

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی
گروه مهندسی شیمی

استفاده از نانو ذرات متخلخل سیلیکای اصلاح شده آمینه جهت حذف فلزات سنگین از پساب صنعتی

پایان نامه کارشناسی ارشد پدیده‌های انتقال

معصومه قربانی

استاد راهنما

دکتر سید مصطفی نوعی

اساتید مشاور

دکتر نوید رمضانیان

دکتر سید حسین نوعی

زمستان ۱۳۹۲

شکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام بر محمد و خاندان پاکش، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان و مدار وجودشان است. از آنجایی که تجلیل از معلم، سپاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می کند. از استاد شایسته؛ جناب دکتر سید مصطفی نوعی و جناب دکتر نوید رمضانیان که با حسن خلق راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ هم چنین از راهنمایی های جناب مهندس راجی و دوستان دلسوزم نهایت سپاس و قدردانی را دارم و در نهایت از خانواده می عزیزم، به ویژه پدر و مادر که تقدیرم به خاطر تمامی زحمات، تشویق ها و حمایت هایشان در دوران تحصیل صمیمانه شکر می کنم.

معصومه قربانی

زستان ۹۲

اینجانب معصومه قربانی دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان نامه: استفاده از نانو ذرات متخلخل سیلیکای اصلاح شده آمینه جهت حذف فلزات سنگین از پساب صنعتی، تحت راهنمایی آقای دکتر سید مصطفی نوعی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد و مقالات مستخرج با نام دانشگاه فردوسی مشهد و یا Ferdowsi University of Mashhad به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در بدست آوردن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) متعلق به دانشگاه فردوسی مشهد می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر گردد.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

تاریخ

امضای دانشجو

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

والدینی که بود نشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم چرا
که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن
را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	چکیده
فصل اول : مقدمه	
۲	۱-۱- مقدمه
۴	۲-۱- پساب
۴	۱-۲-۱- تعریف پساب
۴	۲-۲-۱- انواع پساب
۴	۳-۲-۱- انواع آلاینده‌های آب
۴	۴-۲-۱- ملاک‌های ارزیابی میزان آلودگی پساب‌ها
۵	۳-۱- روش‌های تصفیه پساب
۶	۱-۳-۱- روش زیستی
۶	۲-۳-۱- روش اکسایش پیشرفته
۷	۳-۳-۱- روش‌های فیزیکی - شیمیایی
۸	۴-۱- نتیجه گیری
۸	۵-۱- اهداف پایان نامه
۹	۶-۱- روش تحقیق
۹	۷-۱- سازماندهی پایان نامه
فصل دوم : لزوم جداسازی فلزات سنگین از پساب‌ها و روش‌های متداول حذف آنها	
۱۰	۱-۲- مقدمه
۱۱	۲-۲- انواع اصلی آلاینده‌های آب

- ۱۱ ۱-۲-۲- ترکیب‌های آلی مانند رنگدانه‌ها
- ۱۱ ۲-۲-۲- یون‌های فلزات واسطه و سنگین مانند سرب، نیکل، جیوه، روی، مس، کرم و کادمیوم
- ۱۱ ۲-۲-۲- الف- تعریف فلزات سنگین
- ۱۲ ۲-۲-۲- ب- اثرات زیست محیطی فلزات سنگین
- ۱۵ ۲-۲-۲- ج- منابع تولیدکننده فلزات سنگین
- ۱۶ ۳-۲- برخی از روش‌های حذف فلزات سنگین از پساب‌ها
- ۱۶ ۲-۳-۱- رسوب‌گذاری شیمیایی و فیلتراسیون
- ۱۶ ۲-۳-۲- اسمز معکوس
- ۱۷ ۲-۳-۳- تبادل یون
- ۱۷ ۲-۳-۴- فرایند جذب

فصل سوم : جذب سطحی

- ۱۹ ۳-۱- مقدمه
- ۲۰ ۳-۲- مواد متخلخل
- ۲۳ ۳-۳- ایزوترم‌های جذب سطحی
- ۲۴ ۳-۳-۱- ایزوترم لانگمویر
- ۲۷ ۳-۳-۲- ایزوترم فرنلیچ
- ۲۸ ۳-۳-۳- ایزوترم تمکین
- ۲۸ ۳-۳-۴- ایزوترم دوبینین-رادکویچ (D-R)
- ۲۹ ۳-۴- سینتیک جذب
- ۳۰ ۳-۴-۱- مدل شبه مرتبه اول
- ۳۱ ۳-۴-۲- مدل شبه مرتبه دوم
- ۳۲ ۳-۴-۳- مدل سینتیکی دواکسپونانسیلی

- ۳-۵- بررسی ترمودینامیک جذب سطحی ۳۳
- ۳-۶- پارامترهای موثر در فرایند جذب فلزات سنگین ۳۴
- ۳-۶-۱- اثر pH محلول های آبی روی جذب فلزات سنگین ۳۵
- ۳-۶-۲- اثر غلظت جاذب روی جذب فلزات سنگین ۳۵
- ۳-۶-۳- اثر زمان تماس روی جذب فلزات سنگین ۳۵
- ۳-۶-۴- اثر غلظت اولیه محلول های آبی روی جذب فلزات سنگین ۳۵
- ۳-۷- انواع جاذب های استفاده شده ۳۶
- ۳-۷-۱- کربن فعال ۳۶
- ۳-۷-۲- خاکستر ۳۷
- ۳-۷-۳- لیگنیت ۳۷
- ۳-۷-۴- مواد پلیمری ۳۸
- ۳-۷-۵- رس ها ۳۸
- ۳-۷-۶- زئولیت ها ۳۹
- ۳-۷-۷- محصولات جانبی صنایع ۳۹
- ۳-۷-۸- باطله های کشاورزی ۳۹
- ۳-۷-۹- مواد بیولوژیکی ۴۰
- ۳-۷-۱۰- سیلیکاژل ۴۰
- ۳-۸- فناوری نانو ۴۱
- ۳-۸-۱- جاذب های نانو ذره ۴۱
- ۳-۸-۲- جاذب های نانو حفره ۴۱
- ۳-۹- نانو ذرات متخلخل سیلیکایی ۴۲
- ۳-۹-۱- مزوپور سیلیکاتی MCM-41 ۴۳
- ۳-۹-۲- سنتز MCM-41 ۴۶

۴۷	..... MCM-41	۳-۹-۳	عامل دار کردن
۴۷	.....	۳-۹-۳ الف	عامل دار کردن در حین سنتز
۴۹	.....	۳-۹-۳ ب	عامل دار کردن بعد از سنتز
۵۰	..... MCM-41	۴-۹-۳	نکاتی در مورد ساختار

فصل چهارم: مواد و روش‌ها

۵۳	.....	۱-۴	مقدمه
۵۳	.....	۲-۴	مواد و وسایل آزمایش
۵۴	.....	۳-۴	سنتز MCM-41 و عامل دار کردن در حین سنتز
۵۵	.....	۴-۴	برخی تست‌های موجود روی جاذب
۵۵	.....	۱-۴-۴	آنالیز FTIR
۵۶	.....	۲-۴-۴	آنالیز BET
۵۶	.....	۳-۴-۴	آنالیز XRD
۵۷	.....	۵-۴	آزمایشات جذب
۵۷	.....	۱-۵-۴	غلظت جاذب در پساب
۵۷	.....	۲-۵-۴	آماده سازی محلول‌های استاندارد یون سرب و یون نیکل
۵۸	.....	۳-۵-۴	pH
۵۸	.....	۴-۵-۴	غلظت جاذب در محلول‌های آبی
۵۸	.....	۵-۵-۴	زمان تماس
۵۸	.....	۶-۵-۴	غلظت محلول
۵۹	.....	۶-۴	ظرفیت جذب و درصد حذف یون‌های فلزی

فصل پنجم: نتایج و بحث

.....	۱-۵	مقدمه
-------	-------	-----	-------

۶۰	..... FTIR آنالیز	۲-۵
۶۲	..... XRD آنالیز	۳-۵
۶۴	..... BET ایزوترم	۴-۵
۶۵	..... اثر غلظت جاذب‌ها بر میزان حذف فلزات سنگین پساب صنعتی	۵-۵
۶۷	..... اثر pH محلول بر میزان جذب یون‌های سرب و نیکل	۶-۵
۶۸	..... اثر غلظت جاذب بر میزان جذب یون‌های سرب و نیکل	۷-۵
۷۰	..... اثر زمان تماس بر میزان جذب یون‌های سرب و نیکل	۸-۵
۷۱	..... اثر غلظت اولیه محلول بر میزان جذب یون‌های سرب و نیکل	۹-۵
۷۲	..... مدل‌های سینتیکی	۱۰-۵
۷۳	..... مدل سینتیکی شبه مرتبه اول	۱-۱۰-۵
۷۳	..... مدل سینتیکی شبه مرتبه دوم	۲-۱۰-۵
۷۵	..... مدل سینتیکی دو اکسپونانسیلی	۳-۱۰-۵
۷۶	..... ایزوترم‌های تعادلی جذب	۱۱-۵
۷۶	..... ایزوترم هم‌دمای لانگمویر	۱-۱۱-۵
۷۷	..... ایزوترم هم‌دمای فرن‌دلیچ	۲-۱۱-۵
۷۸	..... ایزوترم هم‌دمای دو بینین-راد کویچ	۳-۱۱-۵

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۸۱	..... نتیجه‌گیری	۱-۶
۸۲	..... پیشنهادات	۲-۶
۸۳	..... مراجع	

فهرست شکل‌ها

- شکل ۳-۱. توزیع اندازه حفرات در مواد متخلخل ۲۱
- شکل ۳-۲. تقسیم بندی ایزوترم‌های جذب گاز توسط IUPAC ۲۲
- شکل ۳-۳. مکانیزم جذب گاز درون یک حفره مزوپور ۲۳
- شکل ۳-۴. اعضای M41S شامل MCM-41، MCM-48 و MCM-50 ۴۵
- شکل ۳-۵. مکانیزم تشکیل MCM-41 ۴۶
- شکل ۳-۶. روش Co-condensation (سنتر مستقیم) برای اصلاح سیلیکای خالص مزوپورس ۴۸
- شکل ۳-۷. روش Grafting (عاملدار کردن بعد از سنتر) برای اصلاح سیلیکای خالص مزوپورس ۴۹
- شکل ۵-۱. طیف FT-IR ۶۰
- شکل ۵-۲. آنالیز اندازه ذره جاذب M-APTMS ۶۲
- شکل ۵-۳. آنالیز اندازه ذره جاذب M-TMSPDETA ۶۲
- شکل ۵-۴. الگوی XRD ۶۳
- شکل ۵-۵. اندازه‌گیری مساحت سطح برای جاذب M-TMSPDETA ۶۴
- شکل ۵-۶. اثر غلظت جاذب‌ها بر میزان جذب فلزات سنگین پساب ۶۵
- شکل ۵-۷. تأثیر مقادیر pH بر میزان جذب فلزات انتخابی توسط جاذب M-TMSPDETA ۶۷
- شکل ۵-۹. اثر غلظت جاذب بر ظرفیت جذب فلزات انتخابی توسط جاذب M-TMSPDETA ۶۹
- شکل ۵-۱۰. اثر زمان تماس بر میزان جذب فلزات سنگین در pH بهینه و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد ۷۱
- شکل ۵-۱۱. اثر غلظت اولیه محلول بر میزان جذب فلزات سنگین در pH بهینه و دمای ۲۵ درجه سانتیگراد ۷۲
- شکل ۵-۱۲. نمودار حاصل از معادله شبه مرتبه اول برای حذف یون‌های سرب و نیکل از محلول آبی ۷۳
- شکل ۵-۱۳. نمودار حاصل از معادله شبه مرتبه دوم برای حذف یون‌های سرب و نیکل از محلول آبی ۷۴
- شکل ۵-۱۴. نمودار حاصل از مدل سینتیکی دو اکسپونانسیلی برای حذف یون‌های سرب و نیکل از محلول آبی ۷۵
- شکل ۵-۱۵. برازش داده‌های تعادلی با ایزوترم جذب خطی لانگمویر در دمای ۲۵ °C ۷۷

شکل ۵-۱۶- برآزش داده‌های تعادلی با ایزوترم جذب خطی فرندلیچ در دمای 25°C ۷۸

شکل ۵-۱۷- برآزش داده‌های تعادلی با ایزوترم جذب خطی دوینین-رادکویچ در دمای 25°C ۷۹

فهرست علائم اختصاری

نشانه

متغیر

q_e	میزان جذب تعادلی (mg/g)
q_t	میزان جذب زمان t (mg/g)
q_m	حداکثر میزان جذب تک لایه (mg/g)
k_L	ثابت لانگمویر (l/mg)
k_F	ثابت فرندلیچ $(\text{mg/g} \times (\text{l/mg})^n)$
n	ثابت بدون بعد فرندلیچ
k_T	ثابت ایزوترم تمکین
b_T	ثابت ایزوترم تمکین
B_{DR}	ثابت ایزوترم دو بینین-راد کویچ $(\text{mol}^2/\text{J}^2)$
ε	ثابت جذب پولانی
K_1	ثابت سرعت مدل شبه مرتبه اول (1/min)
K_2	ثابت سرعت مدل شبه مرتبه دوم (g/mg min)
D_1	ثابت مدل دواکسپونانسیلی (mg/l)
D_2	ثابت مدل دواکسپونانسیلی (mg/l)
k_{D_1}	ثابت مدل دواکسپونانسیلی (1/min)
k_{D_2}	ثابت مدل دواکسپونانسیلی (1/min)
m_{ads}	غلظت جاذب (g/l)
C_e	غلظت تعادلی جزء جذب شونده (mg/l)
C_o	حداکثر غلظت اولیه جزء جذب شونده (mg/l)
R	ثابت جهانی گازها $(8/314 \text{ J/mol} \cdot \text{K})$
ΔG^0	تغییر انرژی آزاد گیبس
V_m	حجم گاز جذب شده در تک لایه (l)

چکیده

با توجه به اهمیت بحث تصفیه و حذف فلزات سنگین از پساب صنایع مختلف و کاربرد روزافزون جاذب‌های جامد، در این مطالعه، سنتز و اصلاح سطح ماده متخلخل سیلیکاتی MCM-41 با گروه‌های آمین، همچون آمینوپروپیل‌تری‌متوکسی سیلان (APTMS) و $N-(3\text{-تری‌متوکسی‌سیلیل-پروپیل})$ دی‌اتیلن‌تری‌آمین (TMSPDETA) انجام شده است. جاذب‌ها به وسیله آنالیزهای XRD، FTIR و BET تعیین مشخصات شده‌اند. قابلیت جذب جاذب‌ها به منظور حذف فلزات سنگین سرب، نیکل، آهن، روی و کروم از پساب صنعتی باطری سازی و هم‌چنین در مقیاس آزمایشگاهی، حذف یون‌های سرب و نیکل از محلول آبی بررسی شده‌اند. با مطالعه توانایی این دو جاذب برای حذف یون‌های فلزی سمی نشان داده شده که در مقایسه با M-TMSPDETA، M-APTMS قابلیت جذب کمتری را به علت محتوای گروه‌های آمینه دارد. تأثیر شرایط آزمایشگاهی مختلف همچون زمان تماس، غلظت جاذب، غلظت اولیه محلول فلزی و pH در سیستم ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفته است. شرایط بهینه آزمایشگاهی برای جذب فلزات سرب و نیکل توسط جاذب M-TMSPDETA در دمای ۲۵ درجه سانتیگراد، زمان ۲ ساعت و pH برابر ۶ به دست آمده است.

داده‌های سینتیکی با مدل‌های سینتیکی شبه مرتبه اول، شبه مرتبه دوم و دواکسپونانسیلی برازش شده است، که از بین مدل‌های به-کار گرفته شده؛ مدل دواکسپونانسیلی از دو مدل دیگر بهتر بوده است. سه مدل ایزوترم فرنرلیچ، لانگمویر و دوینین-رادکویچ برای توصیف داده‌های تعادلی فلزات انتخابی بررسی شده است، که مدل لانگمویر تطابق بهتری نسبت به دو مدل دیگر با داده‌های تعادلی فلزات انتخابی دارد. در شرایط بهینه، ماکزیم ظرفیت جذب فلزات انتخابی توسط جاذب M-TMSPDETA بر طبق ایزوترم لانگمویر برای یون سرب $58/823 \text{ mg/g}$ و برای یون نیکل $20/921 \text{ mg/g}$ به دست آمده است.

کلمات کلیدی: M-APTMS، M-TMSPDETA، تعیین مشخصات، تصفیه پساب صنعتی، یون سرب و نیکل، ایزوترم

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

افزایش جمعیت جهان و کاهش منابع آب آشامیدنی، نگرانی‌هایی را درباره تأمین آب آشامیدنی مورد نیاز کشورهای مختلف در سراسر جهان به وجود آورده است و کمبود آب که در نتیجه افزایش آلودگی‌های زیست محیطی شدت پیدا می‌کند، سبب شده است تأمین آب بهداشتی مورد نیاز مردم به یکی از مشکلات اساسی جهان امروز تبدیل شود. امراض ناشی از آلودگی منابع آب، روزانه سبب کشته شدن هزاران و شاید ده‌ها هزار نفر از مردم جهان می‌شود. این در حالی است که امکان بازیافت آب، دسترسی به یک منبع مناسب برای مصارف گوناگون را فراهم خواهد آورد.

در ابتدای رشد جوامع کوچک، پسماندها و پساب‌های شهری، صنعتی، تولیدی و خدماتی به داخل رودخانه‌ها تخلیه می‌شد و حتی تصور بر این بود که این پسماندها غذای ماهیان و موجودات آبی شده و موجب رشد و نمو آنها می‌گردد. بر این اساس بود که رودخانه می‌سی‌سی‌پی به مجرای پر از زباله‌های شهری و صنعتی تبدیل شد و در نتیجه در سال ۱۹۲۸ دفع زباله به رودخانه‌های بعضی از ایالت‌های امریکا ممنوع گردید و از سال ۱۹۶۵ قوانین خاصی جهت دفع انواع آلاینده‌ها و پساب‌های صنعتی و شهری وضع شد.

در کشورهای در حال توسعه، عدم اجرای درست و نظارت صحیح قوانین و رشد نامتمرکز صنعت، باعث شده است که منابع آبی به ویژه رودخانه‌ها، هر روز آلوده‌تر از گذشته گردند. امروزه آلاینده‌های محیطی به شکل‌های مختلفی یافت می‌شوند، بطوریکه اخیراً دانشمندان دریافته‌اند که فلزات سمی بعنوان یک آلاینده جدید و شاید خطرناک‌تر از سایر آلاینده‌های محیط هستند. در سال ۱۹۶۹ برای آلودگی آب تعریفی ارائه شده است که بر اساس این تعریف، آلودگی آب عبارت است از افزایش مقدار هر معرف اعم از شیمیایی، فیزیکی یا بیولوژیکی که موجب تغییر خواص و نقش اساسی آن در مصارف ویژه‌اش شود. بنابراین آلودگی در نتیجه پیشرفت تکنولوژی و بالا رفتن استانداردهای زندگی به طور فزاینده‌ای در حال افزایش است.

رواناب‌های سطحی و آب‌های زیرزمینی به دلیل استفاده‌های گسترده انسانی و صنعتی از آن‌ها، از اهمیت زیست محیطی بالایی برخوردارند. هرگونه آلودگی رواناب‌های سطحی در بالادست، تأثیرات نامطلوب زیادی در پایین دست برجا می‌گذارد، به گونه‌ای که کلیه مصرف‌کنندگان اعم از انسان، حیوانات و صنایع در معرض خطر زیست محیطی قرار می‌گیرند. همچنین تأمین آب سالم و بهداشتی و حفاظت منابع از آلودگی، یکی از دغدغه‌های کنونی دولت‌ها و مراکز تصمیم‌گیری است. لذا لزوم جلوگیری از تخریب منابع آبی و رواناب‌های سطحی با شناسایی، اندازه‌گیری آلاینده‌ها و وضع و اجرای قوانین بیش از پیش اهمیت پیدا می‌کند.

آب، تصفیه و جلوگیری از آلودگی و به هدر رفتن آن از مسائل بسیار مهم زمان ما به حساب می‌آید. آب شرط وجود حیات می‌باشد و به علت پاره‌ای خواص ویژه، نقش تنظیم‌کننده‌ای در طبیعت دارد. اکثر قریب به اتفاق واکنش‌های شیمیایی در محیط آبی صورت می‌گیرد. حدود ۶۹٪ آب مصرفی جهان صرف کشاورزی و عموماً آبیاری می‌شود. ۲۳٪ به مصرف صنایع می‌رسد و مصارف خانگی تنها حدود ۸٪ را شامل می‌شود. در کشورهای توسعه یافته، کشاورزی و صنایع، بیشترین مصرف آب و بالاترین نقش را در آلودگی آب‌ها دارد. آب بعد از مصارف گوناگون (خانگی، کشاورزی و صنعتی و ...) تبدیل به فاضلاب می‌شود. برای جلوگیری از آلودگی آب و محیط زیست توسط این فاضلاب‌ها، باید راهکارهایی برای تصفیه و استفاده مجدد از آن‌ها اتخاذ کرد. آلودگی آب‌ها معضل بزرگ زیست محیطی محسوب می‌شود که به علت پیشرفت صنایع و تکنولوژی، هر روزه با گسترش آن مواجهیم. موادی که معمولاً در جریان آب‌های صنعتی یافت می‌شود شامل ذرات معلق جامد، عوامل بیماری‌زا، فلزات سنگین، مواد غیرآلی حل شده و ترکیبات آلی هستند.

۱-۲-۲-۱- پساب

۱-۲-۱- تعریف پساب

پساب به فاضلاب خروجی از بیمارستان‌ها، محل‌های مسکونی یا اداری و سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی، گفته می‌شود که، مایعی آغشته به انواع مواد آلی و معدنی و موجودات ریز بیماری‌زاست و یکی از عامل‌های عمده آلودگی محیط زیست می‌باشد. آنچه در مورد پساب‌ها اهمیت بیشتری دارد حضور مواد آلی، میکروارگانیزم‌ها و فلزات سنگین است که علت اصلی آلوده بودن پساب‌ها، به علت وجود این فلزات در پساب‌ها می‌باشد.

۱-۲-۲-۱- انواع پساب

پساب‌ها را به‌طور کلی به دو دسته می‌توان تقسیم کرد:

الف) پساب‌های خانگی یا شهری که از بهداشت فردی، شستشو در منزل و محل کار به وجود می‌آید.
ب) پساب‌های صنعتی که از شستشوی ماشین‌آلات، بهداشت فردی افراد کارخانه و فرایندهای شیمیایی برای تولید فراورده‌های صنعتی ناشی می‌شود.

۱-۲-۳-۱- انواع آلاینده‌های آب

الف - آلاینده‌های فیزیکی: این آلاینده‌ها مواد میکروارگانیزمی و کلوئیدی می‌باشند که معمولاً باعث از بین رفتن شفافیت آب می‌شوند. مواد کلوئیدی نه به‌صورت معلق و نه محلول در آب هستند، بلکه سیستم دو فازی در آب تشکیل می‌دهند که تغییر رنگ و کدورت را ایجاد می‌کنند که معمولاً ترکیب‌های آلی ناشی از تجزیه گیاهان و ذرات، میکروارگانیزم‌ها می‌باشند.

ب - آلاینده‌های شیمیایی: آلاینده‌های این گروه شامل نیترات، سیانید، هیدروکربن، مواد آلی فرار و... می‌باشند. نیترات معمولی‌ترین آلاینده شیمیایی است. این آلاینده در فاضلاب و کود شیمیایی وجود دارد. سیانید نیز از پساب کودها، کارخانه‌های تغلیظ زغال، آبکاری فلزات، فلوتاسیون طلا و حاصل می‌شود. فعالیت کارخانه‌های فرآوری مواد معدنی می‌توانند موجب تولید هر دو نوع آلودگی در آب‌های اطراف محل کارخانه گردند.

۱-۲-۴-۱- ملاک‌های ارزیابی میزان آلودگی پساب‌ها

مهم‌ترین ملاک‌هایی که از روی آن‌ها می‌توان به میزان آلودگی پساب‌ها و فاضلاب‌ها پی برد، عبارتند از:

الف - اکسیژن محلول در آب (D.O):^۱ مقدار مجاز آن حداقل ۶ میلی گرم در لیتر است که روش مناسبی جهت تشخیص آلودگی در آب کارخانه یا فاضلاب می باشد.

ب - اکسیژن مورد نیاز برای بیولوژی (B.O.D):^۲ نشان دهنده آلودگی آب به مواد آلی است که مقدار اکسیژن مورد نیاز برای تبدیل مواد آلی در آب می باشد. هر چه قدر B.O.D بیشتر باشد، آب آلودگی بیشتری دارد.

ج - اکسیژن مورد نیاز برای واکنش شیمیایی (C.O.D):^۳ مقدار اکسیژن مورد نیاز برای تجزیه شیمیایی مواد آلی موجود در فاضلاب‌هایی است که به وسیله باکتری‌ها تجزیه نمی شوند، بلکه باید آن را به روش شیمیایی، برای نمونه، در گرما به وسیله اسید سولفوریک و یا پرمنگنات پتاسیم تجزیه کرد. هر چه قدر مقدار آن بیشتر باشد، آب آلودگی بیشتری دارد.

د - کل جامدات محلول در آب (T.D.S):^۴ عمدتاً شامل نمک‌های معدنی کلسیم، منیزیم، پتاسیم، سدیم، بی کربنات‌ها، کلریدها، سولفات‌ها، نیترات و مقادیر کم مواد محلول آلی در آب است. TDS در آب‌های سطحی از منابع طبیعی فاضلاب‌ها و زائدات شهری، صنعتی و کشاورزی نشأت می گیرد و بر حسب میلی گرم در لیتر اندازه گیری می شود و بدیهی است هر چقدر مقدار آن بیشتر باشد، آب از کیفیت بدتری برخوردار است.

۱-۳- روش‌های تصفیه پساب

عصر صنعت مزیت‌های زیادی برای زندگی انسان به ارمغان آورده است و باعث شده انواع داروها، مواد و سوخت به آسانی در دسترس قرار گیرند. مواد ناخواسته‌ای که در طی فرآیندهای ساخت در صنعت تولید می شوند به صورت مواد زائد به هوا، آب و زمین تخلیه می شوند. اگر محدودیت‌هایی در این رابطه وجود نداشته باشد، تجمع این زباله‌ها از یک حدی به بعد تأثیرات مضر بر روی سلامتی انسان و محیط زیست می گذارد. از آنجایی که فاضلاب‌های صنعتی ممکن است وارد منابع آب‌های نوشیدنی و یا زیستگاه موجودات آبی شود، مقرراتی برای تصفیه فاضلاب‌های صنعتی اعمال شده است تا سلامت عمومی و پایداری محیط زیست برقرار بماند.

با پیشرفت تکنولوژی و اصلاح فرآیندهای صنعتی، اجزای تشکیل دهنده فاضلاب‌های صنعتی نیز تغییر می کند. به طور میانگین سالیانه حدود ۱۰۰۰۰۰ ترکیبات آلی جدید در جریان آب‌های صنعتی یافت می شود [۱].

¹ Dissolved Oxygen

² Biological Oxygen Demand

³ Chemical Oxygen Demand

⁴ Total Dissolved Solids

بنابراین امروزه تصفیه فاضلاب‌های صنعتی شاخه مهمی از مطالعات را به خود اختصاص داده است. تاکنون روش‌های تصفیه متعددی برای حذف آلاینده‌ها به کار برده شده است. بطور کلی این روش‌ها شامل موارد زیر هستند:

- (۱) تصفیه زیستی
- (۲) تصفیه اکسایش پیشرفته
- (۳) تصفیه فیزیکی - شیمیایی متعارف

انواعی چند از فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و زیستی در تصفیه فاضلاب‌ها شناسایی و مورد استفاده قرار می‌گیرند. ضمن آنکه این قبیل فرآیندها از نظر کاربرد، بازدهی و هزینه عملیاتی با مشکلاتی روبرو هستند.

۱-۳-۱- روش زیستی

روش‌های تصفیه زیستی کند بوده و نیازمند کنترل پارامترهایی چون pH و دما در طول فرآیند می‌باشند و همچنین مسائل مربوط به لجن فعال از جمله حجیم شدن^۱ لجن را دارند. پساب‌هایی که حاوی مواد آلاینده تجزیه‌ناپذیر، بازدارنده رشد و سمی نسبت به سیستم‌های میکروبی هستند به وسیله روش‌های زیستی قابل تصفیه نمی‌باشند. غلظت‌های بالای آلاینده‌های سمی در بسیاری از آب‌های آلوده صنعتی باعث از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها می‌شود. رقیق‌سازی آب‌های آلوده برای رساندن غلظت مواد آلی به زیر محدوده سمی، معمولاً فرآیند را از لحاظ اقتصادی غیر ممکن می‌سازد.

۱-۳-۲- روش اکسایش پیشرفته

فرآیند اکسایش پیشرفته^۲ (AOP) بر پایه تشکیل رادیکال‌های آزاد که مهمترین آن‌ها رادیکال هیدروکسیل است، قرار دارد و از مناسب‌ترین روش‌های تصفیه فاضلاب و تخریب آلاینده‌ها به شمار می‌رود. ثابت سرعت اکسایش مواد آلی بوسیله رادیکال هیدروکسیل بین $10^{11} - 10^8 M^{-1}S^{-1}$ است [۲].

این فرآیندها می‌توانند به منظور تصفیه کامل فاضلاب و تخریب آلاینده‌ها به دی‌اکسید کربن، آب و نمک‌های معدنی به کار گرفته شوند. در واقع هدف اصلی در فرآیندهای اکسایش پیشرفته در تصفیه فاضلاب، تبدیل آلاینده‌های آلی موجود و نیز ترکیبات تخریب‌ناپذیر زیستی^۳ به ترکیباتی با ساختار ساده‌تر است که صدمه کمتری به محیط زیست می‌رسانند. از این رو شکست ساختار مولکول آلی که عمدتاً متشکل از کربن، هیدروژن،

^۱- Bulking

^۲- Advanced Oxidation Processes

^۳- Non-biodegradation

نیترژن، فسفر، سولفور و هالوژن‌ها می‌باشد به اجزایی نظیر دی‌اکسید کربن، آب، اسید فسفریک، سولفات‌ها، نیترات‌ها و اسیدهای هالوژنه، در این مجموعه فرآیندها مورد توجه قرار می‌گیرد.

۱-۳-۳- روش‌های فیزیکی - شیمیایی

فرآیندهای فیزیکی مانند رسوب دادن و جذب سطحی به صورت انتقال مواد آلاینده از فاز آبی به فاز ثانویه می‌باشند. در این فرآیندها مواد آلاینده تجزیه و تخریب نمی‌شوند. لذا فاز ثانویه تولید شده خود منبعی از آلودگی است که باید به روشی نابود گردد. تصفیه اولیه فاضلاب معمولاً توسط غربال زنی^۱ انجام می‌شود که مواد حجیم و درشت را از جریان می‌زداید. لخته‌سازی^۲، شناورسازی^۳ و سانتریفیوژ کردن^۴ از دیگر روش‌های فیزیکی برای جداسازی ذرات معلق از فاضلاب هستند. روش‌های فیزیکی عمدتاً شامل تصفیه، جذب سطحی، اسمز معکوس (جداسازی غشایی) و تبخیر (بیشتر برای تصفیه آب) می‌باشند. در روش تصفیه از فیلترهای شنی و ذغالی استفاده می‌شود که اندازه منافذ آن‌ها عامل مهمی در حذف آلاینده‌هاست. در میکروفیلتراسیون، از فیلتر دو جداره استفاده می‌شود که فیلتر دوم منافذ بسیار ریز دارد و برای رسوب فلزات سنگین استفاده می‌شود. با استفاده از فرا تصفیه (اولترافیلتراسیون)، ابتدا مواد فعال سطحی به پساب اضافه می‌شوند و سپس فیلتراسیون انجام می‌شود. مهم‌ترین مشکل فیلترگذاری، عمر محدود این فیلترهاست که باید هزینه تعویض دوره‌ای آن‌ها را در بررسی‌های اقتصادی مدنظر قرار داد. فرآیندهای غشایی به دلیل داشتن مزایایی نظیر کم هزینه و ساده بودن، نیاز به فضای اندک، نیاز به مصرف انرژی در فرآیندهای تصفیه پساب‌های حاوی فلزات سنگین مطرح می‌شود [۳].

جذب سطحی از روش‌های معمول جذب فیزیکی است که در آن از جاذب‌های طبیعی مانند زغال سنگ فعال شده، پوست کاج، ساقه گندم (کاه)، ذرات شن، خاکستر و... برای جذب فیزیکی فلزات سنگین استفاده می‌شود. جذب سطحی در صورتی اقتصادی و مؤثر است که جریان پساب حاوی فلزات سنگین مورد تصفیه دارای محتوای ناخالصی یکنواخت باشد و غلظت ناخالصی مورد نظر زیاد نباشد. پساب‌های بسیار ناهمگن را به ندرت می‌توان به صورت رضایت بخش مورد تصفیه قرار داد، زیرا آلاینده‌های موجود در پساب دارای قابلیت‌های جذب متفاوت می‌باشند. میزان حذف آلاینده در این فرآیند بالاست ولی تمیز کردن جاذب‌ها سبب تولید پساب ثانویه می‌شود. برای استفاده از روش‌های فیزیکی لازم است که ابتدا فرآیندهای ته‌نشینی و تصفیه به منظور جذب اولیه فلزات سنگین صورت گیرد. بنابراین از کربن فعال بیشتر جهت تکمیل فرآیند تصفیه استفاده

^۱- Screening

^۲- Flocculation

^۳- Flotation

^۴- Centrifugation