

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

۳۱۲۱۶



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی شیمی

۱۳۷۹ / ۰۳ / ۲۱

بررسی جذب میکروبی پساب صنایع آبکاری

شاهین عزیز محمد

۷۱۵۸

پایان نامه برای دریافت کارشناسی درجه کارشناسی ارشد
در مهندسی شیمی (بیوتکنولوژی)

استاد راهنما:

دکتر مهناز مظاهری اسدی، دکتر خسرو رستمی

پائیز ۱۳۷۸

۳۱۲۱۶

چکیده

دغدغه حفظ محیط زیست امروزه نگرانی هر انسان متمدن می باشد. انباشت مواد آلاینده در محیط زیست یکی از موارد متعددی است که بر روی اکوسیستم اثرات مخربی دارد. این نوع آلاینده ها شامل فلزات سنگین، مواد آلی، مواد معدنی، پسماندهای هسته ای می باشند که در این میان فلزات سنگین نقش قابل ملاحظه ای در آلودگی محیط زیست دارند. این فلزات شامل کروم، کادمیم، وانادیم، نیکل، روی، مس و ... می باشند که هر یک اثرات مخرب خاص خود را بر محیط زیست دارند. منابع بوجود آورنده این مواد عمدتاً صنایع می باشند. امروزه برای تصفیه این مواد عمدتاً از روشهای شیمیایی ترسیب و یا تعویض یونی استفاده می شود اما تحقیقاتی برای بدست آوردن روشهای ارزاتر و با بازدهی بالاتر در حال انجام می باشند. این تحقیق بر روی جذب میکروبی یون فلزی کروم موجود در پساب آبکاری کارخانه ایران دو چرخ انجام گردیده است. که در آن از سوش *Rhizopus arrhizus* استفاده گردیده است. در این روش از توده سلولی بعنوان یک جاذب استفاده می شود شرایط بهینه موضعی بدست آمده در

این تحقیق عبارتست از:

$$\text{pH} \approx 1$$

$$T = 30^{\circ}\text{C}$$

۳- درصد گلوکز معادل ۱٪

۴- منبع نیتروژنی سولفات آمونیوم

۵- دور هم زن ۱۵۰ دور در دقیقه

۶- میزان هوادهی ۲۷۷ml

فصل ۱ تئوری	۱
۱- پساب صنایع آبکاری	۲
۱-۱ کروم	۳
۱-۱-۲ استفاده های صنعتی و منابع آلودگی	۴
۱-۱-۳ اثرات بیوشیمیائی ، سم شناسی و سمیت	۴
۱-۲ جذب فلزات سنگین به طریقه زیستی	۵
۱-۲-۱ جذب زیستی یا Biosorption	۵
۱-۲-۲ جنبه های اقتصادی و صنعتی جذب سطحی	۶
۱-۲-۳ واکنشهای شیمیائی بین میکروارگانیسم ها و فلزات	۸
۱-۲-۳-۱ تجمع داخل سلولی	۸
۱-۲-۳-۱-۱ تجمع فلزات بوسیله سلولهای در حال رشد	۱۲
۱-۲-۳-۱-۲ واکنش با دیواره سلولی	۱۲
۱-۲-۳-۱-۳ سیدروفور	۱۴
۱-۲-۳-۱-۴ فرایندهای خارج سلولی یا آبشویه میکروبی	۱۴
۱-۲-۳-۱-۵ واکنش ما بین فلز و پلیمر های خارج سلولی	۱۶
۱-۲-۳-۱-۵-۱ حذف فلزات بوسیله ملانین قارچ	۱۸
۱-۲-۳-۱-۶ تغییر شکل فلز	۱۹
۱-۲-۳-۱-۷ ته نشینی بوسیله گونه های سیتروباکتر	۲۲
۱-۲-۳-۱-۸ ته نشینی سولفیدی	۲۳
۱-۲-۴ جذب زیستی فلزات بوسیله مخمرها	۲۴
۱-۲-۵ جذب زیستی بوسیله جلبکها	۲۵
۱-۲-۶ جذب زیستی میسلیومهای قارچ	۲۷
۱-۲-۷ جذب زیستی توسط سلولهای تثبیت شده	۳۰
۱-۳ بیوراکتورهای گاز مایع با همزن مکانیکی	۳۴
۱-۳-۱ بررسی تغییرات $K_L a$ با متغیرهای عملیاتی	۳۴
۱-۳-۲ بررسی تغییرات p/v با متغیرهای عملیاتی	۴۰
۱-۳-۳ تاثیر پخش کننده های هوا و پروانه در راکتورهای همزن دار	۴۳
۱-۴ جذب سطحی	۴۸
۱-۴-۱ امکانیزم جذب	۴۸
۱-۴-۲ اتعادلای جذب	۴۹
۱-۵ ا قارچها	۵۷
۱-۵-۱ Rhizopus	۵۷
فصل دوم مواد و روشها	۶۰

۶۱	۱-۲ مواد مورد استفاده.....
۶۱	۱-۱-۲ پساب مورد استفاده.....
۶۳	۲-۲ دستگاههای مورد استفاده.....
۶۳	۱-۲-۲ مشخصات راکتور همزن دار.....
۶۴	۲-۳ میکروارگانسیم های استفاده شده.....
۶۴	۴-۲ روش نگهداری میکروارگانسیم.....
۶۵	۱-۴-۲ روش تهیه PDA جهت تهیه لوله شیب دار.....
۶۵	۵-۲ آزمایش تعیین تعداد بهینه اسپور.....
۶۶	۶-۲ روش تهیه محیط PD.....
۶۶	۱-۷-۲ روش تولید میکروارگانسیم.....
۶۶	۲-۷-۲ اندازه گیری کروم.....
۶۶	۱-۷-۲-۲ بدست آوردن منحنی استاندارد.....
۶۷	۸-۲ آزمایشات انجام شده بر روی شیکر.....
۶۷	۱-۸-۲ میزان جذب کروم چهار نمونه میکروارگانسیم.....
۶۷	۲-۸-۲ بررسی اثر منبع کربنی.....
۶۷	۳-۸-۲ بررسی اثر منبع نیتروژنی.....
۶۸	۴-۸-۲ تاثیر PH.....
۶۸	۵-۸-۲ تاثیر درجه حرارت بر روی جذب کروم.....
۶۸	۶-۸-۲ تاثیر دور شیکر.....
۶۹	۷-۸-۲ تاثیر میزان کروم.....
۶۹	۹-۲ آزمایشات انجام شده در راکتور.....
۶۹	۱-۹-۲ تاثیر PH.....
۶۹	۲-۹-۲ تاثیر منبع کربنی.....
۷۰	۳-۹-۲ تاثیر دور همزن.....
۷۰	۴-۹-۲ تاثیر میزان هوادهی.....
۷۰	۵-۹-۲ تعیین منحنی رشد.....
۷۱	۱۰-۲ آزمایشات بر روی میکروارگانسیم مرده.....
۷۱	۱-۱۰-۲ تاثیر اندازه ذرات.....
۷۱	۲-۱۰-۲ تاثیر PH.....
۷۲	فصل ۳ نتایج بحث و نتیجه گیری.....
۷۲	۱-۳ ترکیبات پساب.....
۷۲	۲-۳ انتخاب میکروارگانسیم مورد نظر برای جذب.....
۷۳	۳-۳ بدست آوردن میزان بهینه تلقیح اسپور.....

۷۳.....	۳-۴ اثر منبع کربنی.....
۷۴.....	۳-۵ اثر منبع نیتروژنی.....
۷۵.....	۳-۶ اثر PH بر جذب کروم.....
۷۵.....	۳-۶-۱ بررسی اثر PH با استفاده از شیکر.....
۷۷.....	۳-۶-۲ بررسی بر روی راکتور STR.....
۷۷.....	۳-۷ حداکثر ظرفیت جذب کروم.....
۷۸.....	۳-۸ اثر دما بر میزان جذب.....
۷۹.....	۳-۹ اثر میزان هوادهی بر جذب.....
۷۹.....	۳-۱۰ بررسی تغییرات زمانی شرایط جذب منحنی رشد در راکتور STR.....
۸۱.....	۳-۱۱ بررسی اثر تلقیح بر میزان جذب.....
۸۱.....	۳-۱۲ مطالعه سینتیک جذب.....
۸۱.....	۳-۱۲-۱ مدل فرند لیخ.....
۸۲.....	۳-۱۲-۲ مدل لانگ مایر.....
۸۳.....	۳-۱۳ بررسی جذب کروم توسط میکروارگانسیم مرده.....
۸۳.....	۳-۱۳-۱ بررسی اثر اندازه گیری ذرات.....
۸۳.....	۳-۱۳-۲ بررسی اثر PH بر جذب کروم با میکروارگانسیم مرده.....
۸۵.....	نتیجه گیری و بحث.....
۸۵.....	پیشنهادات.....

فهرست شکلها

- ۱-۲-۱ شکل شماتیک حذف فلز توسط میکروارگانیزم ۷
- ۱-۲-۲ مسیر بیوشیمیایی انتقال فلز از محیط به داخل سلول ۱۱
- ۱-۲-۳ دیواره سلولی *E.coli* ۱۳
- ۱-۲-۴ سیدروفور ۱۵
- ۱-۲-۵ حرکت جیوه در محیط زیست ۲۰
- ۱-۲-۶ غیر سمی کردن واحیاء جیوه ۲۱
- ۱-۲-۷ جذب وسیله باکتریهای احیاکننده سولفات ۲۴
- ۱-۲-۸ ساختمان شیمیایی بعضی ترکیبات دیواره سلولی قارچها ۲۸
- ۱-۲-۹ ساختمان زنجیره ای پروتئین های دیواره سلولی قارچ ۲۹
- ۱-۳-۱ پروانه vandisc ۳۵
- ۱-۳-۲ پروانه paddle ۳۵
- ۱-۳-۳ راکتور با پروانه دلتا ۳۶
- ۱-۳-۴ تأثیر انواع مختلف هم زن روی ضریب انتقال جرم ۳۷
- ۱-۳-۵ راندمان هوادهی در تماس دهنده های گاز مایع ۳۹
- ۱-۳-۶ تغییر عدد توان با سرعت پروانه در سیستم گاز مایع ۴۳
- ۱-۳-۷ مدلهای جریان پراکندگی گاز مایع برای پخش کننده نزدیک پروانه ۴۴
- ۱-۳-۸ مدلهای جریان پراکندگی گاز مایع برای پخش کننده دور از پروانه ۴۵
- ۱-۳-۹ مدلهای جریان پراکندگی گاز مایع برای پخش کننده بالای پروانه ۴۶
- ۱-۳-۱۰ مدلهای جریان پراکندگی گاز مایع برای پخش کننده حلقوی بزرگ ۴۶
- ۱-۴-۱ ایزوترم انواع جذب ۴۸
- ۱-۴-۲ ایزوترم تعادلی جذب لانگ مایر ۵۱
- ۱-۴-۳ ایزوترم خطی جذب لانگ مایر ۵۲
- ۱-۴-۴ 'ایزوترم مدل BET ۵۳
- ۱-۴-۵ ایزوترم خطی تعادلی BET ۵۴
- ۱-۴-۶ ایزوترم جذب فرندلیخ ۵۵
- ۱-۴-۷ مدل خطی ایزوترم جذب فرندلیخ ۵۶
- ۱-۵-۱ قسمتی از میسلیوم *Rhizopous* ۵۸
- ۱-۵-۲ قسمتی از دیواره سلولی بعد از جذب توربوم ۵۹
- ۳-۱ اثر تلیخ بر میزان توده سلولی ۷۳
- ۳-۲ اثر منبع کربنی بر جذب کروم ۷۴
- ۳-۳ اثر منبع نیتروزنی ۷۵
- ۳-۴ اثر pH بر جذب کروم در مقیاس آزمایشگاهی ۷۶

۷۶.....	۳-۵ اثر pH بر تولید توده سلولی
۷۷.....	۳-۶ اثر pH بر جذب کروم در راکتور STR
۷۸.....	۳-۷ بررسی حداکثر توانائی جذب
۷۸.....	۳-۸ اثرات دما بر میزان جذب
۷۹.....	۳-۹ اثر میزان هوادهی بر میزان جذب
۸۰.....	۳-۱۰ تغییرات زمانی pH توده سلولی و جذب کروم
۸۱.....	۳-۱۱ اثر میزان تلقیح بر جذب
۸۲.....	۳-۱۲ همدمای جذب کروم در مدل فرندلیخ
۸۳.....	۳-۱۳ همدمای جذب کروم در مدل لانگ مایر
۸۳.....	۳-۱۴ بررسی اثر اندازه ذره بر جذب کروم
۸۴.....	۳-۱۵ تاثیر pH بر جذب کروم
۸۵.....	۳-۱۶ تغییرات زمانی pH برای دمای ۲۵ درجه سانتیگراد
۸۵.....	۳-۱۷ تغییرات زمانی pH برای میزان دور ۲۰۰ دور بر دقیقه

لیست جداول

۲.....	۱-۱ مقادیر مجاز مواد موجود در پساب
۳۱.....	۱-۲-۱ معایب و مزایای حذف فلز بوسیله سلول زنده
۳۲.....	۱-۲-۲ معایب و مزایای حذف فلز بوسیله سلول مرده
۵۲.....	۱-۴-۱ ارتباط مقدار RL و شکل ایزوترم جذب
۵۶.....	۱-۴-۲ ارتباط مقدار n با شکل ایزوترم
۶۱.....	۲-۱ آنالیز پساب کارخانه ایران دوچرخ
۷۲.....	۳-۱ میزان جذب و توده سلولی گونه های مختلف

فصل اول

تئوری

۱- پساب صنایع آبکاری

پساب صنایع عمدتاً "به سه گروه سیانیدها، اکسیدهای کروم و فلزات سنگین تقسیم می شود. حد مجاز برخی از این مواد موجود در پساب که از طرف سازمان محیط زیست اعلام گردیده است، بشرح زیر می باشد.

مواد آلوده کننده	جهت تخلیه به آبهای سطحی	جهت مصرف کشتا و رزی و آبیاری	جهت تخلیه به جا
آهن	۳	۵	۰/۵
کروم	۱	۱	۱
روی	۲	۲	۲
روغن و چربی	۱۰	۱۰	۱۰
مس	۱	۱	۱
سیانور	۰/۰۲	۰/۰۲	۰/۰۲
نیکل	۱	۱	۱

جدول ۱-۱ مقادیر بر حسب mg/L می باشد.

هر گروه از پسابهای فوق در زیر بررسی می گردد.

الف - پساب سیانیدی

این پساب عمدتاً "با شستشوی قطعات آبکاری شده که از حمامهای آبکاری بیرون آمده اند بوجود می آید. برای تصفیه این پساب از فرایند کلریناسیون بوسیله کلر گازی و یا هیپو کلریت سدیم استفاده می گردد در طی این فرایند سیانید به نیتروژن و دی اکسید کربن تبدیل خواهد شد.

ب- پساب کروم

کروم که بصورت اسید کرومیک می باشد از مرحله شستشو در فرایند آبکاری کروم بدست می آید. اسید کرومیک ترکیبی است که از کروم شش ظرفیتی تشکیل شده است و حتی در شرایط قلیائی هم نمی تواند هیدروکسید تولید نماید. بنابراین جهت بازیابی کروم به روش شیمیائی ابتدا باید کروم شش ظرفیتی به کروم سه

ظرفیتی تبدیل شود و از آنجائیکه اسید کرومیک در حالت اسیدی دارای قدرت اکسید کننده می باشد این کار با افزایش مواد کاهنده ای همانند دی اکسید گوگرد ، بی سولفیت سدیم ، هیپوسولفات سدیم انجام می گیرد .

ج- فلزات سنگین

این پساب از مراحل مختلف آبکاری نهایی بدست می آید و ممکن است شامل یونهای روی ، نیکل ، مس و کادمیم و ... باشد .

در روش شیمیایی با استفاده از تنظیم pH یونهای فلزی بصورت نمکهای هیدروکسید جدا سازی می شود . در این تحقیق بررسی ها بر روی جذب میکروبی پساب نوع دوم انجام گردیده است .

۱-۱- کروم

تا حدود ۴۰ سال پیش توجه اساسی به کروم بخاطر اثرات سمی آن بود . اگر چه امروزه می دانیم که این عنصر برای متابولیسم طبیعی ذخیره گلوکز در انسان بسیار حیاتی می باشد . شاید Cr (III) بعنوان کوفاکتور با انسولین در سلولها با ایجاد کمپلکس سه گانه بین سایتهای غشایی و انسولین و کروم عمل می کند . غلظت کروم در خون طبیعی $0.5-5 \mu\text{g l}^{-1}$ می باشد . مقادیر کروم در تمام بافتها با افزایش سن کاهش پیدا می کند .

کروم در اشکالی مثل کمپلکس با اسید نیکوتینیک و یا ممکن است با کمپلکس با گلیسین ، گلوتامیک اسید و سیستمین وجود دارد که در این حالت کروم بعنوان فاکتور تلورانس گلوکز **glucose tolerance factor** شناخته می شود و به این صورت کروم بهتر از حالت غیر آلی جذب می شوند . پروتئین حیوانی بهترین و قابل اطمینان ترین منبع کروم می باشد . هر دو فرم کرومهای سه گانه و شش گانه از نظر بیولوژیک مهم می باشند . کروم شش ظرفیتی سمی تر از کروم سه ظرفیتی می باشد .

کروم در پوسته کره زمین به میزان 100ppm وجود دارد . کرومیت سنگ معدنی مهم کروم است که شامل حدود ۶۸٪ اکسید کروم و ۳۲٪ اکسید آهن می باشد [۱] .

۲-۱-۱ استفاده های صنعتی و منابع آلودگی

کروم در تولید فولاد ضدزنگ و آلیاژهای دیگر کاربرد دارد. نمکهای تری اکسید آن در آبکاری کروم، جداسازی مس، عکاسی و بعنوان یک محافظ در برابر خوردگی استفاده می شود. سولفات کروم بعنوان Morclant در نساجی، دباغی چرم، در تولید لاکهای سبز رنگها، جوهرها و لعاب بکار می رود. کروم پتاسیم سولفات و اکسالات در تولید شیشه های رنگی بکار می رود. استات کروم در رنگ رزی و دباغی بکار می رود کروم همچنین در مواد منفجره و برای نگهداری چوب بکار می رود. پساب تمام صنایع بالا می توانند منبعی برای آلودگی آب بوسیله کروم باشد. لیکورهای کروم استفاده شده و پساب های دباغی به ترتیب شامل کروم به میزان 2900 - 4500 g/L و 10 - 30 mg/L می باشد. پسابهای صنایع نساجی نیز شامل کروم می باشد. پسابهای آبکاری شامل 10 - 30 mg/L کروم هستند. مواد بارور کننده همچنین بعنوان یک منبع آلودگی کروم در آب می باشد. [۱]

وجود کروم در هوا بیشتر بخاطر سوزاندن سوختهای فسیلی است که هر سال حدود ۱۴۵۰ تن کروم را وارد هوا می کنند. آلودگی خاک بوسیله کروم بخاطر دفن لجن فاضلاب و یا دفن محصولات فرعی از صنایع - کروم استیل و فرو کروم بوجود می آید. همچنین ممکن است بخاطر استفاده از بارور کننده بوجود آید. [۱]

۳-۱-۱ اثرات بیوشیمیایی، سم شناسی و سمیت

Biochemical effects, Toxicology and Toxicity

مشخص گردیده است که کروم III برای انسان و حیوانات لازم است. کروم III بمقدار کم در RNA بعضی از ارگانیسرها یافت شده است. کروم III اضافی باعث بهبود نگهداری گلوکز در بیماران دیابتی می شود اما باعث سوء تغذیه در کودکان و پیران می باشد. بسیاری از گونه های پستانداران ۱۰۰ برابر حد نرمال کروم III را بدون هیچ عوارضی تحمل می کنند. کمبود کروم باعث عدم رشد، کمی طول عمر و اختلال در متابولیسم گلوکز، لیپید و پروتئین می شود. موشهایی که با رژیم دارای مقادیر کم کروم و پروتئین تغذیه شده بودند دچار زخم قرینه چشم که باعث کاهش شفافیت می شود. تحقیقات نشان می دهد که کروم سه ظرفیتی بسیار کم (در حدود ۱٪) بدون توجه به میزان و مقدار کروم مصرف شده جذب بدن می گردد اما کروم شش ظرفیتی بهتر

جذب می شود. کروم شش ظرفیتی بسیار راحت از غشاء گلبولهای قرمز عبور می کند با هموگلوبین ترکیب می شود.

کروم شش ظرفیتی باید بسیار سمی تر از کروم سه ظرفیتی باشد. به مدت طولانی که معرض گرد کرومات بودن باعث بالا رفتن احتمال سرطان سینه می گردد. مقادیر بالای ۵۰ PPM باعث صدمه کلیه و کبد می گردد. و همچنین آلرژی در ماتیسی اختلالات مخاطی و Congunctiva و زخم معده و روده می گردد. زخمهای ناشی از کروم در نوک انگشتان، پلک چشم و ساعد می گردد. زخمها بر مخاط بینی ممکن است حتی باعث سوراخ شدن پرده بینی شود. (۱)

۱-۲ جذب فلزات سنگین به طریقه زیستی

وجود مقادیر زیاد فلزات سنگین سمی در آبهای سطحی و زیر زمینی باعث آلودگی شدید محیط زیست به خطر افتادن سلامتی موجودات زنده می شود. در این میان آلودگی آبهای آشامیدنی حائز اهمیت است. روش های حذف فلزات موجود در فاضلاب ها بسیار محدود است و کارائی لازم را ندارد. به این دلیل جذب فلزات سنگین بوسیله میکرو ارگانیسم ها مورد توجه قرار گرفته است. (۳) تعدادی از فلزات سنگین برای متابولیسم میکروارگانیسم در میزان کم حیاتی می باشند. برای مثال مس، روی و منگنز جزء عناصر اساسی " کم مقدار " برای سلول هستند بر این اساس مکانیسم های خاصی برای جذب این فلزات از محیط و انتقال آنها به داخل سلول وجود دارد. از این مکانیسم ها می توان برای جذب یا انتقال سایر فلزات به داخل سلول استفاده کرد (۶). یکی از فرایندهای مهم بیولوژی برای پاکسازی پسابهای حاوی فلزات سنگین، جذب زیستی می باشد.

۱-۲-۱ جذب زیستی یا Biosorption

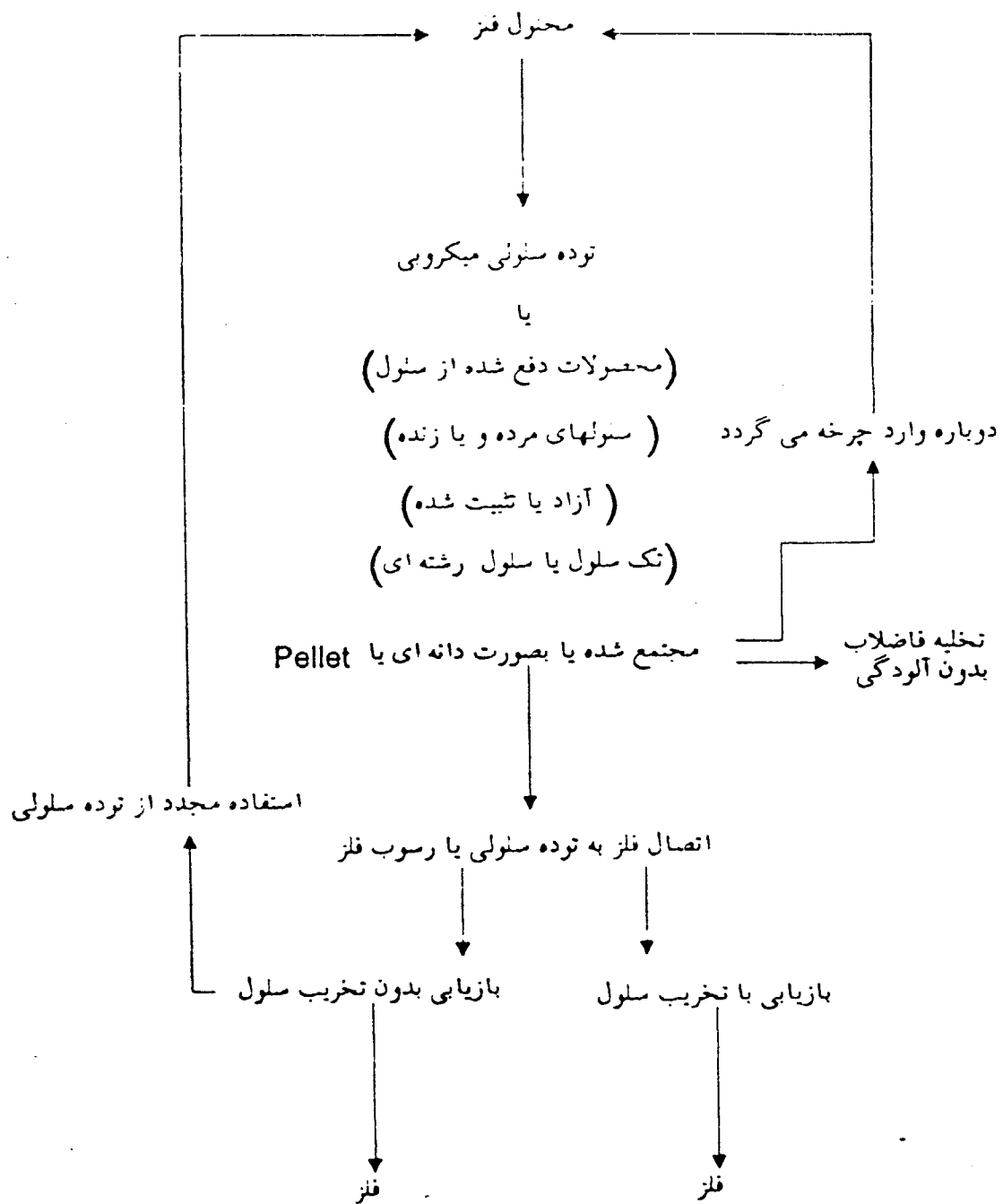
جذب زیستی یک واژه عمومی برای توضیح مکانیسم حذف فلز و ترکیبات وابسته به آنها از محلول بوسیله موجود بیولوژیک است. شمای حذف فلزات و بازیابی آنها مشاهده می شود. (شکل ۱)

اگر چه که سلولهای زنده می توانند یک نوع وسیعی از مکانیسم تجمع سلولی مثل انتقال فعال ، سنتز پروتئینهای داخل و خارج سلولی و مواد دفع شونده از سلول که با فلز کمپلکس تشکیل می دهند را از خود نشان دهند .

۲-۱-۲ جنبه های اقتصادی و صنعتی جذب سطحی

پتانسیل صنعتی جذب سطحی به فاکتور هائی مثل توان جذب و کارائی بالا انتخابی بودن ، آسان بودن باز یابی فلز ، توان استفاده مجدد از جذب کننده بستگی دارد . همچنین فرایند باید قابل مقایسه با تصفیه های فیزیکی و شیمیائی باشد و همچنین تحت تأثیر سایر ترکیبات فاضلاب ، یا شرایط محیط قرار نگیرد . اگر تصفیه بوسیله جذب زیستی بیشتر از ۹۹ درصد فلز موجود در محلول یا فاضلاب را حذف کند و یا بیشتر از ۱۵۰mg فلز در هر گرم بیوماس تثبیت شود این فرایند کاملاً اقتصادی و موفقیت آمیز است . در خیلی از مثالها ، میکرو ارگانسیم هائی وجود دارد که این ملاک حذف را دارا هستند . از لحاظ مهندسی ، آسانی استفاده ، قابلیت فشرده شدن و هزینه پائین از نکات کلیدی هستند و همچنین قابل حمل بودن برای بعضی کاربردهای تجاری اهمیت دارد . امروزه توجه زیادی بر روی فلزاتی که از نظر اقتصادی ارزشمند هستند مثل طلا و گالیم معطوف شده است . اما فلزات ارزان قیمت مثل Cr ، Cu ، Cd ، Zn ، Pb که به مقدار زیاد به محیط زیست تخلیه می شوند نیز قابل اهمیت است .

امروزه مردم اطلاعات زیادی در زمینه آلودگی محیط زیست به فلزات سنگین و همچنین مواد رادیو نوکلئوئید که در فاضلاب نیروگاههای هسته ای وجود دارد ، دارند . جذب زیستی بهترین راه برای حذف این فلزات از فاضلابها می باشد (۱۰) .



شکل ۱-۲-۱) شکل شماتیک اساس حذف فلز و بازیابی آن از فاضلاب های آلوده به فلز بوسیله میکروارگانیسم ها

یا محصولات آن (۳)