بسم الله الرحمن الرحیم

دانشکده مهندسی

گروه مهندسی شیمی

بررسی تأثیر کلریدفریک، پلی‌آلومینیوم‌کلرید تجارتی و اوزوناسیون در سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی دارویی به منظور کاهش پارامترهای زیست محیطی و حذف فلزات سنگین

پایان نامه کارشناسی ارشد فرآیندهای جداسازی

آزاده شیرافکن

استاد راهنما

جناب آقای دکتر مصطفی نوعی

استاد مشاور

جناب آقای دکتر نوید رمضانیان

۱۳۹۱

تشکر و قدردانی

سپاس بیکران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید، قدرتی که در مقایسه با سایر موجودات باعث شده است که انسان هرگز به امکانات محدود خود اکتفا نکند. مکاتب الهی، انسان را موجودی کمال طلب و پویا می دانند که جهت گیری او به سوی خالقش می باشد. از جمله راه‌های تقرب به ذات خداوند، علم است. علمی که زیبایی عقل است. علمی که در دریای بیکران آن هر ذره نشانی از آفریدگار است. از این روست که به علم اندوزی و دانش آموزی توجهی بی نظیر مبذول گردیده است. به جهت تحقق این امر و گام برداشتن در راستای پایه‌های علم، پژوهش و تحقیق را برگزیدیم تا در حد دانش و تجربه اندکمان کاری بدون اشکال تقدیم حضورتان گردد. مجموعه حاضر حاصل تلاش و حمایت های بزرگوارانی است که در جهت پیشبرد اهداف این تحقیق مرا از الطاف خویش بهره‌مند ساخته‌اند. از این رو بر خود لازم می دانم تا محبّت ایشان را با بضاعتی ناچیز سپاس گویم.

پیش از همه از جناب آقای دکتر سید مصطفی نوعی استاد راهنمای بزرگوارم و جناب آقای دکتر نوید رمضانیان استاد مشاور گرامی‌ام به دلیل راهنمایی های گران بها و حمایت های همیشگی‌شان کمال تشکر را داشته و امیدوارم کاستی های اینجانب را در طول دوره تلاش مشترکمان ببخشایند.

همچنین از همکاری و پشتیبانی جناب آقای دکتر سید حسین نوعی و نیز از زحمات و همفکری های بی دریغ سرکار خانم مهندس محب راد سپاس‌گذاری نموده و برای سایر بزرگوارانی که مرا در پیمودن این مسیر یاری رساندند نیز تشکر و قدردانی می نمایم و از ایزد منّان توفیق روزافزون آنان را آرزومند می باشم.

آزاده شیرافکن

زمستان ۹۱

اینجانب آزاده شیرافکن دوره کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، نویسنده پایان نامه: بررسی تأثیر کلریدفریک، پلی‌آلومینیوم‌کلرید تجارتی و اوزوناسیون در سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی دارویی به منظور کاهش پارامترهای زیست محیطی و حذف فلزات سنگین، 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 درپایان 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

انسان‌هایی که به فردایی بهتر می‌اندیشند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

چکیده ۱
فصل ۱: مقدمه ۲
۱-۱- مقدمه ۳
۱-۲- فاضلاب صنعتی چیست؟ ۴
۱-۳- چرا تصفیه فاضلاب صنعتی امری ضروری است؟ ۵
فصل ۲: تکنولوژی‌های تصفیه فاضلاب ۱۰
۲-۱- مقدمه ۱۱
۲-۲- تعاریف و اصطلاحات ۱۲
۲-۳- روش‌های تصفیه فاضلاب ۱۳
۲-۳-۱- فرآیندهای فیزیکی ۱۵
۲-۳-۲- فرآیندهای شیمیایی ۱۶
۲-۳-۳- فرآیندهای بیولوژیکی ۱۹
۲-۴- انعقادسازی ۲۳
۲-۴-۱- تئوری لایه دوگانه ۲۶
۲-۴-۲- نقطه ایزوالکتریک ۲۷
۲-۴-۳- مکانیسم‌های انعقادسازی ۲۸
۲-۴-۴- ویژگی‌های منعقدکننده‌ها ۲۸
۲-۴-۵- واکنشگرهای انعقاد ۲۸
۲-۴-۵-۱- منعقدکننده‌های فلزی ۲۸
۲-۴-۵-۲- منعقدکننده‌های پلیمری شده ۳۰
۲-۴-۶- تشخیص نوع و میزان ماده منعقدکننده ۳۲
۲-۴-۷- بررسی آزمایشگاهی انعقادسازی ۳۳
۲-۴-۸- راهبرد عملی بررسی آزمایشگاهی انعقادسازی ۳۳
۲-۴-۹- فاکتورهای مؤثر بر انعقادسازی ۳۴
۲-۵- فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته ۳۶
۲-۵-۱- اوزوناسیون ۳۷
۲-۵-۲- تولید اوزون ۳۸
۲-۵-۳- مزایا و معایب استفاده از اوزون ۳۹
۲-۶- سدیم سولفید ۴۰
۲-۷- مروری بر نشریات ۴۱

فصل ۳: فاضلاب صنایع داروسازی ۴۶
۳-۱- مقدمه ۴۷
۳-۲- طبقه‌بندی صنایع داروسازی ۴۷
۳-۳- شرح فرآیند و ویژگی‌های فاضلاب ۴۸
۳-۴- پارامترهای قابل توجه در تصفیه پسابهای دارویی ۴۹
۳-۵- تصفیه پساب دارویی ۵۰
۳-۵-۱- تصفیه فیزیکوشیمیایی ۵۱
۳-۵-۱-۱- نگهداری و متعادل‌سازی پساب ۵۱
۳-۵-۱-۲- خنثی‌سازی و تنظیم pH ۵۱
۳-۵-۱-۳- انعقاد و لخته‌سازی ۵۱
۳-۵-۱-۴- ایر استریپینگ ۵۲
۳-۵-۱-۵- تصفیه اوزون و هیدروژن پراکسید ۵۲
۳-۵-۲- تصفیه بیولوژیکی ۵۳
۳-۵-۳- تأسیسات دفع و تصفیه فاضلاب واحدهای ویژه ۵۳
فصل ۴: مواد و روش انجام کار ۴۷
۴-۱- مقدمه ۵۵
۴-۲- آماده‌سازی و تهیه نمونه پساب ۵۵
۴-۳- مواد و وسایل ۵۷
۴-۴- وسایل اندازه‌گیری ۵۸
۴-۵- مراحل آزمایش ۵۸
۴-۵-۱- جارتست ۵۸
۴-۵-۲- آزمایشات مربوط به بررسی اثر اوزوناسیون ۶۲
فصل ۵: بررسی نتایج آزمایش ۵۵
۵-۱- نتایج ۶۶
۵-۱-۱- pH بهینه حذف کدورت در غلظت ثابت از مواد منعقدکننده ۶۶
۵-۱-۲- غلظت بهینه حذف کدورت در pH بهینه مواد منعقدکننده ۶۷
۵-۱-۳- تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی پارامترهای زیست محیطی ۷۰
۵-۱-۴- تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی مقادیر فلزات سنگین ۷۴
فصل ۶: جمع‌بندی و پیشنهادات ۷۸
جمع‌بندی کلی نتایج ۷۹
پیشنهاداتی برای آینده ۸۰
منابع و مآخذ ۸۱

فهرست شکل‌ها و نمودارها

عنوان **صفحه**

شکل ۲- ۱) منابع تولیدکننده فاضلاب. ۱۱

شکل ۲- ۲) سیستم تصفیه شیمیایی ۱۷

شکل ۲- ۳) تماس‌دهنده بیولوژیکی دوار ۲۱

شکل ۲- ۴) نمایشی از لایه نفوذی دوگانه ۲۷

شکل ۲- ۵) تعیین مقادیر pH و غلظت بهینه ماده منعقدکننده..... ۳٤

شکل ۲- ۶) ژنراتور ساده تولید اوزون..... ۳۹

شکل ۴- ۱) شماتیکی از مراحل تصفیه فاضلاب در واحد تولید دارو..... ۵۶

شکل ۴- ۲) شماتیکی از دستگاه اوزوناسیون ۵۷

شکل ۴- ۳) محلول‌های استوک ۵۹

شکل ۴- ۴) مشاهده‌ای از چگونگی ته‌نشینی لجن حاصل از مرحله انعقادسازی برای منعقدکننده PACl ٦۰

شکل ۴- ۵) تصویری از دستگاه کدورت سنج ٦۱

شکل ۴- ۶) دیاگرام مسیر اول انجام آزمایش ٦۲

شکل ۴- ۷) تصویری از نحوه انجام مرحله اوزوناسیون و تصفیه پساب ٦۳

شکل ۴- ۸) دیاگرام مسیر دوم انجام آزمایش ٦۳

نمودار ۵- ۱) pH بهینه به منظور حذف کدورت با استفاده از منعقدکننده های آلوم، کلرید فریک و پلی آلومینیوم کلرید در غلظت ثابت ۱ g/L..... ٦٦

نمودار ۵- ۲) غلظت بهینه مواد منعقدکننده آلوم، کلرید فریک و پلی آلومینیوم کلرید در pH بهینه. ٦۷

نمودار ۵- ۳) تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی پارامتر pH..... ۷۰

نمودار ۵- ۴) تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی پارامتر COD..... ۷۱

نمودار ۵- ۵) تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی پارامتر TDS..... ۷۲

نمودار ۵- ۶) تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی پارامتر TSS. ۷۳

نمودار ۵- ۷) تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی مقدار مس موجود در پساب. ۷۴

نمودار ۵- ۸) تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی مقدارآهن موجود در پساب. ۷۵

نمودار ۵- ۹) تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی مقدار روی موجود در پساب. ۷٦

نمودار ۵- ۱۰) تأثیر مراحل مختلف تصفیه بر روی مقدار نیکل موجود در پساب..... ۷۷

فهرست علائم اختصاری

ACH	Aluminium Chloro Hydrate
AOP	Advanced Oxidation Processes
BOD	Biochemical Oxygen Demand
BP	British Pharmacopoeia
COD	Chemical Oxygen Demand
DO	Dissolved Oxygen
DOC	Dissolved Organic Carbon
EC	Electrical Conductivity
FSS	Fixed Suspended Solids
NEIC	National Enforcement Investigation Center
NHE	Normal Hydrogen Electrode
NOM	Natural Organic Material
NTU	Nephelometric Turbidity Units
O&G	Oil and Grease
PACl	Poly Aluminium Chloride
RBC	Rotating Biological Contractor
SS	Suspended Solids
TDS	Total Dissolved Solids
TOC	Total Organic Carbon
TOD	Total Oxygen Demand
TS	Total Solids
TSS	Total Suspended Solids
USP	United States Pharmacopoeia
VSS	Volatile Suspended Solids

چکیده

امروزه مسئله حذف آلودگی‌های موجود در فاضلاب‌های صنعتی که ناشی از فعالیت‌های روزمره انسان می‌باشند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، به گونه‌ای که هر روز شاهد ارائه روش‌ها و تکنولوژی‌های نوینی در این عرصه خواهیم بود. از جمله این روش‌ها می‌توان به کارگیری فرآیند انعقادسازی را ذکر کرد که از جایگاه ویژه‌ای در زمینه تصفیه فاضلاب‌ها برخوردار است و استفاده از منعقدکننده‌های جدید روز به روز گسترده‌تر می‌شود. پلی‌آلومینیوم‌کلرید از جمله این مواد است که در سال‌های اخیر به عنوان یک منعقدکننده مناسب در تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار گرفته و نتایج مطلوبی را به همراه داشته است. اوزوناسیون یکی دیگر از مراحل تصفیه به حساب می‌آید که به علت داشتن خاصیت اکسیدکنندگی بالا قادر است به عنوان یک اکسیدکننده قوی مورد استفاده قرار گیرد.

از این رو در این پژوهش سعی شده است تا به مطالعه و بررسی اثر منعقدکننده‌های مختلف از جمله آلوم، کلرید فریک و پلی‌آلومینیوم‌کلرید در حذف کدورت فاضلاب حاصل از یک کارخانه تولید محصولات دارویی پرداخته شود تا از این طریق برتری کیفیت منعقدکننده پلی‌آلومینیوم‌کلرید اثبات گردد. تعیین بهترین نوع عملکرد در بین این سه ماده از طریق تست جار صورت گرفته است. با انتخاب بهترین نوع منعقدکننده و انجام مراحل تصفیه از قبیل انعقادسازی، ته‌نشینی و فیلتراسیون توسط مناسب‌ترین منعقدکننده، به بررسی پارامترهای زیست محیطی از جمله pH، COD، EC، TSS، TDS و TS و فلزاتی از قبیل آهن، مس، روی و نیکل پرداخته شده است. نتایج به دست آمده از این منعقدکننده با نتایج حاصل از منعقدکننده مورد استفاده در واحد تصفیه کارخانه تولیدی یعنی کلرید فریک مورد مقایسه قرار گرفته و برای این مسیر از تصفیه نیز روند تغییرات پارامترهای زیست محیطی اندازه‌گیری شده است. به منظور بهبود نتایج این دو مسیر از تصفیه، فرآیند اوزوناسیون بر روی پساب انجام شده و تأثیر این ماده اکسیدکننده قوی نیز مورد بررسی قرار گرفته است. در انتها نیز خروجی به دست آمده با ترکیب سدیم سولفید مورد واکنش قرار می‌گیرد. در بین هریک از مراحل انعقادسازی، اوزوناسیون و اضافه نمودن سدیم سولفید پارامترهای زیست محیطی اندازه‌گیری شده است.

در مجموع نتایج حاصل از اثر منعقدکننده‌های ذکر شده نشان می‌دهد که پلی‌آلومینیوم‌کلرید در pH بهینه ۵ و با غلظت ۲۰۰ppm توانسته میزان کدورت موجود را تا ۹۷/۸۶ درصد کاهش داده و در مقایسه با دو ماده دیگر تأثیر مطلوبی بر روی فرآیند تصفیه فاضلاب دارویی از خود نشان دهد. همچنین استفاده از فرآیند اوزوناسیون در طول مسیر تصفیه تأثیر قابل توجهی در کاهش مقادیر COD، TDS و TSS محلول و نیز افت غلظت مقادیر آهن موجود در فاضلاب داشته باشد، به گونه‌ای که این مقادیر در محدوده استاندارد خود قرار گرفته‌اند.

کلید واژه‌ها: تصفیه فاضلاب، انعقاد و لخته‌سازی، پلی‌آلومینیوم‌کلرید، اوزوناسیون، پارامترهای زیست محیطی.

فصل ۱

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در بسیاری از نقاط جهان، مشکلات اقتصادی، اجتماعی و سیاسی به دنبال توسعه صنعتی و شهرنشینی به وجود آمده، که این امر منجر به ایجاد اثرات نامطلوب بر کیفیت زندگی بشر شده است. مشکلات مربوط به تخریب محیط زیست اغلب از توسعه صنعتی سرچشمه می‌گیرد. این مشکلات با شهرنشینی سریع که مسئول رشد بسیاری از شهرهای بزرگ است توسعه می‌یابد. صنعتی شدن سریع و تمرکز آن در مراکز شهری، فشارهای زیادی بر ظرفیت و گنجایش محیط زیست در محل‌های خاص اعمال می‌کند. در این محل‌ها، بدنه آب‌های پذیرنده از قبیل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و آب‌های ساحلی معمولاً به شدت آسیب می‌بینند [۱].

آب شیرین، یکی از منابع طبیعی حیاتی است که اگر به خوبی پایش و کنترل شود، تا مدت‌های زیادی قابل بهره‌برداری مجدد است. آلودگی آب شیرین و متعاقب آن بدتر شدن کیفیت آب تنها می‌تواند شرایط را نابسامان کند. عموماً این آلودگی در نتیجه تخلیه فاضلاب‌های صنعتی و فاضلاب‌هایی که به حد کافی تصفیه نشده، حاصل می‌گردد [۱].

فاضلاب‌های صنعتی از جمله فاضلاب‌های کشت و صنعت، پساب‌هایی هستند که در نتیجه فعالیت‌های بشر در رابطه با پردازش و تولید مواد خام به وجود می‌آیند. این جریان‌های فاضلاب در نتیجه شست‌وشو، پخت‌وپز، سرمایش، گرمایش، استخراج، واکنش محصولات جانبی، جداسازی، انتقال و کنترل کیفیت ناشی از عدم پذیرش محصول به وجود می‌آیند. آلودگی آب زمانی صورت می‌گیرد که آلاینده‌های بالقوه در این جریان‌ها به مقادیر خاصی رسیده و تغییرات نامطلوبی را در بدنه آب‌های پذیرنده باعث شوند. اگرچه، فاضلاب‌های صنعتی حاصله در مکان‌های پردازش یا تولید ممکن است حاوی فاضلاب‌های خانگی نیز باشند، ولی این مورد چندان مهم نیست. فاضلاب خانگی ممکن است به دلیل وجود خوابگاه‌ها و سرویس‌های بهداشتی ایجاد شده برای کارگرانی که در کارخانجات تولید یا پردازش کار می‌کنند، وجود داشته باشد. نمونه‌هایی از فاضلاب‌های صنعتی عبارتند از فاضلاب‌های صنایع شیمیایی، دارویی، الکتروشیمیایی، الکترونیک، پتروشیمی و پردازش مواد غذایی و فاضلاب کشت و صنعت [۱].

همچنین باید خاطر نشان ساخت، منابع تولید فاضلاب صنعتی ممکن است کوچک و یا متوسط باشند، اما این منابع معمولاً در مراکز شهری یعنی مکانی‌هایی که تراکم ساختمان‌ها زیاد و جمعیت بالایی دارد، قرار دارند و یک مشکل جدی به حساب می‌آید. از این بدتر، اینست که برخی از این کارخانه‌ها هیچ گونه طرح و برنامه‌ای نداشته و قادر به تولید محصول با کیفیت و مقرون به صرفه نبوده ولی فاضلاب‌های آن‌ها مشکل ساز می‌باشد. نوعی درک درحال رشد نیز وجود دارد که هزینه پاکسازی پس از ایجاد آلودگی غالباً بیشتر از تولید آلودگی در اولین مکان است [۱].

۱-۲- فاضلاب صنعتی چیست؟

برای شروع بحث در مورد فاضلاب صنعتی، مقایسه این فاضلاب با فاضلاب خانگی می‌تواند مفید واقع شود، زیرا طراحان دستگاه‌های فاضلاب اغلب فعالیت‌های خود را با فاضلاب خانگی شروع و تقریباً آموزش آن را به طور خاص در رشته مهندسی محیط زیست و با مشاهده تصفیه‌خانه فاضلاب شهری و خانگی ادامه می‌دهند [۱].

فاضلاب خانگی در واقع فاضلاب تخلیه شده از سرویس‌های بهداشتی در مناطق مسکونی، اداره‌ها، اماکن تجاری، کارخانجات و مؤسسات گوناگون می‌باشد. این نوع فاضلاب، مخلوط پیچیده‌ای است که عمدتاً حاوی آب (تقریباً ۹۹ درصد) و اجزاء آلی و غیرآلی است. این اجزاء یا آلاینده‌ها شامل مواد معلق، محلول و کلوئیدی می‌باشند. فاضلاب خانگی، حاوی فضولات انسانی و مقادیر زیادی از میکروارگانیسم‌ها است که برخی از این میکروارگانیسم‌ها می‌توانند ناقل بیماری هم باشند. اجزای غیرآلی شامل کلریدها و سولفات‌ها و بی‌کربنات‌ها هستند. پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها حدود ۹۰ درصد ماده آلی موجود در فاضلاب خانگی را تشکیل می‌دهند. فاضلاب خانگی دارای الگوی جریانی مشخصی در طول یک شبانه‌روز بوده و معمولاً دو پیک (مقدار حداکثر) را نشان می‌دهد، یکی به هنگام صبح، قبل از شروع ساعت کاری و دوم غروب بعد از این که مردم از محل کار خود به خانه برمی‌گردند. تغییرات موجود در ویژگی‌های فاضلاب خانگی یک جامعه نسبتاً کم است، با این وجود تفاوت‌های کمی بین فاضلاب‌های خانگی در جوامع مختلف ممکن است وجود داشته باشد که این تغییرات بین جوامع را می‌توان به آسانی تشخیص داد [۱].

فاضلاب‌های صنعتی بسته به نوع صنعت و مواد پردازش شده، ترکیبات بسیار متفاوتی دارند. برخی از این فاضلاب‌ها می‌توانند از لحاظ مواد آلی بسیار قوی، به سادگی قابل تجزیه بیولوژیکی بوده یا به طور بالقوه سمی باشند. این امر بدان معنی است که مقادیر TSS[1]، BOD_5[2] (معادل ۵ روز BOD) و COD[3] ممکن است ۱۰ تا هزاران میلی‌گرم در لیتر هم باشند [۱].

به دلیل غلظت‌های بسیار زیاد مواد آلی، فاضلاب‌های صنعتی ممکن است شدیداً دچار کمبود مواد مغذی باشند. برخلاف فاضلاب خانگی، در فاضلاب صنعتی مقادیر pH ممکن است فراتر از محدوده ۶ تا ۹ باشد. همچنین این‌گونه فاضلاب‌ها ممکن است حاوی غلظت‌های بالای مواد فلزی محلول باشند. الگوی جریان‌های فاضلاب صنعتی بسیار متفاوت‌تر از فاضلاب خانگی است، زیرا فاضلاب صنعتی تحت تأثیر ماهیت عملکردهای موجود در یک کارخانه نسبت به فعالیت‌های معمول در محیط خانگی می‌باشد. یکی از عوامل مهم تأثیرگذار بر الگوی جریان، ماهیت شیفت کار در کارخانه‌ها است، که ممکن است ۸ یا ۱۲ ساعت بوده و حداکثر ۳ شیفت کاری در یک شبانه‌روز وجود داشته باشد. وجود این شیفت‌ها ممکن است به این معنی باشد که بیش از دو پیک

[1] Total Suspended Solids
[2] Biochemical Oxygen Demand
[3] Chemical Oxygen Demand

در جریان روزانه فاضلاب می‌تواند وجود داشته باشد. از طرفی کارخانه‌ها می‌توانند ۵ تا ۷ روز در هفته کار کنند هنگامی که کارخانه‌ای کار نمی‌کند، پیامد این امر می‌تواند باعث شود مقدار جریان در یک روز به صفر هم برسد. در مقایسه با موضوعات پیچیده‌تر، ویژگی‌های فاضلاب در یک کارخانه نیز می‌تواند متفاوت باشد زیرا ممکن است خط تولید، فعالیت جدیدی را راه بیاندازد و یا ممکن است از تخلیه‌های ناگهانی در کنار تخلیه‌های معمول استفاده کند. جدا از این‌گونه رویدادها که به طور عادی رخ می‌دهند، سرریزها و بیرون ریختن‌هایی وجود خواهد داشت که ممکن است به ندرت در یک کارخانه رخ دهد اما در هر حال وجود دارند و می‌توانند تأثیرات بسیار نامطلوب بر عملکرد تصفیه خانه فاضلاب داشته باشند. نتیجه این که، بررسی یک فاضلاب صنعتی نشان می‌دهد، تصفیه مقدماتی و سایر شرایط تصفیه مورد نیاز آن قابل ارزیابی بوده و چنین فرض می‌شود که ویژگی‌های فاضلاب و وسایل تصفیه آن مشابه نمونه‌های قبلی هستند [۱].

۱-۳- چرا تصفیه فاضلاب صنعتی امری ضروری است؟

تمام اکوسیستم‌ها و انسان‌ها برای زنده ماندن به آب شیرین نیاز دارند (یعنی آبی که کمتر از $۱۰۰\ mgL^{-۱}$ نمک دارد). بیش از ۹۷ درصد آب موجود روی کره زمین شور و از ۳ درصد باقی‌مانده، ۸۷ درصد به صورت یخ در کوه‌های یخی و یخچال‌های طبیعی است. این بدان معنی است که تنها حدود ۰/۴ درصد از کل آب موجود بر روی زمین به صورت آب شیرین قابل دسترسی است. متأسفانه الگوهای بارندگی بارش‌ها و توزیع ذخایر آب شیرین در جهان بسیار ناموزون و پراکنده است. علاوه بر این آب شیرین بایستی بین محیط زیست طبیعی و نیازهای انسانی تقسیم شود. نیازهای انسانی علاوه بر مصارف مستقیم بشر شامل آب مورد نیاز برای کشاورزی، مصارف صنعتی و شهری می‌باشد. کمبود آب شیرین خطر مربوط به سلامت عموم مردم را افزایش داده، موجب کاهش تولید مواد غذایی می‌گردد و مانعی در مسیر توسعه تولید صنعتی خواهد بود که در مجموع، این مشکلات محیط زیست را تهدید می‌کنند [۱].

در هر صورت، کمبود آب شیرین نه تنها به دلیل توزیع غیریکنواخت ذخایر و نیاز به آن، بلکه به طور فزاینده‌ای ناشی از بدتر شدن کیفیت آب در منابعی است که اکنون مورد استفاده قرار می‌گیرند. این بدتر شدن کیفیت آب عمدتاً ناشی از آلودگی است. فاضلاب‌های صنعتی تصفیه نشده آلاینده‌ها را به آب‌های پذیرنده می‌افزایند. آب‌های پذیرنده می‌تواند شامل استخرها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، آب‌های ساحلی و دریاها باشند. تخلیه فاضلاب‌های کاملاً تصفیه نشده می‌تواند عواقب زیادی را در پی داشته باشد. در دهه اخیر، پیدایش آلودگی صنعتی به عنوان یک معضل در مناطق ساحلی چین جنوبی، ویتنام، کامبوج و تایلند مورد شناسایی قرار داده می‌شود [۱].

اثراتی که آلاینده‌ها بر محیط‌های آبی دارند را می‌توان در مقوله‌های زیر خلاصه نمود:

اثرات فیزیکی: این اثرات شامل تأثیر بر شفافیت آب و دخالت در میزان اکسیژن محلول موجود در آن می‌باشد. شفافیت آب توسط عامل کدورت که ممکن است از طریق ذرات معلق آلی و یا غیرآلی موجود در آب مثل جامدات معلق ثابت (FSS[1]) و جامدات معلق فرار (VSS[2]) ایجاد شده باشد، تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اکسیژن محلول ممکن است تحت تأثیر تجزیه بیولوژیکی و یا تحت تأثیر واکنش‌های اکسیداسیون واقع گردد. کدورت، نفوذ نور را کاهش می‌دهد و این امر سبب کاهش فتوسنتز می‌گردد. از طرف دیگر از دست دادن شفافیت، به طور معکوس بر قدرت جمع‌آوری غذای حیوانات آبزی اثر می‌گذارد، زیرا این حیوانات ممکن است قادر نباشند طعمه خود را ببینند. ذرات خیلی ریز نیز ممکن است سطوح آبشش ماهی‌ها را مسدود نموده و از این طریق بر تنفس آن‌ها و سرانجام باعث مرگ و میر آن‌ها شوند. ذرات قابل ته‌نشینی ممکن است بر روی شاخ و برگ گیاهان و کف بستر آب‌های پذیرنده جمع شده و لایه‌های لجنی را تشکیل داده و در نهایت موجودات زنده دریایی را کاملاً بپوشانند. هنگامی که لایه‌های لجن انباشته می‌شوند می‌توانند به توده‌های لجن تبدیل گردند. در صورتی که ماده آلی در این لجن‌ها وجود داشته باشد پس از تجزیه بوی بدی را ایجاد خواهد کرد. در مقایسه با ماده قابل ته‌نشینی، ذرات شناور و سبک‌تر از آب، سرانجام در سطح آب شناور شده و به صورت یک لایه روی سطح آب را فرا می‌گیرند. این لایه در عبور نور، حل شدن اکسیژن و عمل فتوسنتز نیز تأثیر می‌گذارد. محدوده استاندارد تخلیه برای TSS در فاضلاب خروجی یک صنعت یا تخلیه فاضلاب تصفیه شده معمولاً ۳۰ یا ۵۰ mgL^{-1} در نظر گرفته می‌شود. اغلب فاضلاب‌های صنعتی حاوی روغن و چربی (O & G[3]) می‌باشند و ممکن است برخی از آن‌ها آلی باشند. علاوه بر این بسیاری از روغن‌ها معدنی هستند. علیرغم ماهیت آلی یا معدنی بودنشان، هر دو نوع موجب تداخل در فصل مشترک هوا- آب شده و مانع انتقال اکسیژن می‌گردد. علاوه بر این مسئله، O & G (مخصوصاً روغن‌های معدنی) ممکن است سمی باشند. برخلاف فاضلاب‌های خانگی، تخلیه فاضلاب‌های صنعتی می‌تواند دمای بالاتری نسبت به دمای محیط داشته باشد. این عوامل دمای آب‌های پذیرنده را افزایش داده و میزان حلالیت اکسیژن را کاهش می‌دهند. جدا از این مسئله، تغییرات سریع در دما ممکن است منجر به شوک حرارتی گشته و این امر می‌تواند برای گونه‌های حساس کشنده باشد [۱].

اکسیداسیون و اکسیژن محلول باقی‌مانده: با توجه به این‌که آب‌های پذیرنده این قدرت را دارند که از طریق حل اکسیژن موجود در اتمسفر و عمل فتوسنتز که توسط گیاهان آبزی انجام می‌گیرد اکسیژن خود را افزایش دهند. جلبک‌ها اغلب در این زمینه نقش مهمی را ایفا می‌کنند. در هر حال، ظرفیت محدودی برای اکسیژن‌گیری

[1] Fixed Suspended Solids
[2] Volatile Suspended Solids
[3] Oil and Grease

مجدد وجود دارد و اگر مصرف اکسیژن، در نتیجه فرآیندهای بیولوژیکی و شیمیایی برای تجزیه مواد آلی و غیرآلی که از اکسیژن استفاده می‌کنند از این ظرفیت فراتر رود، سطح اکسیژن محلول (DO[1]) کاهش خواهد یافت. این حالت ممکن است تا حدی کاهش یابد که شرایط سپتیک رخ دهد. از علائم چنین شرایطی بوهای بدی است که توسط ارگانیسم‌های بی‌هوازی و اختیاری آزاد می‌شود. در دماهای بالای آب شرایط تا حدی متفاوت است. دماهای بالا می‌توانند فعالیت میکروارگانیسم‌ها را به طور مثبت تحت تأثیر قرار دهند (به ازای هر ۱۰ °C افزایش دما، فعالیت میکروارگانیسمی ۲ تا ۳ برابر می‌شود)، اما در دماهای بالا میزان حلالیت اکسیژن در آب کاهش می‌یابد. این مسئله به این معنی است که در شرایطی که نیاز به اکسیژن محلول زیاد است دسترسی به آن کمتر می‌باشد. به دلیل تأثیر سطح DO بر زندگی آبزیان، تعیین مقدار BOD در هر تخلیه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. بر همین اساس مقادیر بین ۲۰ تا ۵۰ mgL^{-1} برای BOD خروجی تعیین شده است [۱].

سمیت و پایداری: اثرات ناشی از سمیت ممکن است به وسیله مواد آلی و غیرآلی به وجود آمده و به صورت حاد یا مزمن باشد. آفت‌کش‌ها و فلزات سنگین مثال‌هایی از این مواد بوده و در بسیاری از فاضلاب‌های صنعتی این‌گونه مواد سمی وجود دارند. وجود چنین موادی در یک اکوسیستم ممکن است جمعیتی را که حساس‌تر بوده تحت تأثیر قرار داده و منجر به از دست رفتن تنوع زیستی گردد. علاوه بر مواد آلوده‌کننده آلی که به طور بالقوه سمی بوده، موادی نیز وجود دارند که در مقابل تصفیه بیولوژیکی مقاوم هستند. این‌گونه ترکیبات پایدار می‌توانند به صورت تدریجی در بافت‌های بدن موجودات زنده تجمع یافته و منجر به این امر می‌شوند که غلظت آن‌ها در این بافت‌ها به طور چشمگیری بالاتر از غلظت موجود در محیط رفته و بدین طریق باعث شوند که این موجودات زنده، به عنوان طعمه یا غذا برای ارگانیسم زنده‌ای که در رده‌های بالاتر زنجیره غذایی قرار دارند، مناسب نباشند. در حالی‌که برخی از ترکیبات آلی ممکن است مقاوم باشند، فلزات در محیط زیست غیرقابل تجزیه می‌باشند [۱].

اوتروفیکاسیون[2]: تخلیه ترکیبات نیتروژنی و فسفری به آب‌های پذیرنده ممکن است حاصلخیزی آن‌ها راتغییر دهد. این حاصلخیزی می‌تواند منجر به رشد بیش از حد گیاهان آبزی به خصوص جلبک‌ها گردد. تأثیر بعدی رشد بیش از حد جلبک‌ها، می‌تواند افزایش دادن کدورت، کاهش اکسیژن و ایجاد مسمومیت باشد. رشد جلبک‌ها در آب‌های آلوده نشده معمولاً محدودیت دارد زیرا آب خود به نوعی محدودکننده مواد مغذی است. مواد مغذی شامل مواد مغذی اصلی (ماکرو) شبیه نیتروژن، فسفر و کربن و مواد مغذی جزئی (میکرو) مانند کبالت، منگنز، کلسیم، پتاسیم، منیزیم، مس و آهن است که تنها به مقادیر بسیار کم نیاز می‌باشند. کانون اصلی توجه بر مغذی شدن آب (اوتروفیکاسیون) روی فسفر و نیتروژن است که اغلب در محیط زیست طبیعی به مقدار

[1] Dissolved Oxygen
[2] Otrofication

کافی وجود دارند. تصفیه فاضلاب صنعتی، بسته به نوع آب پذیرنده می‌تواند با هدف زدایش فسفر یا نیتروژن انجام گیرد تا تضمین شود که شرایط محدودکننده ماده مغذی حفظ شده است. باید خاطر نشان ساخت که همه فاضلاب‌های صنعتی حاوی مقادیر بیش از حد مواد مغذی (ماکرو و میکرو) نیستند. این مسئله، در صورتی که وجود داشته باشد منجر به ناپایداری فرآیند و یا تکثیر گونه‌های میکروبی نامناسب در طی تصفیه بیولوژیکی فاضلاب می‌گردد. حجیم شدن لجن نماینگر چنین رخدادی است. برای رفع این مسئله، وجود مواد مغذی به طور کامل ضرورت دارد. مقادیر مورد استفاده را باید با دقت تنظیم کرد به طوری که مواد مغذی به طور ناخواسته بیش از حد ایجاد نشود و این مواد مغذی اضافی همراه با جریان خروجی تصفیه شده تخلیه گردند [۱].

اثرات عوامل بیماری‌زا: ارگانیسم‌ها عامل ایجاد بیماری هستند و ابتلا به یک بیماری عفونی زمانی رخ می‌دهد که این ارگانیسم‌ها وارد بدن میزبانی شده (مثلاً انسان یا حیوان) و در آن‌جا تکثیر شوند. پاتوژن‌ها شامل باکتری‌ها، ویروس‌ها، پروتوزوآها و کرم‌ها می‌باشند. در حالی که فاضلاب‌های خانگی و بیمارستانی ممکن است معمولاً به چنین میکروارگانیسم‌هایی آلوده باشند (به ویژه باکتری‌ها و ویروس‌ها)، فاضلاب‌های صنعتی معمولاً از جنبه آلودگی به عوامل پاتوژن کمتر مورد نظر هستند. مسئله مورد توجه در این‌جا، وجود این‌گونه ارگانیسم‌ها در فاضلابی است که به یک آب پذیرنده تخلیه و سپس انواع بیماری‌ها از طریق آب منتقل می‌شوند. بسیاری از این ارگانیسم‌ها می‌توانند به طور قابل قبولی با گندزدایی کافی جریان خروجی تصفیه شده حذف شوند، اما مواردی وجود دارند که نمی توان به آسانی با آن‌ها سروکار داشت. دو نمونه از این ارگانیسم‌ها به نام‌های کریپتوسپوریدیوم و ژیاردیا هستند که از خانواده پروتوزوآها می‌باشند. مشکل این است که میزبان آلوده، ضرورتاً ارگانیسم را دفع نمی‌کند بلکه احتمالاً تخم یا لارو آلوده دفع می‌شود [۱].

با توجه به تأثیرات ذکر شده، معمولاً تصفیه فاضلاب‌های صنعتی مورد نیاز خواهد بود تا حداقل به پارامترهایی از قبیل مواد جامد معلق (SS[1])، دما، مقدار ماده آلی با توجه به BOD و COD، pH، فلزات و ترکیبات آلی خاص و ... توجه شود.

به همین منظور در این بررسی سعی شده است تا با ایجاد تغییراتی در روند تصفیه یک فاضلاب صنعتی- دارویی، عملکرد این فرآیند بهبود یابد. از این رو کارایی منعقدکننده‌های سولفات‌آلومینیوم، کلریدفریک و پلی‌آلومینیوم‌کلرید در حذف کدورت فاضلاب حاصل از این واحد تولیدی مورد ارزیابی قرار گرفته است و پس از تعیین بهترین نوع عملکرد در بین این سه ماده از طریق تست جار، منعقدکننده مناسب را انتخاب نموده و سپس به منظور بهبود کیفیت عملکرد فرآیند، عملیات اوزوناسیون و همچنین افزودن ترکیب سدیم سولفید را بر

[1] Suspended Solids

روی پساب حاصل آزمایش نموده و نتایج کار را در قالب بررسی پارامترهای زیست محیطی و فلزات سنگین مورد ارزیابی قرار می‌دهیم.

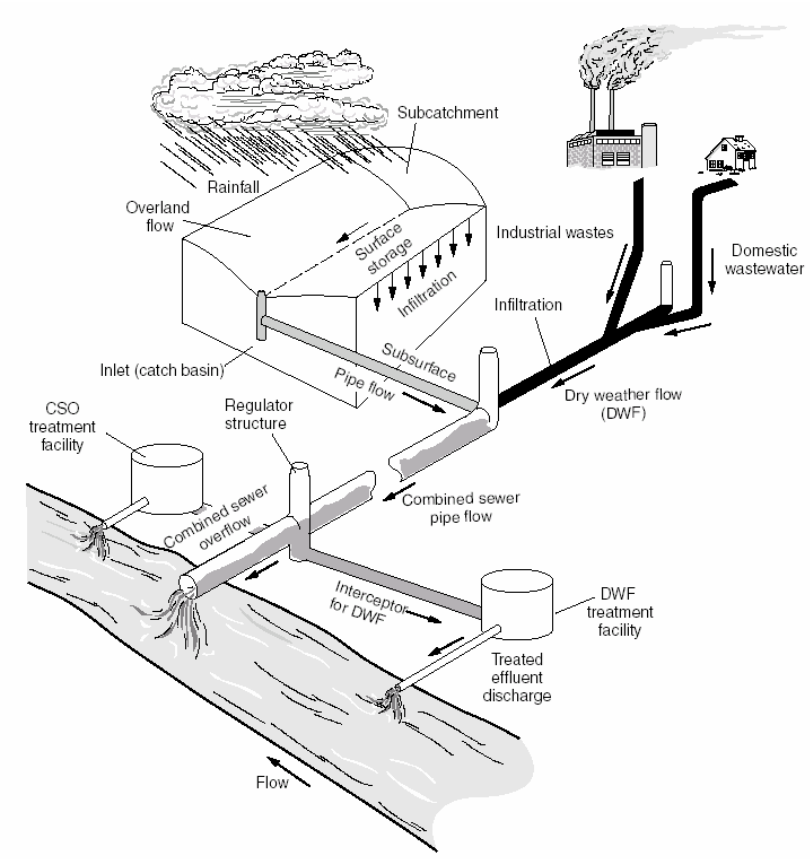
جهت دستیابی به این هدف در ابتدا اطلاعات مختصری در رابطه با پساب‌های صنعتی و چگونگی روند تصفیه آن‌ها در اختیار خواهیم گذاشت و سپس با مکانیسم‌های فرآیند انعقاد و لخته‌سازی، نوع مواد به کار رفته به منظور انجام این فرآیند و همچنین اوزوناسیون که مباحث مهم و قابل توجه این تحقیق را به خود اختصاص می‌دهند آشنا خواهیم شد. در فصل بعد فاضلاب‌های صنایع داروسازی، آلاینده‌های مهم موجود در این گونه از فاضلاب‌ها و نیز نحوه تصفیه آن‌ها معرفی خواهند شد. فصل چهارم نیز روش انجام آزمایشات، مواد و وسایل مورد نیاز و شرایط به کار رفته در آزمایش را مورد بحث قرار می‌دهد. فصل آخر که به عنوان مهمترین بخش از این تحقیق به حساب می‌آید به بررسی و بحث در مورد نتایج آزمایش می‌پردازد و پیشنهادات و راهکارهایی را در جهت دستیابی به نتایج بهتر و مؤثرتر در اختیار خواهد گذاشت.

فصل ۲

تکنولوژی‌های تصفیه فاضلاب

۲-۱- مقدمه

اساساً به منظور طراحی مناسب واحدهای تصفیه فاضلاب و انتخاب تکنولوژی مناسبی برای تصفیه آن‌ها به داشتن درک درستی از ماهیت فاضلاب نیاز است. فاضلاب‌ها عمدتاً ناشی از محل‌های مسکونی، مؤسسات تجاری و صنعتی و نیز آب‌های زیرزمینی، سطحی و آب‌های ناشی از طوفان می‌باشند (شکل ۲-۱). در نتیجه تغییرات گسترده‌ای ممکن است در نرخ جریان فاضلاب یک جامعه رخ دهد [۲].



شکل ۲- ۱) منابع تولیدکننده فاضلاب [۲].

کیفیت فاضلاب می‌تواند از طریق ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی تعریف شود. پارامترهای فیزیکی شامل رنگ، بو، دما و کدورت هستند. مواد نامحلولی از قبیل ذرات جامد، روغن و گریس نیز در این دسته قرار می‌گیرند. ذرات جامد ممکن است در گروه جامدات محلول و معلق و همچنین اجزاء آلی (فرار) و معدنی (ثابت) طبقه‌بندی شوند.

پارامترهای شیمیایی و نیز مواد آلی فاضلاب شامل اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) کل کربن آلی (TOC[1]) و کل اکسیژن مورد نیاز (TOD[1]) می‌باشد. پارامترهای شیمیایی معدنی

[1] Total Organic Carbon