بسم الله الرحمن الرحیم
بسم الله الرحمن الرحیم
بسم الله الرحمن الرحیم

وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

دانشکده فنی و مهندسی

گروه مهندسی معدن

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی معدن گرایش فرآوری مواد معدنی

بررسی امکان کاربرد نانوذرات فلزی در تصفیه آب و پساب‌های صنعتی

استاد راهنما:

دکتر غلامرضا کریمی

اساتید مشاور:

دکتر علی فضلوی

دکتر محمد رضا خانمحمدی خرمی

نگارنده:

سمیرا پورآزرم

بهمن ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

به پاس عاطفه‌ی سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است؛

به پاس قلب‌های بزرگشان که فریاد رس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید؛

و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

و تقدیم به تمامی کسانی که در راه اعتلای نام ایران عزیز گام برمی‌دارند.

چکیده

آلاینده‌های آلی پایدار از جمله کلروفرم که از فراوانترین تری‌هالومتانها بوده و در بسیاری از پسابهای صنعتی نیز وجود دارد، منابع محدود آب شیرین در دسترس را بیش از پیش در معرض مخاطره قرار داده است. در زمره‌ی مهم‌ترین روش‌های حذف آلاینده‌هایی از این دست، روش‌های مبتنی بر نانوفناوری و به ویژه روشهای حذف آلاینده‌ها به کمک نانوذرات فلزی می‌باشند که به دلایل اقتصادی و محیط زیستی، امروزه بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند. در این پژوهش از نانوذرات آهن صفر ظرفیتی برای حذف کلروفرم از پساب استفاده شد. در نخستین بخش، اثر زمان ماند، pH، غلظت نانوذرات و غلظت کلروفرم بر بازدهی فرآیند کلرزدایی بررسی گردید. نتایج نشان داد که افزایش زمان ماند از ۵ به ۱۸۰ دقیقه سبب افزایش بازدهی از ۲۱/٤٪ به ۹٤/۷٪ گردید. داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که با افزایش pH سرعت فرآیند کلرزدایی کاهش یافت تا جایی که در pH>8 تقریباً متوقف شد. افزایش غلظت کلروفرم از ۵ به ppm ۱۰۰ بازدهی را از ۵۰/٦٪ به ۹۸/۷۱٪ افزایش داد. هم‌چنین مشاهده شد که با تغییر غلظت نانوذرات از ۰/۵ به ۵ گرم بر لیتر، بازدهی از ٦۰/۸٪ به ۹۳/۰۵٪ افزایش یافت. کلروفرم با غلظت ppm ۱۰ با ۱ گرم بر لیتر نانوذره در دما و pH محیط، ظرف مدت ۱ ساعت با راندمان ۹۰/٤۵٪ تفیه گردید. در بخش دوم، نسبت بهینه‌ی نانوذره به کلروفرم مورد بررسی قرار گرفت ۰/۱ به عنوان نسبت بهینه تعیین شد. در بخش سوم، کارآیی نانوذرات در دومین سیکل کلرزدایی بررسی شد و در پساب حاوی ppm ۱۰ کلروفرم بازدهی ۵۵/٦٪ به دست آمد. در مرحله‌ی نهایی نیز نانوذرات در آزمایشگاه به روش احیای شیمیایی سنتز شد و کارآیی آنها به صورت مقایسه‌ای ارزیابی گردید.

کلیدواژه: آلاینده‌های آلی پایدار، کلروفرم، پساب‌های صنعتی، نانوذرات، آهن صفرظرفیتی

در آغاز سپاس می‌گزارم پروردگار یکتا را که هستی‌ام بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونم شد و سپس از اساتید بزرگوار آقای دکتر غلامرضا کریمی که راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و آقایان دکتر علی فضلوی و دکتر محمد رضا خانمحمدی خرمی اساتید مشاور پایان نامه قدردانی می‌نمایم. هم‌چنین از سازمان صنایع کوچک استان قزوین به دلیل حمایت مالی از این پژوهش سپاس گزاری می‌کنم.

فهرست مطالب

عنوان صفحه

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- انواع آلاینده‌ها در آب و پساب‌ها ۳

۱-۳- هیدروکربن‌های هالوژن‌دار ٤

۱-٤- میزان آلایندگی هیدروکربن‌های هالوژن‌دار در ایران ٥

۱-٥- روش‌های حذف آلاینده‌ها در پساب‌های صنعتی ٦

۱-٦- اهداف پژوهش ۸

فصل دوم: تاریخچه‌ی مطالعات

۲-۱- مقدمه ۱۱

۲-۲- کاربرد نانوذرات در تصفیه‌ی پساب‌ها ۱۱

۲-۲-۱- پیشینه‌ی استفاده از آهن فلزی در تصفیه‌ی آب و پساب ۱۲

۲-۲-۲- کاربرد نانوذرات آهن فلزی در تصفیه‌ی آب و پساب ۱٤

۲-۲-۳- سنتز نانوذرات آهن فلزی ۱۸

۲-۲-٤- پوشش دادن نانوذرات آهن فلزی ۲۰

۲-۳- مکانیزم کلرزدایی ۲۲

۲-۳-۱- نقش نانوذرات آهن فلزی در مکانیزم کلرزدایی ۲۲

۲-۳-۲- نقش پوشش پلیمری نانوذرات آهن فلزی در مکانیزم کلرزدایی ۲۳

۲-۳-۳- محصولات واکنش کلرزدایی ۲٤

۲-٤- سینتیک واکنش کلرزدایی ۲٥

۲-۵- پارامترهای مؤثر در فرآیند کلرزدایی ۲۷

فصل سوم: شرح و نتایج آزمایشات

۳-۱- مقدمه ۳۲
۳-۲- کلروفرم ۳۲
۳-۲-۱- کاربردهای کلروفرم ۳۳
۳-۲-۲- خطرات کلروفرم ۳٤
۳-۲-۳- حد مجاز کلروفرم ۳٤
۳-۳- مواد و تجهیزات ۳۵
۳-۳-۱- پساب مصنوعی ۳۵
۳-۳-۲- نانوذرات آهن صفرظرفیتی ۳۵
۳-۳-۳- تجهیزات ۳٦
۳-۳-٤- کروماتوگرافی گازی ۳۸
۳-٤- شرح آزمایشات ٤۰
۳-٤-۱- محاسبه‌ی میزان نانوذره‌ی مورد نیاز ٤۱
۳-٤-۲- بررسی تاثیر زمان ماند واکنش کلرزدایی ٤۲
۳-٤-۲-۱- شرح آزمایش بررسی تاثیر زمان ماند واکنش کلرزدایی ٤۲
۳-٤-۲-۲- نتایج آزمایش بررسی تاثیر زمان ماند واکنش کلرزدایی ٤۳
۳-٤-۳- بررسی تاثیر pH ٤٤
۳-٤-۳-۱- شرح آزمایش بررسی تاثیر pH ٤٤
۳-٤-۳-۲- نتایج آزمایش بررسی تاثیر pH ٤۵
۳-٤-٤- بررسی تاثیر غلظت کلروفرم ٤۷
۳-٤-٤-۱- شرح آزمایش بررسی تاثیر غلظت کلروفرم ٤۷
۳-٤-٤-۲- نتایج آزمایش بررسی تاثیر غلظت کلروفرم ٤۷
۳-٤-۵- بررسی تاثیر غلظت نانوذرات ٤۷

۳-٤-٥-١- شرح آزمایش بررسی تاثیر غلظت نانوذرات ٤٨
۳-٤-٥-٢- نتایج آزمایش بررسی تاثیر غلظت نانوذرات ٤٨
۳-٤-٦- بررسی تاثیر نسبت نانوذره به آلاینده ٤٩
۳-٤-٦-١- شرح مرحله‌ی اول آزمایش بررسی تاثیر نسبت نانوذره به آلاینده ٤٩
۳-٤-٦-٢- نتایج مرحله‌ی اول آزمایش بررسی تاثیر نسبت نانوذره به آلاینده ٥٠
۳-٤-٦-٣- شرح مرحله‌ی دوم آزمایش بررسی تاثیر نسبت نانوذره به آلاینده ٥٠
۳-٤-٦-٤- نتایج مرحله‌ی دوم آزمایش بررسی تاثیر نسبت نانوذره به آلاینده ٥٠
۳-٤-٧- بررسی قابلیت کلرزدایی نانوذرات آهن در استفاده‌ی مجدد ٥١
۳-٤-٧-١- شرح آزمایش بررسی قابلیت کلرزدایی نانوذرات آهن در استفاده‌ی مجدد ... ٥١
۳-٤-٧-٢- نتایج آزمایش بررسی قابلیت کلرزدایی نانوذرات آهن در استفاده‌ی مجدد ... ٥١
۳-٥- سنتز نانوذرات آهن فلزی ٥٢

فصل چهارم: تحلیل نتایج

٤-١- مقدمه ٥٦
٤-٢- بررسی تاثیر زمان ماند واکنش کلرزدایی ٥٦
٤-٢-١- بررسی سینتیک واکنش کلرزدایی ٥٦
٤-٢-٢- زمان ماند بهینه ٥٧
٤-٣- بررسی تاثیر pH ٥٨
٤-٣-١- روند تغییرات pH در طول مدت آزمایش ٥٨
٤-٣-٢- تحلیل دلایل وجود رابطه‌ی عکس بین pH و فعالیت نانوذرات ٥٩
٤-٣-٣- تاثیر تغییرات pH بر سینتیک واکنش کلرزدایی ٦٠
٤-٣-٤- مقایسه‌ی تغییرات pH در نمونه‌های با غلظت نانوذره متفاوت ٦١
٤-٤- بررسی تاثیر غلظت کلروفرم ٦١
٤-٤-١- بررسی کارآیی نانوذرات در غلظت‌های بسیار پایین کلروفرم ٦٢

٤-٥- بررسی تاثیر غلظت نانوذرات ٦٣
٤-٥-١- رابطه‌ی بین افزایش غلظت نانوذرات و آگلومراسیون ٦٤
٤-٥-٢- رابطه‌ی بین افزایش غلظت نانوذرات و کاهش اکسیژن محلول ٦٥
٤-٥-٣- غلظت بهینه‌ی نانوذرات ٦٥
٤-٦- بررسی نسبت نانوذره به کلروفرم ٦٦
٤-٦-١- نسبت بهینه‌ی نانوذره به کلروفرم ٦٦
٤- ٦-٢- روند پیشرفت واکنش کلرزدایی در غلظت‌های متفاوت کلروفرم و نسبت یکسان نانوذره به کلروفرم ٦٧
٤-٧- بررسی قابلیت کلرزدایی نانوذرات در استفاده‌ی مجدد ٦٨
٤-٨- سنتز نانوذرات آهن فلزی ٦٨

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

٥-١- نتیجه‌گیری ٧١
٥-٢- پیشنهادات ٧٢
فهرست منابع ٧٤
پیوست ٧٩

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱- نانوذراتی که در پژوهش‌های مختلف برای تجزیه‌ی هیدروکربن‌های کلردار به کار گرفته شده‌اند ۱۸

جدول ۲-۲- آلاینده‌های رایج که توسط نانوذرات آهن فلزی قابل تصفیه می‌باشند ۳۰

جدول ۳-۱- خصوصیات نانوذرات آهن سنتز شده در پژوهشگاه صنعت نفت ۳۶

جدول ۳-۲- شرایط محیط انجام آزمایش بررسی تاثیر غلظت نانوذره ٤٨

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱- دیواره‌ی واکنش پذیر تراوا ۱٤

شکل ۲-۲- سطح ویژه‌ی نانوذرات بر اساس اندازه‌ی ذرات ۱۵

شکل ۲-۳- مدل هسته- پوسته ۲۰

شکل ۲-٤- نانوذره‌ی آهن امولسیون شده با ترساز..... ۲۱

شکل ۲-۵- مکانیزم کلرزدایی..... ۲۳

شکل ۲-٦- نانوذره‌ی آهن فلزی پوشش داده شده با نشاسته در تجزیه‌ی کلروفرم..... ۲٤

شکل ۳-۱- ساختار مولکولی کلروفرم ۳۳

شکل ۳-۲- تصویر TEM و طیف XRD نانوذرات آهن سنتز شده در پژوهشگاه صنعت نفت .. ۳۵

شکل ۳-۳- ترازو ۳٦

شکل ۳-٤- همزن مغناطیسی ۳٦

شکل ۳-۵- میکروسانتریفیوژ ۳۷

شکل ۳-٦- اون..... ۳۷

شکل ۳-۷- pH متر ۳۷

شکل ۳-۸- شیکر ۳۸

شکل ۳-۹- عملکرد دستگاه کروماتوگراف گازی ۳۹

شکل ۳-۱۰- تغییرات pH بر حسب زمان در بررسی تاثیر زمان ماند واکنش کلرزدایی ٤۳

شکل ۳-۱۱- تاثیر زمان تماس بر بازدهی ٤٤

شکل ۳-۱۲- تاثیر pH بر بازدهی ٤۵

شکل ۳-۱۳- تغییرات pH بر حسب زمان در ظرف اول در بررسی تاثیر pH ٤٦
شکل ۳-۱٤- تغییرات pH بر حسب زمان در ظرف دوم در بررسی تاثیر pH..... ٤٦
شکل ۳-۱۵- تغییرات pH بر حسب زمان در ظرف سوم در بررسی تاثیر pH..... ٤٦
شکل ۳-۱٦- تاثیر غلظت کلروفرم بر بازدهی ٤٧
شکل ۳-۱۷- تاثیر غلظت نانوذرات بر بازدهی ٤٨
شکل ۳-۱۸- تغییرات pH بر حسب غلظت نانوذرات در بررسی تاثیر غلظت نانوذرات ٤٩
شکل ۳-۱۹- تاثیر نسبت نانوذره به کلروفرم بر بازدهی ۵۰
شکل ۳-۲۰- تاثیر نسبت نانوذره به کلروفرم و زمان تماس بر بازدهی ۵۱
شکل ۳-۲۱- بررسی کارآیی نانوذرات آهن در استفاده‌ی مجدد ۵۲
شکل ۳-۲۲- مراحل سنتز نانوذرات آهن فلزی در آزمایشگاه ۵۳
شکل ۳-۲۳- محفظه نیتروژن زنی و نگهداری نانوذرات ٥٤
شکل ۳-۲٤- بررسی کارآیی نانوذرات سنتز شده در آزمایشگاه در شرایط بهینه ۵۸
شکل ٤-۱- مقایسه‌ی غلظت‌های باقی مانده‌ی کلروفرم با حدود مجاز ٥٤

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

آب از ضروری‌ترین عناصر حیات بر روی زمین است و اگرچه حدود دو سوم (بیش از ۷۰٪) از سطح کره‌ی زمین را آب فرا گرفته است، اما کم‌تر از ۳٪ از آن آب شیرین[1] می‌باشد. از این مقدار ۷۹٪ متعلق به قله‌هایسی یخی بوده، ۲۰٪ آن آب‌های زیرزمینی است که به راحتی قابل دسترس نمی‌باشد و فقط ۱٪ آن شامل دریاچه‌ها، رودخانه‌ها و چاه‌ها می‌باشد که به آسانی به دست می‌آید. در مجموع در هر زمان تنها یک ده هزارم از کل آب‌های کره‌ی زمین به سادگی در دسترس انسان قرار دارد. بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل متحد[2] در سال ۲۰۳۵ میلادی حدود ٤٨ کشور (۳۲٪ جمعیت جهان) دچار کمبود آب آشامیدنی می‌شوند [۱].

در حال حاضر از ٦١٢ دشت کشور ایران، ۱۵۰ دشت در مناطق ممنوعه و بحرانی قرار دارد. با قبول این وضعیت، بخش بزرگی از مزارع کشور در محدوده‌ی کویر قرار می‌گیرد و مشخص می‌شود که خشک‌سالی یک واقعیت طبیعی و اقلیمی در کشور ماست. جمعیت ایران حدود ۱٪ جمعیت جهان است ولی سهم آن از کل منابع آب شیرین در دنیا ۰/۳٦٪ می‌باشد. [۲] از طرف دیگر توسعه‌ی فعالیت‌های بشری به ویژه در زمینه‌ی صنعت و کشاورزی که در بسیاری از موارد نیازمند استفاده از منابع آب شیرین می‌باشد، سبب شده است تا مقدار اندک آب شیرین در دسترس نیز در بسیاری از نقاط دچار آلودگی شده و از دسترس خارج گردد. لذا در آینده ایران نیز یکی از کشورهایی خواهد بود که بحران مصرف بالا و کم‌آبی را به دلیل افزایش جمعیت شهرنشین و ارتقای سطح صنعت و کشاورزی، پیش‌رو خواهد داشت. بیش از ۵۰٪ ذخایر آب شیرین کشور، وابسته به منابع آب زیرزمینی[3] است که ذخایر اصلی کشور در سال‌های خشک‌سالی محسوب می‌گردد. به همین دلیل کنترل آلاینده‌های[4] آب‌های زیرزمینی و سطحی یکی از دغدغه‌های بخش صنعت، محیط زیست و آب می‌باشد. چرا که امکان بازیافت آب، دسترسی به یک منبع مناسب برای مصارف گوناگون را فراهم خواهد آورد.

1. Freshwater
2. The united nations organization
3. Groundwater
4. Pollutants, Contaminant

۱-۲- انواع آلاینده‌ها در آب و پساب‌ها

برای تصفیه[1] و بازیافت آب‌های آلوده و پساب‌ها آگاهی از انواع آلاینده‌های موجود و اهمیت آن‌ها از نظر میزان خطرآفرینی امری ضروری است. از این جهت در این بخش به معرفی انواع آلاینده‌ها و درجه‌ی اهمیت آن‌ها پرداخته می‌شود. آلاینده‌های آب از حیث نوع آلایش در سه گروه فیزیکی، شیمیایی و زیستی[2] جای می‌گیرند، اما از لحاظ نوع آلاینده می‌توان آن‌ها را در هشت گروه زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱- ترکیبات آلی مصنوعی: مواد آلی مصنوعی بیش‌تر در مصارفی از قبیل مبارزه با آفات نباتی، داروسازی، تهیه‌ی الیاف، پودرهای شوینده، مواد پلاستیکی، مواد سوختی، رنگ‌ها، نرم کننده‌ها، فیبرها، آلاستومرها، افزودنی‌های غذایی و نیز به عنوان حلال کاربرد دارند.

۲- مواد غیرآلی و معدنی: شامل املاح غیرآلی، اسیدهای معدنی، فلزات و ترکیبات فلزی می‌باشند. مهم‌ترین و شاید سمی‌ترین ترکیبات فلزی در محیط زیست، جیوه، سرب، کادمیوم، آرسنیک، کروم، نیکل، مس، منگنز و بعضی فلزات دیگر هستند.

۳- مواد مغذی گیاهی: به ویژه فسفات و نیترات که اکثراً از زهاب‌های کشاورزی و شوینده‌های خانگی ناشی می‌شوند.

٤- آلودگی گرمایی: از به کار بردن آب به عنوان خنک کننده در مراکز حرارتی ناشی می‌شود.

۵- رسوبات: مواد جامد مهم‌ترین منبع آلودگی آب‌های سطحی به شمار می‌روند.

٦- عوامل بیماری‌زا: ناشی از فاضلاب‌های انسانی می‌باشند.

۷- مواد رادیواکتیو

۸- نفت و روغن

همان‌طور که ملاحظه می‌شود آلودگی‌های زیستی و شیمیایی مهم‌ترین آلاینده‌ها می‌باشند. آلودگی‌های زیستی را می‌توان به وسیله‌ی یکی از تکنولوژی‌های موجود مانند کلرزنی[3]، ازن،

1. Purification
2. Biological
3. Chlorination

اشعه‌ی فرابنفش و ... با بازدهی بالایی رفع نمود، اما رفع نمودن آلودگی‌های شیمیایی مشکل‌تر است [۳،٤]. آلودگی‌های شیمیایی می‌توانند به وسیله‌ی فلزات سنگین، ترکیبات شیمیایی آلی مثل هیدروکربن‌های هالوژنه[1]، بنزن، تولوئن و ... و گونه‌های غیرآلی دیگر مانند یون نیترات، فسفات و ... به وجود آیند [۵].

بسیاری از آلاینده‌های آلی که در دسته‌بندی فوق قرار می‌گیرند در شمار آلاینده‌های آلی پایدار[2] می‌باشند و زمان بسیاری را در اکوسیستم‌های آبی به تخریب و تهدید زیست‌بوم و آبزیان می‌پردازند. آفت‌کش‌ها (به ویژه آفت‌کش‌های کلره) و نیز پلی‌کلریدبی‌فنیلها در کنار بخشی از هیدروکربورهای نفتی و شوینده‌ها در شمار مواد آلی پایدار قرار گرفته و اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی بسیاری را بر جای می‌گذارند. آلاینده‌های آلی پایدار ترکیباتی هستند که دارای خاصیت سمی پایدار بوده و خاصیت تجمعی در بافت‌های زنده و استعداد ذخیره و انتقال درازمدت دارند. هم‌چنین دارای حلالیت کم در آب و حلالیت بالا در برخی از حلال‌های آلی مانند چربی‌ها بوده و می‌توانند باعث بروز اثرات زیان‌بار بر محیط زیست و سلامت بشر در محل‌های دور یا نزدیک از این منابع شوند. پاک‌سازی این ترکیبات به آسانی امکان‌پذیر نیست، برای این که اکثر این مواد نسبتاً فرارند، فعالیت و پراکندگی دوباره‌ی آن‌ها از طریق جو اغلب شناسایی این منابع ویژه را دچار مشکل می‌سازد. این مواد، نیمه‌عمر زیست‌محیطی طولانی دارند. بنابراین رهاسازی متوالی آن‌ها در طول زمان منجر به ذخیره‌ی دائم و حضور آن‌ها در همه جای محیط زیست جهانی می‌شود [٦].

۱-۳- هیدروکربن‌های هالوژن‌دار

ترکیبات آلی هالوژن‌دار در زمره‌ی گسترده‌ترین آلاینده‌های آب در کشورهای صنعتی قرار می‌گیرند. این ترکیبات، خطرناک‌ترین ترکیباتی هستند که غالباً پایداری بالایی دارند. این آلاینده‌ها به علت سمی‌بودن و سرطان‌زایی بالا به عنوان آلاینده‌های دارای تقدم[3] توسط سازمان حفاظت از محیط زیست ایالات متحده[4] فهرست شده‌اند. [۷،۸]

1. Halogenated hydrocarbons
2. Persistent organic pollutants
3. Priority pollutants
4. United States Environmental Protection Agency

ترکیبات هالوژن‌دار، ترکیبات شیمیایی شامل یک یا چند اتم کربن هستند که از طریق پیوند کووالانسی با یک یا چند اتم هالوژن پیوند برقرار کرده و ترکیبات آلی فلوئوردار، کلردار، برم‌دار و یددار را به وجود می‌آورند. هیدروکربن‌های کلردار[1] رایج‌ترین هالوکربن‌ها[2] بوده و ارگانوکلرید نیز نامیده می‌شوند. هالوکربن‌ها بدون در نظر گرفتن نوع هالوژن همانند هیدروکربن‌ها بر اساس نوع پیوندهای بین اتم‌های کربن به سه گروه هالوآلکان‌ها، هالوآلکن‌ها و هالوآروماتیک‌ها تقسیم‌بندی می‌شوند. اتم‌های هالوژن در مولکول‌های هالوکربن، گروه استخلافی (قابل تعویض) نامیده می‌شوند زیرا جایگزین اتم‌های هیدروژن شده‌اند [۹].

هیدروکربن‌های هالوژن‌دار علاوه بر پساب‌های صنعتی[3] در آب‌های تصفیه شده نیز وجود دارند که تحت عنوان تری‌هالومتان[4] (هالوفرم) ها نامیده می‌شوند. مهم‌ترین عامل تشکیل تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی تصفیه شده این است که کلر به جا مانده از ضدعفونی‌کننده‌های آب آشامیدنی از قبیل کلر، کلرآمین و دی‌اکسیدکلر که برای گندزدایی در آب آشامیدنی استفاده می‌شود بر اثر واکنش با مواد آلی طبیعی[5] در آب از قبیل هیومیک اسیدها، فولیک اسیدها و مواد آلی که از جلبک‌ها (این ترکیبات با وزن مولکولی پایین به وسیله فیلتراسیون متداول حذف نمی‌شوند) به جامانده‌اند ترکیب شده، باعث تولید مواد ناخواسته جانبی حاصل از گندزدایی از قبیل کلروفرم[6]، بروموفرم، دی‌بروموکلرومتان و دی‌کلروبرومومتان در آب شرب می‌شود [۱۰].

۱-٤- میزان آلایندگی هیدروکربن‌های هالوژن‌دار در ایران

در ایران مطالعات بسیار اندک و ناچیزی توسط دانشگاهیان بر روی مواد آلی فرار انجام شده و فقط غلظت تعداد محدودی از این مواد در آب شرب شناسایی و اندازه‌گیری شده است. آلاینده‌های آلی فرار در آب شرب اکثر شهرهای بزرگ دنیا روزانه پایش می‌شود، اما در شهر تهران به دلیل پیچیدگی و هزینه‌بربودن روش آنالیز کروماتوگرافی گازی/طیف‌سنجی جرمی[7] این

1. Chlorinated hydrocarbons
2. Halocarbons
3. Industrial wastewaters
4. Trihalomethans
5. Natural organic matter
6. Chloroform
7. Gas chromatography/mass spectrometry

کار نه تنها به صورت مدون انجام نمی‌شود بلکه فقط به صورت موردی در چند مطالعه‌ی تحقیقاتی آن هم برای تعداد محدودی از مواد آلی فرار بر روی آب شرب انجام شده است. در بعضی از شهرهای ایران غلظت تری‌هالومتان‌ها بسیار بالاتر از حد مجاز را نشان داده است. غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب شرب شهرهای مختلف ایران بین ppb ۷۲۳-۵ گزارش شده است. در برخی از مطالعات انجام گرفته در سال ۱۳۷۳ برای سنجش غلظت تری‌هالومتان‌ها در آب آشامیدنی شهر تهران ۲۵٪ از نمونه‌ها دارای غلظت بیش از حد مجاز بوده است. هم‌چنین در سال ۱۳۷٦ مطالعه‌ی دیگری در همین زمینه بر روی آب‌های آشامیدنی تعدادی از شهرهای بزرگ ایران انجام شده که غلظت این گروه از آلاینده‌ها در آب شهرهایی مانند اهواز، اصفهان و بندرعباس در بعضی از ماه‌های سال چندین برابر بیش از حد مجاز گزارش شده است [۱۱،۱۲].

متاسفانه پژوهشگر موفق به کسب اطلاعات جامع و دسته‌بندی شده‌ای در مورد وجود یا عدم وجود این گروه از آلاینده‌ها در آب و پساب‌های صنعتی ایران نشد، اما با در نظر گرفتن مطالب بالا و نیز با توجه به در اولویت قرار گرفتن هیدروکربن‌های هالوژنه به عنوان یکی از خطرناک‌ترین و فراوان‌ترین آلاینده‌های موجود در آب و پساب‌های صنعتی در بسیاری از کشورهای پیشرفته و صنعتی، می‌توان اهمیت این مساله را در ایران نیز نتیجه‌گیری نمود.

۱-۵- روش‌های حذف آلاینده‌ها در پساب‌های صنعتی

تصفیه‌ی پساب‌های صنعتی ممکن است به روش فیزیکی، شیمیایی، زیستی و یا ترکیبی از این روش‌ها انجام شود. آشغال‌گیری، ته‌نشینی، تجمع ذرات، صاف‌کردن، استفاده از ستون‌های جاذب و اسمز معکوس از مرسوم‌ترین روش‌های فیزیکی می‌باشند. تصفیه‌ی شیمیایی نیز شامل استفاده از مواد شیمیایی برای گندزدایی می‌شود که پرکاربردترین این مواد برم، ید، ازن، کلر و ترکیبات آن هستند. اساس جریان‌های تصفیه‌ی زیستی تماس تعداد بسیار زیادی از میکروارگانیسم‌ها با پساب و استفاده از مواد آلی موجود در پساب به عنوان منبع غذایی آن‌ها و حذف آلاینده‌ها در زمان کوتاهی می‌باشد.

امروزه به دلیل افزایش غلظت آلاینده‌ها روش‌های متعارف جوابگوی نیاز تصفیه‌خانه‌ها نبوده و تکامل بیشتر استاندارد پساب‌های خروجی، اغلب تصفیه‌خانه‌ها را ناگزیر به استفاده از تصفیه‌ی شیمیایی می‌نماید ولی به دلیل هزینه‌ی زیاد، استقبال چندانی از این روش‌ها نشده است. به طور کلی، هزینه‌ی بالای روش‌های مرسوم در تصفیه‌ی پساب‌های صنعتی را می‌توان از مهم‌ترین

معایب آن‌ها دانست. در روش‌های تصفیه‌ی زیستی نیز حساسیت میکروارگانیسم‌ها به شرایط محیطی مانند وجود اکسیژن، مواد غذایی معدنی، حرارت و pH استفاده از این روش‌ها را با مشکل مواجه نموده است. از طرف دیگر هر کدام از این روش‌ها به تنهایی قادر به حذف تمام آلودگی‌ها نیستند و در بیش‌تر موارد نیاز به استفاده‌ی متوالی از چندین روش تصفیه می‌باشد که هزینه‌های سرمایه‌ای و نگهداری را افزایش می‌دهد.

روش‌های تصفیه‌ی هیدروکربن‌های هالوژنه را نیز می‌توان به سه گروه فیزیکی، شیمیایی و زیستی تقسیم‌بندی نمود. روش‌هایی که به طور معمول در مقیاس عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرد شامل جذب بر روی کربن فعال [۷،۱۳،۱٤]، سوزاندن[1] [۷،۱٤،۱٤،۱٦]، اکسیداسیون [۷،۱٤،۱۷،۱۸] و استفاده از میکروارگانیسم‌ها [۱۹] است.

به طور کلی فرآیند جذب بر روی کربن فعال روش پرهزینه‌ای است و در صورتی که پساب مورد نظر حاوی مواد معلق دانه‌درشت باشد روش‌های پیش‌تصفیه نیز برای زدودن مواد معلق مورد نیاز است. هم‌چنین پس از جمع‌آوری مواد آلی نیاز به استفاده از روش‌های تصفیه‌ی پیشرفته برای نابودی نهایی آن‌ها می‌باشد.

سوزاندن با استفاده از کوره‌های زباله‌سوزی انجام می‌گیرد و برای احتراق کامل نیاز به شرایط خاصی از جمله دمای بسیار بالا (بیش‌تر از 1000^0C)، زمان ماند کافی، سوخت و اکسیژن فراوان دارد. کمبود اکسیژن می‌تواند منجر به تشکیل محصولات جانبی خطرناک و یا احتراق ناقص ترکیبات آلی شود. نگرانی‌های موجود در مورد تخلیه‌ی دیوکسین‌ها و فوران‌ها در هوا موجب اعمال محدودیت‌های شدیدی بر روی استفاده از کوره‌ها شده است. برای رفع این نگرانی‌ها شرایط عملیاتی کنترل شده و روش‌های پیچیده برای تصفیه‌ی گازهای احتراق مورد نیاز است که نیاز به هزینه‌های سرمایه‌ای بسیار بالایی دارد. البته استفاده از کوره‌های زباله‌سوز دارای مزایایی نظیر کاهش حجم باطله‌ها و بازیابی انرژی برای تولید بخار و الکتریسیته می‌باشد [۱٦،۲۰].

یکی از اکسنده‌های رایج در اکسیداسیون آلاینده‌های آلی هالوژن‌دار ازن می‌باشد. ازن به دلیل این که در محلول‌های آبی بسیار ناپایدار است، قبل از این که برای نابودی آلاینده‌ها مورد استفاده قرار گیرد تجزیه[2] می‌شود. هم‌چنین ازن ممکن است با سایر ناخالصی‌های موجود در آب واکنش دهد که این مساله مانع تشکیل هیدروکسیل‌های آزاد می‌شود. برای غلبه بر این مشکلات بایستی مقداری ازن اضافی به محیط پساب تزریق شود. از آن‌جایی که برای تولید ازن نیاز به مصرف

1. Incineration
2. Degradation

نیروی الکتریکی بسیار زیادی (۲۴-۱۶ کیلووات ساعت بر کیلوگرم ازن) می‌باشد، مصرف بیش‌تر ازن موجب صرف هزینه‌های زیاد برای این روش می‌شود [۲۱]. ازنه‌کردن[1] هم‌چنین می‌تواند منجر به تشکیل فرمالدهید، بورومات و پراکسیدهای ترکیبات آلی شود که ترکیباتی خطرناک هستند و در مقابل تصفیه‌ی شیمیایی و زیستی نیز مقاوم‌اند [۱۷].

هیدروکربن‌های کلردار اغلب سمی بوده و به دلیل این که حاوی آرایش‌های مولکولی هستند که به طور طبیعی وجود ندارد تجزیه‌ی آن‌ها توسط میکروارگانیسم‌ها مشکل است. تجزیه‌ی زیستی ترکیبات مقاوم به طور معمول طی چند مرحله انجام شده و شامل مصرف آنزیم‌های متفاوت و یا جمعیت‌های میکروبی مختلف است [۱۹]. هم‌چنین با وجود این که میکروب‌ها در محیط آزمایشگاه به خوبی عمل می‌کنند اما در محیط طبیعی مشکلاتی وجود دارد، به دلیل این که در محیط طبیعی منابع کربن دیگری در اختیار میکروب قرار می‌گیرد که این مساله موجب می‌شود تا هیدروکربن‌های کلردار از تماس با میکروارگانیسم‌ها محروم شده و عملیات تجزیه به درستی و با بازدهی مناسب انجام نگیرد.

بنابراین با توجه به پیشرفت روزافزون کشور در زمینه‌ی صنعت و کشاورزی و نیاز مبرم به منابع آب جدید، می‌توان از فناوری‌های نوین در این راه بهره جست. این مهم در سایه‌ی انجام نیازسنجی و مطالعه‌ی دقیق اولیه تحقق می‌یابد. با توجه به این که در سال‌های اخیر، ایران در حال اوج‌گیری در زمینه‌ی تحقیقات نانو است، عقلانی به نظر می‌رسد که در سمت و سودهی برنامه‌های کلان آب در کشور از فناوری نانو به عنوان یک پشتیبان قوی استفاده گردد. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فناوری نانو مقرون‌به‌صرفه‌بودن این روش در مقایسه با روش‌های دیگر است. علاوه بر این، نبود پسماند و شیرابه‌های ناشی از تصفیه‌ی آب و پساب در روش‌های مبتنی بر فناوری نانو سبب شده است که این روش‌ها به عنوان روش‌های سبز دوست‌دار محیط زیست مورد توجه قرار گیرند.

۱-۶- اهداف پژوهش

در این پژوهش از نانوذرات آهن فلزی[2] (صفرظرفیتی[3]) در تصفیه‌ی پساب مصنوعی حاوی کلروفرم استفاده می‌گردد. با توجه به مطالب ذکر شده در خصوص انواع آلاینده‌ها، هیدروکربن‌های هالوژن‌دار از خطرناک‌ترین و مشکل‌زاترین آلاینده‌های موجود در آب و

1. Ozonation
2. Metallic iron nanoparticles
3. Zero-valent