با آلودگی صنعتی و ایجاد انرژی تجدیدپذیر است. ایجاد محصولات جانبی باارزش مثل بایواتانول و بایودیزل و موادبایواکتیو از مزایای دیگر جذب بیولوژیکی است. [۱۵]



شکل ۱۰ - تلفیق جذب بیولوژیکی جلبک با ایجاد سوخت

بررسی کربن فعال به عنوان جاذب اثبات‌شده (heavy metal adsorption on activated carbon) :

کربن فعال یک جاذب موثر برای حذف مواد آلی از آب است، کربن فعال به دو دسته کلی به نام های گروه L و H تقسیم می‌شود. کربن L جامد اسیدی قویتری نسبت به H است.[۱۹]

چگالی جذب گونه‌های مختلف مواد غیرآلی بسیار به pH وابسته است. برای یون‌های فلزی کاتیونی، میزان

جذب به طور ناگهانی در مقادیر pH خاصی افزایش می‌یابد(pH_{abr}[10]). در مورد جذب آنیونی ، میزان جذب در مقدار pH پایین تقریباً ۱۰۰٪ است و با افزایش pH کاهش می‌یابد.[۱۹] [۲۰]

جذب کربن فعال حاصل از پوست نارگیل (Heavy metal removal by Activated Carbon Pre-pared from Coconut Shell) :

کربن فعال حاصل از پوسته نارگیل برای جذب مس، آهن، روی و سرب موجود در فاضلاب صنعتی به کار می‌رود. کربن فعال نام‌برده به وسیله کلرید روی بهبود شیمیایی پیدا می‌کند. بهترین مقدار جاذب، سرعت چرخش شیکر، و pH به ترتیب؛ ۱گرم، ۳۵۰ rpm ، و ۶ pH است. نحوه ایجاد کربن فعال از پوسته نارگیل نیز در این مقاله بیان شده که با توجه به عدم ارتباط به موضوع تحقیق از ذکر آن صرف‌نظر می‌کنیم.[۲۱]

آزمایش در فلاسک‌های مخروطی ۱۰۰mL، با نمونه‌هایی به حجم ۵۰mL ، با وجود ۰/۲g کربن فعال صورت گرفت. این آزمایش در دمای اتاق و شیکر ۱۵۰rpm در ۱۲۰ دقیقه (برای اطمینان از تعادل) صورت گرفت. از کاغذ صافی Whatman برای فیلتر کردن نمونه‌ها استفاده شد و برای قرائت توسط دستگاه جذب اتمی آماده گردید.[۲۱]

- ✓ برای پی‌بردن به اثر زمان بعد از گذشت ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ دقیقه نمونه برداری صورت می‌گیرد.
- ✓ برای پی‌بردن به اثر مقدار جاذب از ۰/۲-۱گرم کربن فعال در نمونه‌هایی با حجم ۵۰ml و با زمان تماس ۸۰min و دور۱۵۰ rpm و دمای اتاق و pH اولیه۲ آزمایشات صورت می‌گیرد.
- ✓ برای پی بردن به تاثیر pH، ۵۰mL نمونه آبی را در فلاسک۲۵۰ mL با ۱g کربن فعال در محدوده pH ۲-۶ (تنظیم با کمک از HCl و NaOH) بررسی می‌کنیم. بازه تماس ۱h و دور شیکر ۱۵۰rpm است.
- ✓ برای پی بردن به تاثیر سرعت هم زدن، ۱ گرم جاذب و ۵۰mL نمونه به مدت ۸۰min و در دمای اتاق و pH برابر ۶ در دورهای متفاوت بین ۱۵۰rpm-۳۵۰ بررسی می‌شود.

10 Abrupt Increase In pH

نتیجه گیری:

وجود عناصر سنگین حاصل از پساب کارخانه‌ها و صنایع تاثیر مخرب شدیدی بر ساختمان موجودات زنده و عملکرد آنها دارد، این عناصر در انسان باعث بروز انواع بیماری‌های سخت کلیوی، عصبی، ژنتیکی و انواع سرطان می‌گردد پس جذب آن‌ها از پساب‌های آلوده حائز اهمیت است. جذب عناصر سنگین به کمک ضایعات کشاورزی (چون پوست میوه‌ها، تفاله چای، کاه برنج و گندم، دوده و کربن فعال حاصل از گیاهان سخت، و دور ریز صنایع کشاورزی) و همچنین جلبکها به علت دردسترس بودن، هزینه بسیار پایین و تاثیر قابل توجه بر حذف آلاینده‌ها روشی مناسب و پربازده و مفید در این حوزه است.

منابع:

[1] D. Sud, G. Mahajan, and M. P. Kaur, "Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions – A review," Bioresource Technology, vol. 99, no. 14. pp. 6017–6027, 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.11.064.

[2] J.L.Gardea-TorresdeyJ.H.GonzalezK.J.TiemannO. RodriguezG.Gamez, "Phytofiltration of hazardous cadmium, chromium, lead and zinc ions by biomass of Medicago sativa (Alfalfa)," J. Hazard. Mater., vol. 57, p. Pages 29–39, 1998, [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/S0304-3894(97)00072-1.

[3] Agency for Toxic Substances and Disease Registry, "Toxicological profile for 1,4-dioxane," 2012. Accessed: Apr. 16, 2021. [Online]. Available: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp187.pdf.

[4] S. H. & S. B. Masumeh Farasati, "Cd removal from aqueous solution using agricultural wastes." Desalination and Water Treatment, Campus of Agriculture and Natural Resources, Razi University, Kermanshah, Iran, doi: 10.1080/19443994.2015.1043588.

[5] R. Lakshmipathy, N. C. Sarada, and N. Jayaprakash, "Agricultural wastes as low cost adsorbents for sequestration of heavy metal ions and synthetic dyes from aqueous solution: A mini review," International Journal of ChemTech Research, vol. 8, no. 5. pp. 25–31, 2015.

[6] S. I. and P. S. Nasim Ahmad Khan, "Elimination of Heavy Metals from Wastewater Using Agricultural Wastes as Adsorbents." Malaysian Journal of Science, 2004.

[7] Kinetic model for lead(II) sorption on to peat, "Kinetic model for lead(II) sorption on to peat," Adsorpt. Sci. Technol., pp. 243–255, 1998, doi: http://hdl.handle.net/1783.1/25059.

[8] S. D. Khattri & M. K. Singh, "Colour Removal from Synthetic Dye Wastewater Using a Bioadsorbent," Water, Air, Soil Pollut., pp. 283–294, 2000, doi: 10.1023/A:1005207803041.

[9] S. D. Namasivayam C, "Recycling of agricultural solid waste, coirpith: removal of anions, heavy metals, organics and dyes from water by adsorption onto ZnCl2 activated coirpith carbon.," J. Hazard. Mater., pp. 449–452, 2006, doi: 10.1016/j.jhazmat.2005.11.066.

[10] S. M. Khattri SD, "Colour removal from dye wastewater using sugar cane dust as an adsorbent.," Adsorpt. Sci. Technol., vol. 17, pp. 269–282, 1999.

[11] B. A. Schiewer S, "Biosorption of Pb2+ by original and protonated citrus peels: Equilibrium, kinetics, and mechanism.," Chem. Eng. J., pp. 211–219, 2009, [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/j.cej.2008.05.034.

[12] W.EMarshallL.HWartelleD.EBolerM.MJohnsC. AToles, "Enhanced metal adsorption by soybean hulls modified with citric acid," Bioresour. Technol., vol. 69, pp. 263–268, 1999, [Online]. Available: https://doi.org/10.1016/S0960-8524(98)00185-0.

[13] M. M. Marshall, W.E., and Johns, "Agricultural By-products as Metal Adsorbents: Sorption Properties and Resistance to Mechanical Abrasion.," J. Technol. Biotechnol., vol. 66, pp. 192–198, 1996.

[14] S. P. K Kadirvelu 1, M Kavipriya, C Karthika, M Radhika, N Vennilamani, "Utilization of various agricultural wastes for activated carbon preparation and application for the removal of dyes and metal ions from aqueous solutions," Bioresour Technol., 2003, doi: 10.1016/s0960-8524(02)00201-8.

[15] A. K. Zeraatkar, H. Ahmadzadeh, A. F. Talebi, N. R. Moheimani, and M. P. McHenry, "Potential use of algae for heavy metal bioremediation, a critical review," Journal of Environmental Management, vol. 181. Academic Press, pp. 817–831, Oct. 01, 2016, doi:

.10.1016/j.jenvman.2016.06.059

[16] W. D. Zeyu Lin, Jing Li, Yaning Luan, "Application of algae for heavy metal adsorption: A 20-year meta-analysis." Ecotoxicology and Environmental Safety, College of Forestry, Beijing Forestry University, Beijing, 100083, China, .2020

[17] T. A. Davis, B. Volesky, and A. Mucci, "A review of the biochemistry of heavy metal biosorption by brown algae," .Water Research, vol. 37, no. 18. pp. 4311-4330, 2003, doi: 10.1016/S0043-1354(03)00293-8

[18] J. P. C. Jinsong He, "A comprehensive review on biosorption of heavy metals by algal biomass: Materials, performances, chemistry, and modeling simulation tools." Bioresource Technology journal, Department of Civil and Environmental Engineering, National University of Singapore, 10 Kent Ridge Crescent, Singapore 119260, Singa- .pore, pp. 67-78, 2014

[19] M. O. Corapcioglu and C. P. Huang, "The adsorption of heavy metals onto hydrous activated carbon," Water .Research, vol. 21, no. 9. pp. 1031-1044, 1987, doi: 10.1016/0043-1354(87)90024-8

[20] K. Kadirvelu, K. Thamaraiselvi, and C. Namasivayam, "Removal of heavy metals from industrial wastewaters by adsorption onto activated carbon prepared from an agricultural solid waste," Bioresource Technology, vol. 76, .no. 1. pp. 63-65, 2001, doi: 10.1016/S0960-8524(00)00072-9

[21] J. A. and O. J. O. Bernard E., "Heavy Metals Removal from Industrial Wastewater by Activated Carbon Prepared from Coconut Shell." Research Journal of Chemical Sciences, Department of Chemical Engineering, Federal .University of Technology, P.M.B. 65, Minna, NIGERIA, 2013