

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

گروه مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد

استفاده از نانو تکنولوژی برای حذف نیترات از فاضلاب شهری

بهزاد خلیلی

استاد راهنما

دکتر سید فضل الله ساغروانی

آذر ۹۴

ماحصل آموخته هایم را تقدیم می کنم:

به خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را، عشق را ...

و به کسانی که عشقشان را در وجودم دمید

به پدرم، که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم

بزرگواری که الفبای زندگی را از او آموختم

و به مقدس ترین واژه در لغت نامه دلم، مادرم، بلند تکیه گاهم، دریای بی کران فداکاری و عشق که

وجودم برایش همه رنج بود و وجودش برایم همه مهر

## تشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دریای بیکران اندیشه، قطره ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه های ناب آموزگارانی بزرگ به تماشا نشیند. لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است، بر خود لازم می دانم تا مراتب سپاس را از بزرگوارانی بجا آورم که اگر دست یاریگرشان نبود، هرگز این پایان نامه به انجام نمی رسید.

به مصداق «من لم یشکر المخلوق لم یشکر الخالق» بسی شایسته است از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر سید فضل الله ساغروانی که با کرامتی چون خورشید، سرزمین دل را روشنی بخشیدند و گلشن سرای علم و دانش را با راهنمایی های کار ساز و سازنده بارور ساختند و در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند؛ تقدیر و تشکر نمایم.

با تقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار دکتر رمضان واقعی و دکتر احمد احمدی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند؛

با سپاس بی دریغ خدمت کارشناسان ساعی و محترم دانشکده عمران، خانم مهندس کیوانلو و آقای مهندس محمدی؛

و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در به انجام رساندن این مهم یاری نموده اند؛

باشد که این خردترین، بخشی از زحمات آنان را سپاس گوید.

## تعهد نامه

اینجانب بهزاد خلیلی دانشجوی دوره ارشد رشته مهندسی عمران – مهندسی سازه‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه استفاده از نانو تکنولوژی برای حذف نیترات از فاضلاب شهری تحت راهنمایی دکتر سید فضل الله ساغروانی به عنوان استاد راهنمای اول متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام <<دانشگاه صنعتی شاهرود>> و یا <<shahrood university of technology>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

### تاریخ:

### امضای دانشجو

#### مالکیت نتایج و حق و نشر

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

\*متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیرشده پایان نامه / رساله وجود داشته باشد.

## چکیده

در تحقیق حاضر حذف نیترات از فاضلاب شهری به کمک نانو ذرات مغناطیسی آهن ( $Fe_3O_4$ ) پس از تثبیت آن بوسیله پلی‌اکریلیک اسید انجام شد. نتایج بررسی بر روی نمونه‌ها که با نسبت حجمی نانوسیال به فاضلاب ۱ به ۹ بدست آمده بود نشان داد که بیشترین حذف در غلظت ۷۰ ppm صورت می‌گیرد. ضمن اینکه با کاهش pH نمونه فاضلاب، حذف نیترات به میزان قابل توجهی افزایش یافت. و بالعکس در محیط‌های بازی کارایی نانو ذرات اکسید آهن کاهش یافته و درصد کمی از غلظت نیترات موجود در فاضلاب شهری از بین می‌رود. در این پژوهش حذف نیترات عمدتاً در دقایق ابتدایی صورت گرفت. بطوریکه در ۲۰ دقیقه ابتدایی آزمایش بیش از ۷۰ درصد نیترات در غلظت بهینه از بین رفت و بعد از ۶۰ دقیقه تقریباً تمامی نیترات از نمونه فاضلاب حذف گردید. در ادامه با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی محلول حاوی فاضلاب و نانو ذرات آهن از میان آهنربایی با میدان مغناطیسی ۱۹ mT با جریان متناوب عبور داده تا نانو آهن موجود در فاضلاب را جمع‌آوری کند و نتایج نشان داد پس از ۶۰ دقیقه حذف نیترات از فاضلاب بصورت کامل صورت گرفت.

**کلمات کلیدی:** نانو ذرات مغناطیسی آهن ( $Fe_3O_4$ )، پلی‌اکریلیک اسید، نیترات، فاضلاب شهری، آهنربا.

## لیست مقالات استخراج شده از پایان نامه

خلیلی ب و ساغروانی س.ف ، (۱۳۹۴)، " بررسی نانو ذره آهن مغناطیسی ( $Fe_3O_4$ ) تثبیت شده با پلی اکریلیک اسید در حذف نیترات "، چهاردهمین کنفرانس هیدرولیک ایران ، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت زاهدان، زاهدان.

## فهرست مطالب

۱	<b>فصل اول - کلیات و تعریف مساله</b>
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ بیان مساله
۳	۳-۱ اهداف تحقیق
۳	۴-۱ ساختار تحقیق
۵	<b>فصل دوم - مطالعه ادبیات فنی</b>
۶	۱-۲ مقدمه
۶	۲-۲ نانو کاتالیست‌ها
۸	۱-۲-۲ انواع نانو کاتالیست
۹	۲-۲-۲ ویژگی های اصلی نانو کاتالیست
۹	۳-۲ کاربرد نانو در تصفیه فاضلاب
۱۰	۴-۲ فرآیند جذب
۱۰	۱-۴-۲ جذب سطحی
۱۳	۲-۴-۲ کاربردهای فرآیند جذب در زمینه‌های زیست محیطی



۱۴	۵-۲	فرآیند غربالی
۱۴	۶-۲	فرآیند تجزیه
۱۶	۷-۲	فاضلاب
۱۶	۱-۷-۲	برکه تثبیت
۱۷	۲-۷-۲	ترتیب استقرار
۱۷	۳-۷-۲	مزایا و معایب برکه‌های تثبیت
۱۷	۴-۷-۲	آشغالگیر
۱۸	۱-۲	برکه بی‌هوای
۱۹	۲-۲	برکه اختیاری
۲۰	۳-۲	تلاش‌های گذشته برای حذف نیترات به کمک علم نانو
۲۰	۱-۳-۲	حذف بوسیله نانو آهن صفر ظرفیتی
۲۲	۴-۲	استفاده از نانو آهن برای حذف آلاینده‌های دیگر
۲۲	۱-۴-۲	حذف سرب
۲۳	۲-۴-۲	حذف کادمیم
۲۳	۳-۴-۲	حذف کروم شش ظرفیتی و نیکل دو ظرفیتی

۲۴	۴-۴-۲ حذف آرسنیک
۲۵	<b>فصل سوم - مواد و روش‌ها</b>
۲۶	۱-۳ مقدمه
۲۶	۲-۳ مواد و ابزار
۲۷	۳-۳ نانو ذره اکسید آهن
۲۸	۴-۳ پلی اکریلیک اسید
۲۸	۵-۳ معرف نیترات
۲۹	۶-۳ آهنربا
۳۰	۷-۳ مدل آزمایشگاهی جریان پیوسته
۳۱	۸-۳ حمام ULTRASONIC SB-106D
۳۲	۹-۳ تهیه محلول نانو
۳۳	۱۰-۳ اضافه کردن محلول نانو به نمونه
۳۵	۱۱-۳ جذب نانو از محلول نهایی
۳۶	۱۲-۳ اندازه‌گیری به وسیله دستگاه اسپکتوفتومتر HACH-DR6000
۳۷	۱۳-۳ روش تغییر pH

## فصل چهارم - تحلیل نتایج آزمایشات

۳۹	
۴۰	۱-۴ مقدمه
۴۰	۲-۴ آزمایشات امکان‌سنجی
۴۱	۳-۴ جمع‌آوری نانو با آهنربا
۴۸	۴-۴ اثر pH
۵۰	۵-۴ بهینه‌سازی زمان
۵۲	۶-۴ مدل آزمایشگاهی

## فصل پنجم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۵۳	
۵۴	۱-۵ مقدمه
۵۴	۲-۵ خلاصه پژوهش
۵۶	۳-۵ پیشنهادات
۶۴	مراجع

## فهرست اشکال

- ۸ شکل ۱-۲ برخی از نانوذرات اکسید فلزی به عنوان نانوکاتالیست
- ۱۶ شکل ۲-۲ تصویر ماهواره‌ای تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شاهرود
- ۱۸ شکل ۳-۲ قسمت ورودی تصفیه‌خانه بعد از آشغالگیرها
- ۱۹ شکل ۴-۲ برکه بی‌هوای تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شاهرود
- ۲۵ شکل ۵-۲ برکه اختیاری تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شاهرود
- ۲۷ شکل ۱-۳ نتایج آزمایش SEM نانو اکسید آهن ( $Fe_3O_4$ )
- ۲۸ شکل ۲-۳ پلی‌اکریلیک اسید استفاده شده در این پژوهش
- ۲۹ شکل ۳-۳ پودر معرف نیترات 5\* Nitraver
- ۳۰ شکل ۴-۳ آهنربا با جریان متناوب
- ۳۱ شکل ۵-۳ روش کار مدل آزمایشگاهی
- ۳۲ شکل ۶-۳ حمام اولتراسونیک
- ۳۳ شکل ۷-۳ نانو آهن  $Fe_3O_4$  و محلول PAA هنگام ترکیب با آب و تثبیت آن
- ۳۴ شکل ۸-۳ دستگاه لرزاننده (SK-O180-Pro / SK-L180-Pro)
- ۳۵ شکل ۹-۳ مرحله قرار گرفتن آهنربا در محلول نهایی و جمع آوری نانو ذرات

- شکل ۳-۱۰ دستگاه آنالیز HACH ۳۶
- شکل ۳-۱۱ نیتریک اسید و هیدروکلریک اسید ۳۷
- شکل ۴-۱ نمودار درصد حذف نیترات در غلظت‌های مختلف بدون تغییر pH فاضلاب ۴۳
- شکل ۴-۲ نمودار درصد حذف نیترات در غلظت‌های مختلف ۴۶
- شکل ۴-۳ نمودار درصد حذف نیترات ۴۸
- شکل ۴-۴ درصد حذف نیترات در غلظت و pH های مختلف ۵۰
- شکل ۴-۵ نمودار درصد حذف در بازه زمانی مختلف ۵۱

## فهرست جداول

- جدول ۱-۲ مزایا و معایب کاتالیست همگن و ناهمگن ۷
- جدول ۲-۲ مزایا و معایب نانو کاتالیست‌ها ۹
- جدول ۳-۲ تعدادی از موارد کاربرد عملی فرآیند جذب در زمین‌های زیست محیطی ۱۳
- جدول ۱-۴ مقدار نیتрат بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub>-N) و pH ۴۱
- جدول ۲-۴ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub>-N) و pH بعد از انجام آزمایش ۴۲
- جدول ۳-۴ مقدار پارامترهای اولیه ۴۴
- جدول ۴-۴ میزان خصوصیات فاضلاب بعد از اضافه کردن با محلول نانو ذره اکسید آهن ۴۵
- جدول ۵-۴ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) ۴۷
- جدول ۶-۴ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) بعد از انجام آزمایش ۴۷
- جدول ۷-۴ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) در ابتدا و انتهای انجام آزمایش ۴۹
- جدول ۸-۴ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) ۵۱
- جدول ۹-۴ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) ۵۲
- جدول ۱-۵ درصد حذف در غلظت‌های مختلف ۵۴
- جدول ۲-۵ درصد حذف در غلظت‌های مختلف ۵۵

۵۵

جدول ۳-۵ درصد حذف در غلظت‌های مختلف

۵۶

جدول ۴-۵ درصد حذف در غلظت‌های مختلف





# فصل اول

## کلیات و تعریف مساله

## ۱-۱ مقدمه

اقلیم عمدتاً گرم و خشک، رشد جمعیت و کشاورزی‌های ناموثر، مدیریت بد و عطش توسعه باعث کاهش آب در کشورمان گشته است (مدنی، ۲۰۱۴). با وجود پیشرفت‌های شگفت‌آوری که در زمینه‌های مختلف حیات بشر صورت گرفته است، آب همچنان اهمیت خود را به عنوان منبع اصلی تأمین انرژی و نیز تولید محصولات کشاورزی حفظ کرده است. با توسعه فناوری نانو در صنعت آب و فاضلاب، می‌توان تحولی عظیم در تأمین آب مصرفی و بخش‌های وابسته به آن به وجود آورد. کاربردهای فناوری نانو در تصفیه آب، گندزدایی، استفاده بهینه از آب سفره‌های زیرزمینی و بهبود سازه‌های آبی از جمله ویژگی‌هایی است که صنعت آب و فاضلاب با استفاده از فناوری نانو به دنبال تحقق آن‌ها است.

## ۱-۲ بیان مساله

یکی از آلاینده‌های خطرناک فاضلاب، نیترات است. بسیاری از مردم در خصوص آلاینده‌هایی که نمود و تاثیر آنی دارند مانند: طعم و بوی نامطبوع آب، تیرگی و کدورت آب، ذرات معلق در آب، سختی و سنگینی آب، رسوب‌گذاری آب و ... توجه نشان می‌دهند اما نسبت به آلاینده‌هایی نظیر نیترات که تاثیر آن در سال‌های بعد آشکار می‌گردد و به مراتب خطرناک‌تر است، بی‌توجه هستند. نیترات اکسیده‌ترین شکل نیتروژن است که در سیستم طبیعی یافت می‌شود (کینی<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۱).

در مناطقی که دفع فاضلاب به صورت سنتی و از طریق چاه‌های فاضلاب انجام می‌شود، به دلیل نفوذ فاضلاب به سفره‌های آب زیرزمینی، میزان نیترات موجود در آب بسیار بالاست. همچنین در شهرهای صنعتی به دلیل وارد شدن آلاینده‌های صنعتی به سفره‌های آب زیرزمینی، میزان نیترات آب بسیار

---

<sup>1</sup> Keeney

بالاست. نیترات در بسیاری از فرآیندهای صنعتی مانند کاغذسازی و مهمات‌سازی تولید می‌شوند (کینی و همکاران، ۱۹۹۱).

عوارض مضر نیترات در انسان در نتیجه احیای آن به وسیله باکتریهای دستگاه گوارش و تبدیل آن به نیتريت روی می‌دهد. پیدایش نیتريت به دو دليل اهميت دارد اول آنکه می‌تواند هموگلوبین خون را اکسیده کرده و به متوهموگلوبین تبدیل کند که این ماده عمل اکسیژن رسانی به بدن را مختل می‌کند و بعد از مدتی رنگ پوست (در ناحیه دور چشم و دهان) به تیرگی می‌گراید که به آن سندروم BlueBaby می‌گویند. و دوم اینکه نیتريت با بعضی آمین‌ها و آمیدهای بدن آمیخته شده و باعث پیدایش نیتروزامین که ماده‌ای سرطانزاست، می‌شود (کاپور<sup>۲</sup> و همکاران، ۱۹۹۷).

نیترات ماده‌ای است که آب‌های زیرزمینی و سطحی را به طور گسترده‌ای آلوده می‌کند. در نتیجه یکی از کارهای مهم و اساسی در تصفیه فاضلاب حذف نیترات است که باید جزء الویت‌های این پروسه باشد.

### ۳-۱ اهداف تحقیق

هدف این پژوهش استفاده از فناوری نانو برای حذف نیترات از فاضلاب شهری بوده در این راستا از فاضلاب موجود در تصفیه خانه شاهرود بعنوان یک نمونه واقعی که دارای ساختار میکروارگانیزم‌های طبیعی موجود در فاضلاب است استفاده گردید.

### ۴-۱ ساختار تحقیق

این پایان‌نامه شامل پنج فصل و در انتها مراجع است. روش‌ها و فرآیندهای آزمایشات و نتایج در این فصول به شرح زیر ارائه شده است:

---

<sup>2</sup> Kapoor

- در فصل اول تصویر کلی اهداف و نتایج تحقیق بیان شده و ساختار پایان نامه در آن بیان گردیده است.
- در فصل دوم به ادبیات فنی پرداخته شد و پژوهش‌های مرتبط با این پژوهش (کاهش نیترات) مورد بررسی قرار گرفت.
- فصل سوم به آشنایی با مواد بکار رفته ، دستگاه‌های اندازه‌گیری و فرآیند نحوه انجام آزمایش اختصاص یافته‌است.
- در فصل چهارم نتایج آزمایش مورد بحث و بررسی قرار گرفته و این نتایج بصورت جداول و نمودارها ارائه گردید.
- در فصل پنجم ضمن ارائه خلاصه و نتیجه‌گیری از این تحقیق، پیشنهاداتی برای پژوهش‌های آینده ارائه شده است.

## فصل دوم

### مطالعه ادبیات فنی

## ۱-۲ مقدمه

واژه نانو از یک کلمه یونانی (NANOUS) به معنای "کوچک یا ریز" مشتق شده است و در بیان علمی به هر ذره‌ای که یکی از ابعاد آن اندازه ۱۰۰ نانومتر کمتر باشد نانو ذره اطلاق می‌شود. برای درک بهتر این اندازه می‌توان بدین اشاره نمود که طول موج نور مرئی بین ۴۰۰-۷۰۰ نانومتر و سلول زنده اندازه‌ای معادل یک میکرون (۱۰۰۰ نانومتر) دارد (کابانیس<sup>۳</sup> و همکاران، ۱۹۹۲). در اغلب مدارک فنی موجود علم نانو به قرار زیر است:

- نانومواد و بیومواد
- نانو لوله‌ها
- نانوکامپوزیت، نانوکپسول‌ها
- نانو سنسورها، بیوسنسورها
- نانوفیلتر، نانوماشین
- نانو کاتالیست‌ها (عابدینی و همکاران؛ ۱۳۹۲)

## ۲-۲ نانو کاتالیست‌ها

کاتالیست، ماده‌ای است که انرژی فعال سازی واکنش (انرژی اولیه برای انجام واکنش) را کاهش و در نتیجه سرعت واکنش را افزایش دهد. رایج ترین کاتالیست‌ها فلزات واسطه‌ی جدول تناوبی عناصر، هستند. کاتالیست‌ها به دو نوع همگن و ناهمگن تقسیم می‌شوند. فعالیت بسیار بالا، گزینش پذیری و بازده خوب، از محاسن کاتالیست‌های همگن است. مشکل اصلی در فناوری کاتالیست‌های همگن جداسازی کاتالیست حل شده از مخلوط نهایی پس از اتمام واکنش است. این مشکل به ویژه در کاتالیست با مقادیر کم چالش بزرگی است. کاتالیست ناهمگن هم فاز با واکنش دهنده‌ها نیست. اندازه و خصوصیت ذرات

---

<sup>3</sup> Cabaniss

کاتالیست ناهمگن به صورتی است که به راحتی در محیط واکنش حل نمی شود؛ از این رو فعالیت آن محدود می گردد (بازده کل واکنش کاهش می یابد). برخلاف کاتالیست های همگن، کاتالیست های ناهمگن به راحتی (با صرف هزینه، زمان و مواد کمتر) از مخلوط واکنش جدا می شوند و موجب ناخالصی محصولات نمی گردند. سطح فعال زیاد به همراه قابلیت جداسازی کاتالیست در پایان واکنش، از نانوکاتالیست ها پلی میان کاتالیست های همگن و ناهمگن ساخته است. ممکن است فرآیند پیچیده تولید برخی از نانوکاتالیست ها هزینه بر به حساب بیاید، اما از آنجا که فناوری نانو مقدار کاتالیست، انرژی و زمان مورد نیاز برای انجام واکنش را تقلیل می دهد، این مورد قابل چشم پوشی است (لیو<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵).

جدول ۱-۲ مزایا و معایب کاتالیست همگن و ناهمگن (لیو، ۲۰۱۵)

<b>نانو کاتالیست</b>			
<b>کاتالیست ناهمگن</b>		<b>کاتالیست همگن</b>	
معایب	مزایا	معایب	مزایا
<ul style="list-style-type: none"> <li>• تماس کم تر بین ماده ی اولیه و کاتالیست</li> <li>• عملکرد کاتالیستی ضعیف (برخلاف کاتالیست همگن)</li> <li>• جداسدن گونه های فعال از سطح کاتالیست</li> <li>• مشکل انتقال انرژی و گرما برای انجام واکنش</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• جداسازی آسان کاتالیست از محصولات</li> <li>• قابلیت استفاده به طور متوالی و مداوم</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• خالص سازی بسیار مشکل محصول</li> <li>• بازیابی مشکل کاتالیست از مخلوط واکنش</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• نیاز به شرایط عادی و ملایم برای واکنش</li> <li>• فعالیت و گزینش پذیری بالا</li> <li>• انتقال گرما و انرژی مناسب برای انجام واکنش</li> </ul>

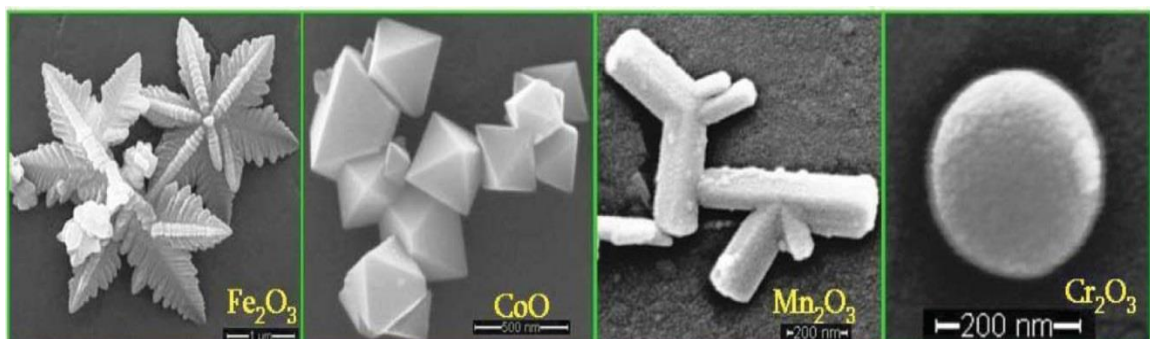
<sup>4</sup> Liu

## ۲-۲-۱ انواع نانوکاتالیست

دسته بندی نانوکاتالیست ها را براساس نوع نانوماده ی به کار رفته در زیر دیده می شود:

- فلزات (طلا، پلاتین، نقره، آهن و ...)
- اکسید فلز (اکسید آهن، دی اکسید تیتانیوم، آلومینا و ...)
- اکسید مخلوط فلزات ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{FeO}$ )
- نانو مواد کربنی (نانو لوله کربنی، فولورین و ...)
- سیلیکا (سیلیکای بی شکل، سیلیکای متخلخل و ...)
- نانو لوله های معدنی (تنگستن، نیتريد بور و ...)
- سایر نانو کاتالیست ها (نانو ذرات رس، نقاط کوانتومی و...) (وارما<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۱۰)

نانوذرات و خصوصا نانوذرات فلزی و اکسید فلزی از اصلی ترین و پرکاربردترین کاتالیست های نانوساختار هستند. شکل ۱-۲ تصاویر میکروسکپی برخی از نانوکاتالیست های ذرات اکسید فلزی را نشان می دهد.



شکل ۱-۲ برخی از نانوذرات اکسید فلزی به عنوان نانوکاتالیست

<sup>5</sup> Varma



## ۲-۲-۲ ویژگی های اصلی نانوکاتالیست

مزایا و معایب نانو کاتالیست‌ها در جدول ذیل به اختصار توضیح داده شده‌است (آساهی و همکاران، ۲۰۰۱).

جدول ۲-۲ مزایا و معایب نانو کاتالیست‌ها

ویژگی	مزایا	معایب
فیزیکی	حداکثر سطح فعال به ازای واحد جرم و حجم شکل و اندازه قابل کنترل قابلیت جداسازی از مخلوط واکنش	استعداد اتصال به هم و تجمع
شیمیایی	گزینش پذیری و بازده بالا طبیعی و سنتزی تنوع بالا و قابلیت اصلاح شیمیایی	

## ۳-۲ کاربرد نانو در تصفیه فاضلاب

بهره‌گیری از فناوری نانو در فرآیند تصفیه آب، راه‌حل مدرنی است که امید می‌رود بتوان به کمک آن آب آلوده را برای استفاده در کشاورزی و یا حتی برای مصارف خانگی بازیافت نمود. کاربردهای فناوری نانو در تصفیه آب را میتوان در سه فرآیند زیر خلاصه کرد:

- فرآیند غربالی
- فرآیند جذبی
- فرآیند تجزیه (بار<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۴)

<sup>6</sup> Asahi

<sup>7</sup>Obare

## ۴-۲ فرآیند جذب

در طی دهه‌های اخیر فرآیند جذب به دلیل عملکرد موثر و سازگاری بیش‌تر با محیط‌زیست، از جایگاه ویژه‌ای برخوردار گردیده است. فرآیندهای جذب به دلیل ویژگی‌هایی از قبیل قابلیت اطمینان بالا، راندمان مناسب، قابلیت انطباق در طراحی و قابلیت استفاده مجدد از جاذب استفاده شده، یکی از بهترین و مناسب‌ترین گزینه‌ها برای جداسازی و خالص‌سازی آلاینده‌ها از محیط می‌باشند. جذب به معنای جدا-سازی ماده موجود در یک فاز و تجمع و تغلیظ آن بر روی سطح فاز دیگر می‌باشد (اوانگلو<sup>۸</sup>، ۱۹۹۸).

فرآیند جذب می‌تواند در هر یک از سیستم‌های مایع-گاز، مایع-مایع، جامد-مایع و جامد-گاز انجام شود. فرآیند جذب به دو دسته جذب سطحی<sup>۹</sup> و جذب عمقی<sup>۱۰</sup> تقسیم می‌شود. تمایز فرآیندهای جذب سطحی و جذب عمقی به دلیل وجود تفاوت بین مکانیسم‌های جذب در این دو روش می‌باشد. جذب سطحی به معنای تجمع یک ماده بر روی سطح جاذب می‌باشد، در صورتی که جذب عمقی به معنای نفوذ ماده به داخل جاذب است. به این علت که هر دو فرآیند جذب سطحی و جذب عمقی به صورت هم‌زمان اتفاق می‌افتد، بنابراین از یک واژه منحصر به نام جذب<sup>۱۱</sup> استفاده می‌شود.

### ۴-۲-۱ جذب سطحی

فرآیند جذب سطحی را می‌توان از منظر نوع پیوند بین جاذب و ماده جذب شونده به دو نوع جذب فیزیکی<sup>۱۲</sup> و جذب شیمیایی<sup>۱۳</sup> دسته‌بندی کرد. همچنین از نقطه نظر تعداد لایه‌های جذب نیز می‌توان دسته‌بندی جذب تک لایه<sup>۱۴</sup> و جذب چند لایه<sup>۱۵</sup> را در نظر گرفت (روبرت<sup>۱۶</sup> و همکاران، ۱۹۷۶).

---

<sup>8</sup> Evangelou

<sup>9</sup> Adsorption

<sup>10</sup> Absorption

<sup>11</sup> Sorption

<sup>12</sup> Physical adsorption

<sup>13</sup> Chemical adsorption

<sup>14</sup> monolayer

## ۲-۴-۱- جذب سطحی فیزیکی

جذب سطحی فیزیکی از طریق نیروهای واندروالس و هم‌چنین نیروهای الکترواستاتیکی بین مولکول‌های ماده جذب شونده و مولکول‌های موجود در سطح جاذب انجام شده و یک فرآیند برگشت‌پذیر می‌باشد. زمانی که نیروی جذب مولکولی بین ماده حل شده و جاذب از نیروی جاذبه بین ماده حل شده و حلال، بیش‌تر شود، ماده حل شده به سطح جاذب جذب خواهد شد (کریتنندن<sup>۱۷</sup>، ۲۰۰۵). انرژی اتصال در جذب فیزیکی کم بوده و فرآیند جذب با کاهش دمای سیستم، افزایش می‌یابد. با کاهش دمای سیستم انرژی جنبشی مولکول‌ها کم‌تر شده و فرصت لازم برای اتصال بین مولکول‌های ماده جذب‌شونده و سطح جاذب فراهم می‌شود. در این نوع از فرآیند جذب، بین جاذب و ماده جذب‌شونده تبادل الکترون صورت نمی‌گیرد. از این‌رو ماهیت شیمیایی مواد جذب‌شده به سطح جاذب تغییر نمی‌کند. جذب سطحی فیزیکی عموماً به صورت چند لایه انجام می‌شود. لازم به ذکر است که سرعت انجام فرآیند جذب فیزیکی توسط فرآیند انتقال جرم محدود می‌شود. بیشتر انواع جذب به کار رفته در فرآیند تصفیه آب از نوع جذب فیزیکی می‌باشد (کانداسمی<sup>۱۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۵)

## ۲-۴-۱-۲ جذب سطحی شیمیایی

در جذب سطحی شیمیایی، بین ماده حل شده و جاذب، واکنش شیمیایی انجام می‌گردد. به عبارتی بین این دو فاز تبادل الکترون صورت گرفته و معمولاً برگشت‌ناپذیر می‌باشد. در نتیجه این امر، جاذب مورد استفاده و مولکول‌های جذب‌شونده در مقایسه با جذب فیزیکی با انرژی بیشتری به یکدیگر متصل هستند. از آنجا که در فرآیند جذب سطحی شیمیایی، واکنش‌های شیمیایی متعددی انجام می‌شود، از این‌رو اغلب در ماهیت شیمیایی ماده جذب‌شونده تغییر رخ می‌دهد، بطوریکه پس از اتمام فرآیند، ترکیب شیمیایی

---

<sup>15</sup> multilayer

<sup>16</sup> Robert

<sup>17</sup> Crittenden

<sup>18</sup> Kandasamy

جدیدی در سطح جاذب ایجاد می‌گردد (کریتنندن، ۲۰۰۵). به همین دلیل فرآیند احیاء جاذب در جذب سطحی شیمیایی اغلب دشوار و یا غیر ممکن است. گرمازا و یا گرماگیر بودن فرآیند جذب سطحی شیمیایی به نوع واکنشی که بین جاذب و ماده جذب‌شونده رخ می‌دهد بستگی دارد. همچنین انرژی پیوند در این فرآیند بسته به نوع واکنش انجام‌شده می‌تواند در بازه‌ای از انرژی بسیار کم تا انرژی بسیار بالا قرار گیرد. از آنجا که در طی انجام واکنش شیمیایی هر کدام از مواد جذب‌شونده باید با یکی از مکان‌های جذب موجود در سطح جاذب پیوند برقرار کند، لذا عمدتاً جذب سطحی شیمیایی به صورت تک لایه رخ می‌دهد. فرآیند جذب شیمیایی در مهندسی محیط‌زیست به ندرت مورد استفاده قرار می‌گیرد، در حالیکه جذب فیزیکی به طور گسترده انجام می‌شود (کاندسمی و همکاران، ۲۰۰۵).

فرآیند جذب سطحی فیزیکی و شیمیایی به وسیله اندازه و مقدار گرمای جذب<sup>۱۹</sup> قابل تمایز می‌باشند. هر چه مقدار گرمای جذب بیشتر باشد، پیوند ایجاد شده برای جذب قوی‌تر است. گرمای جذب برای فرآیند جذب سطحی شیمیایی معمولاً بیش‌تر از ۲۰ کیلوکالری بر مول و برای فرآیند جذب سطحی فیزیکی کم‌تر از ۱۰ کیلوکالری بر مول می‌باشد (وانگلو، ۱۹۹۸).

#### ۳-۱-۴-۲ جذب تک لایه و جذب چند لایه

در جذب تک لایه تمام مولکول‌های جذب‌شده در ارتباط مستقیم با سطح جاذب قرار دارند در صورتی که در جذب چند لایه، بیش از یک لایه از مواد جذب شده در سطح جاذب ایجاد شده و تمام مولکول‌های جذب‌شده به سطح جاذب لزوماً در ارتباط مستقیم با جاذب قرار ندارند.

ظرفیت جذب تک لایه در فرآیند جذب شیمیایی به صورت مقدار مولکول‌های جذب‌شونده مورد نیاز جهت اشغال تمامی مکان‌های جذب موجود در سطح جاذب تعریف می‌گردد. ظرفیت جذب تک لایه در

---

<sup>19</sup> Heat of adsorption

جذب شیمیایی با ماهیت شیمیایی مولکول‌های جذب‌شونده و ساختار جاذب مرتبط است. در فرآیند جذب فیزیکی، ظرفیت جذب تک لایه عبارت است از مقدار مولکول‌های جذب‌شونده مورد نیاز جهت پوشش کامل سطح جاذب. ظرفیت جذب معمولاً با واحد جرم مقدار ماده جذب‌شده به جرم واحد جاذب (mg/g) بیان می‌شود. لازم به ذکر است که در اغلب موارد، عملاً پدیده جذب سطحی در نتیجه ترکیبی از جذب فیزیکی و شیمیایی امکان‌پذیر می‌شود.

## ۲-۴-۲ کاربردهای فرآیند جذب در زمینه‌های زیست محیطی

فرآیند جذب در کنترل آلودگی‌های زیست محیطی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. فرآیند جذب به علت ویژگی‌هایی از قبیل قابلیت اطمینان بالا، هزینه قابل قبول، انعطاف پذیری در طراحی، بنیان علمی و تکنولوژیکی قوی و قابلیت احیایی فرآیند با استفاده از احیای جاذب‌های مصرف شده، از گزینه‌های قابل توجه در فرآیندهای جداسازی به شمار می‌آید. جدول ۲-۳ مهم‌ترین کاربردهای فرآیند جذب در زمینه‌های زیست محیطی را نشان می‌دهد (کاندسمی و همکاران).

جدول ۲-۳ تعدادی از موارد کاربرد عملی فرآیند جذب در زمینه‌های زیست محیطی

کاربرد	حوزه کاربرد
جداسازی $SO_x$ ، $NO_x$ و جیوه از گاز خروجی دودکش‌های صنعتی	سیستم تصفیه گازهای خروجی
تصفیه مواد آلی، نیتروژن، فسفر، یون‌های فلزی از محیط فاضلاب	تصفیه فاضلاب
بهبود کیفیت منابع آب، پاکسازی پیشرفته فاضلاب تصفیه شده	تصفیه آب
کاربرد در فناوری‌های تصفیه هوا، بهبود شرایط هوای موجود در محیط بسته، میکروب زدایی از محیط به وسیله خشک کردن محیط	خشک کردن محیط‌های مرطوب
کنترل در انتقال گازهای گلخانه‌ای	کنترل گرمایش جهانی

## ۲-۵ فرآیند غربالی

در فرآیند غربالی، تصفیه آب به وسیله غشاهایی با منافذ در حد نانومتر صورت می‌پذیرد. فن آوری تولید نانو غشا یکی از فن آوری‌های پرکاربرد در صنعت امروز است که حوزه کاربرد آن از صنعت آب و فاضلاب تا صنایع غذایی، دارویی و همچنین صنایع نفت، گاز و انرژی گسترده شده است. در این روش، بر حسب اندازه منافذ غشا، ترکیبات آلی و معدنی و یا مواد زیستی، به راحتی از آب جدا شده و در نهایت آبی تصفیه شده خواهیم داشت.

## ۲-۶ فرآیند تجزیه

استفاده از صفحات لایه نشانی شده با دی اکسید تیتانیوم در فرآیند تصفیه آب، این امکان را فراهم می‌کند تا با تابش اشعه UV، مواد آلاینده موجود در آب، به ترکیباتی غیرمضر تجزیه شوند. در این روش، دی اکسید تیتانیوم به عنوان یک فتوکاتالیست عمل کرده و شرایط مورد نیاز برای انجام واکنش تجزیه را فراهم خواهد کرد.

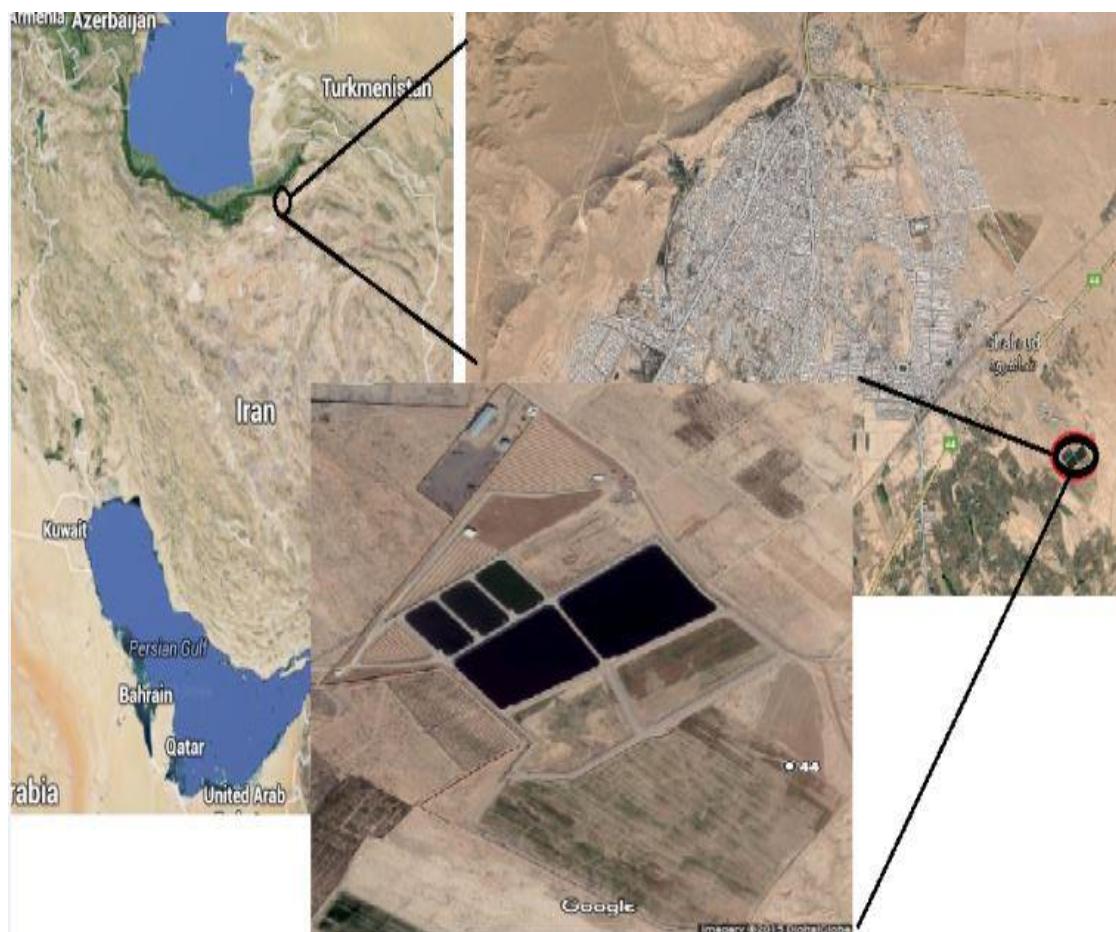
تلاش بر این است تا به کمک فناوری‌های جدید مانند فناوری نانو مشکل کم آبی رفع شود. در مجموع کاربردهای متعددی را می‌توان در زمینه استفاده از فناوری نانو در تصفیه فاضلاب متصور بود که اهم آن در ذیل آمده است:

- استفاده از ذرات نانو ساختار در تصفیه آلاینده ها
- رنگ زدایی از آب آشامیدنی
- نمک زدایی از آب
- نانو پوشش ها
- نانو لوله‌های جاذب گازهای سمی

- نانو پلیمرهای متخلخل
  - استفاده از نانو ذرات در تصفیه پسابها
  - نانو فیلترها
  - حذف آرسنیک موجود در آب (همامی و همکاران؛ ۱۳۸۷)
- فناوری نانو به کمک روشهای زیر میتواند در تهیه آب تمیز کمک کند ؛
- غشاهای فیلتر اسیون نانو متری به منظور افزایش بازیابی آب
  - روشهای سازگار با محیط زیست جهت تصفیه آبهای زیر زمینی به وسیله اجزای معدنی و آلی
  - نانو مواد برای بهبود کارایی فرایندهای فتوکاتالیستی و شیمیایی
  - نانو حسگرهای زیستی جهت تشخیص سریع آلودگی آب (همامی و همکاران؛ ۱۳۸۷)
- بر اساس پیش بینی سازمان ملل در سال ۲۰۲۵ حدود ۴۸ کشور ( یعنی ۳۲ درصد جمعیت جهان ) دچار کمبود آب آشامیدنی خواهند شد (بنی هاشمی و همکاران؛ ۱۳۸۵). در ارائه راه حل برای این مسئله ، فناوری نانو در دو عرصه می تواند مفید باشد:
- تولید نانو کامپوزیت ها و دخل و تصرف در ساختار آنها برای جداسازی بسیاری از منابع آلاینده آب که بعنوان نمونه پژوهشهای انجام شده در این عرصه حاکی از حذف فلزات سنگین از جمله جیوه، سرب و آرسنیک می باشد.
  - تولید الکترودهای با مساحت سطحی بالا که از طریق کنار هم قرار دادن نانو لوله های کربنی که با تغییرات رسانای الکتریکی شده اند (همامی و همکاران؛ ۱۳۸۷).

## ۷-۲ فاضلاب

تصفیه‌خانه فاضلاب شهری شاهرود در جنوب شهر شاهرود و در فاصله چهار کیلومتری از منطقه شهری قرار دارد. موقعیت مکانی این تصفیه‌خانه در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. با توجه به شرایط آب و هوایی شاهرود و وجود اراضی مورد نیاز سیستم مورد استفاده در این تصفیه‌خانه برکه تثبیت انتخاب شد.



شکل ۲-۲ تصویر ماهواره‌ای تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شاهرود

## ۱-۷-۲ برکه تثبیت

برکه‌های تثبیت فاضلاب حوضچه‌های خاکی بزرگ و کم‌عمقی هستند که در آنها فاضلاب خام بصورت کاملاً طبیعی تصفیه می‌شوند. در این فرآیند زمان ماند نسبت به دیگر فرآیندها طولانی‌تر می‌باشد. سه



نوع اصلی برکه تثبیت فاضلاب عبارتند از: برکه‌های بی‌هوازی، اختیاری و تکمیلی. برکه‌های بی‌هوازی و اختیاری برای حذف BOD و برکه‌های تکمیلی برای حذف باکتری‌های مدفوعی طراحی می‌شوند. برکه‌های اختیاری به دو نوع اولیه (فاضلاب خام را دریافت می‌کند) و ثانویه (پساب برکه‌های بی‌هوازی را دریافت می‌کند) دسته بندی می‌شوند.

## ۲-۷-۲ ترتیب استقرار

برای بهبود کیفیت پساب، انواع مختلف برکه‌های تثبیت را به صورت سری استفاده می‌نمایند که ابتدا برکه بی‌هوازی، سپس برکه اختیاری و نهایتاً یک یا چند برکه، برکه تکمیلی استفاده می‌گردد.

## ۳-۷-۲ مزایا و معایب برکه‌های تثبیت

- سادگی
- هزینه کم
- راندمان بالا
- انتشار بو
- زمین مورد نیاز
- کیفیت پساب خروجی

## ۴-۷-۲ آشغالگیر

اولین مرحله این تصفیه‌خانه فاضلاب حذف اجسام شناور بزرگ از قبیل پارچه، قطعات چوب و ... و ذرات معدنی مانند شن و ماسه است. این عمل برای جلوگیری از تجمع مواد شناور روی سطح برکه و حفاظت از آسیب تجهیزات استفاده شده در مراحل بعدی تصفیه می‌باشد که این تصفیه مقدماتی از واحد آشغالگیر تشکیل شده است. جامدات درشت توسط یک سری از میله‌های فولادی که در عرض جریان قرار دارند

حذف می‌شوند. فاضلاب با سرعت کمی از آشغالگیر عبور می‌کند تا جامداتی که قبلاً روی آشغالگیر به دام افتاده‌اند خارج نشوند. فضای بین میله‌ها ۲۰ میلی‌متر است و میله‌ها سطح مقطع مستطیلی دارند. شکل ۳-۲ آشغالگیر تصفیه‌خانه را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۲ قسمت ورودی تصفیه‌خانه بعد از آشغالگیرها

## ۱-۲ برکه بی‌هوایی

اولین برکه تصفیه‌خانه فاضلاب شاهرود برکه بی‌هوایی می‌باشد. عمق آنها ۴ متر بوده، این برکه‌ها عاری از اکسیژن محلول و جلبک هستند و نقش اصلی آن حذف BOD می‌باشد. شکل ۴-۲ برکه بی‌هوایی

تصفیه‌خانه شاهرود را نشان می‌دهد. در فاز اول اجرایی این پروژه سه برکه بیهوازی به مرحله بهره‌برداری رسید و سه برکه دیگر با توسعه زیر ساخت‌های شبکه انتقال در آینده احداث می‌شود.



شکل ۲-۴ برکه بی‌هوازی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شاهرود

## ۲-۲ برکه اختیاری

برکه‌های اختیاری این تصفیه‌خانه از نوع برکه اختیاری ثانویه می‌باشد. عمق این برکه‌ها از ۱/۵ تا ۲ متر متغیر است و در فاز اول اجرایی تصفیه‌خانه چهار برکه از ده برکه پیش‌بینی شده احداث گردید. شکل ۲-۵ برکه اختیاری تصفیه‌خانه شاهرود را نشان می‌دهد. نمونه‌گیری فاضلاب از سه قسمت ورودی، لاگون بی‌هوازی و لاگون اختیاری انجام شد. برای حمل نمونه جهت استفاده در آزمایشات از فلاکس با فضایی کاملاً ایزوله و دمایی کمتر از ۳ درجه سانتی‌گراد استفاده شد.



شکل ۲-۵ برکه اختیاری تصفیه‌خانه فاضلاب شهر شاهرود

## ۲-۳ تلاش‌های گذشته برای حذف نیترات به کمک علم نانو

### ۲-۳-۱ حذف بوسیله نانو آهن صفر ظرفیتی

در گذشته نیز تلاش‌هایی برای خارج نمودن نیترات از آب توسط نانو ذرات آهن انجام شده است. در ایران ززولی و همکاران به کمک نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی توانسته است که ۷۵٪ نیترات آب زیرزمینی را در ۳۰ دقیقه اول آزمایش حذف کنند. (ززولی و همکاران؛ ۱۳۹۳)

همچنین عطایی توانست به کمک نانو ذرات دو فلزی آهن/مس غلظت نیترات را از آب شرب بکاهد. نتایج این آزمایش نشان داد که اولاً پوشش دهی نانوذرات ذرات آهن توسط مس تنها به میزان ۵ درصد وزنی، نسبت به زمانی که پوشش دهی انجام نشود و یا درصدهای وزنی بیشتری از مس مورد استفاده قرار گیرد،

کارایی بالاتری در حذف درازمدت نیترات دارد. همچنین نرخ احیاء نیترات توسط نانو ذرات آهن/مس در محیط اسیدی تر بالاتر می باشد. (عطایی و همکاران، ۱۳۹۰)

در سال ۲۰۱۵ چو و همکاران تاثیر نانو ذرات مگنتیت در کاهش نیترات آبهای زیرزمینی را مورد مطالعه قرار دادند و بدین نتیجه دست یافتند کاهش نیترات با افزایش استفاده از نانو رابطه مستقیم دارد. (چو<sup>۲۰</sup> و همکاران، ۲۰۱۵)

همچنین در سال ۲۰۱۴ وانگ و همکاران نانو ذرات آهن را با چای سبز و عصاره اکالیپتوس برای حذف نیترات محلول آبی با روش سبز سنتز کردن که ۵۹/۵ درصد از ترکیب نانو با چای سبز و ۴۱/۴ درصد از ترکیب اکالیپتوس و نانو توانستند نیترات را حذف کنند. (وانگ<sup>۲۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۴)

در سال ۲۰۱۴ بی آن و همکاران تاثیر باکتری هیدروژنوتروفیک آبی<sup>۲۲</sup> (HTB) را در کاهش نیترات به وسیله نانو ذره آهن را بررسی کردند. حضور این باکتری باعث کاهش حذف نیترات توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی می شود (از ۹۱/۴٪ به ۵۸/۹٪ تقلیل یافت). و در حضور HTB آهن خورده می شود و FeOOH تولید می کند. (آن<sup>۲۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴)

در سال ۲۰۱۴ آناریو و همکاران توانستند نیترات را به کمک نانو آهن صفر ظرفیتی و با استفاده از کاتالیزور نیکل به حذف ۵۰ درصدی برسانند. در این پژوهش بوسیله علم و فناوری نانو سعی شده تا در

---

<sup>20</sup> Cho

<sup>21</sup> Wang

<sup>22</sup> متانوژن ها آرکه هایی هستند که در شرایط بی هوازی متان را بعنوان محصول حتمی متابولیسم تولید میکنند. آنها معمولاً در جاهای مرطوب مسئول تولید گاز متان هستند و در روده ی جانورانی مثل نشخوارکنندگان و انسانها مسئول تولید باد شکم هستند. رشد و بقای آنها به طور مستقیم به فعالیت آنها با میکروفلور بستگی دارد. باکتری های هیدروژنوتروفیک آبی نوعی از متانوژن ها هستند که از CO<sub>2</sub> بعنوان منبع کربن و از H<sub>2</sub> بعنوان احیا کننده استفاده می کنند.

<sup>23</sup> An

روند تصفیه فاضلاب سرعت ایجاد کرده و گامی موثر برای رفع نیاز آب آشامیدنی فاقد نیترات برداشته شود.<sup>۲۴</sup> (ریو و همکاران، ۲۰۱۴)

## ۲-۴ استفاده از نانو آهن برای حذف آلاینده‌های دیگر

در روش های جدید از نانوذرات مغناطیسی اکسید آهن به عنوان هسته اصلی سیستم های تصفیه آب استفاده می شود. نانوذرات آهن ، جاذب های بسیار خوبی برای آلاینده های مختلف بویژه در آب های اسیدی هستند و خاصیت جذبی غیر قابل بازگشت این ذرات، مخزن مناسبی برای جمع آوری آلاینده ها فراهم می کند. به طور کلی می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- حذف آرسنیک با نانو ذرات اکسید آهن
- حذف کروم با نانو ذرات آهن
- حذف مس، کبالت و نیکل با نانو ذرات آهن
- حذف ترکیبات آلی با نانو ذرات آهن
- حذف آلاینده ها با نانو ذرات آهن در محل

## ۲-۴-۱ حذف سرب

این پژوهش توسط کیاست و فیروزی با هدف بررسی اثر نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی اصلاح شده با پوشش پلی اکریلیک اسید<sup>۲۵</sup> بر حذف سرب انجام شد. به این منظور نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی اصلاح شده با پوشش پلی اکریلیک اسید ساخته شد. اثر عوامل مختلف مانند pH محیط آبی، زمان تماس، غلظت نانو ذرات و غلظت اولیه سرب بر حذف سرب بررسی شد. نتایج آزمایش ها نشان داد که بیشترین میزان درصد

---

<sup>24</sup> Ryu

<sup>25</sup> Polyacrylic Acid

حذف سرب از محلولهای آبی در pH برابر با ۵ به دست آمد. زمان تماس ۱۵ دقیقه و غلظت ۵ گرم در لیتر نانو ذرات به ترتیب به عنوان زمان و غلظت بهینه انتخاب شدند (کیاست و همکاران، ۱۳۹۳).

## ۲-۴-۲ حذف کادمیم

این پژوهش توسط بهرامی و کشکولی در زمینه تأثیر پارامترهای pH، زمان تماس، غلظت کادمیم و مقدار نانو ذرات بر کارایی حذف کادمیم در سیستم ناپیوسته مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش pH محلول از ۳ تا ۶ ظرفیت و بازده جذب کادمیم افزایش می یابد به طوری که در pH برابر ۶ به حداکثر مقدار خود رسید، سپس در pH های ۷ و ۸ بازده و ظرفیت جذب کاهش یافت. زمان تعادل برابر ۳۰ دقیقه و مقدار جاذب بهینه ۰/۴ گرم به دست آمد. با افزایش غلظت یون های کادمیم و کاهش مقدار جاذب، ظرفیت جذب افزایش و بازده جذب کاهش یافت. نتایج این مطالعه نشان داد که نانو ذرات مگنتیت دارای مزایایی از قبیل کارایی حذف بالا و زمان واکنش کوتاه است. (کشکولی و همکاران، ۱۳۹۲)

همچنین محوی و همکاران فرآیند جذب سطحی یون های کادمیم از فاضلاب سنتتیک را با نانو ذرات آهن مغناطیسی سنتز شده مورد ارزیابی قرار دادند و دریافتند در شرایط  $pH \geq 5/6$ ، غلظت اولیه کادمیم  $10 \text{ mg/L}$ ، در جاذب  $1 \text{ mg}$ ، زمان تماس ۱۰ دقیقه، دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و سرعت همزن  $200 \text{ rpm}$ ، ۹۵ درصد از کادمیم از فاضلاب حذف گردید. حداکثر ظرفیت جذب کادمیم توسط نانو ذرات آهن مغناطیسی برابر  $20/41 \text{ mg/g}$  بدست آمد (محوی و همکاران، ۱۳۹۳).

## ۲-۴-۳ حذف کروم شش ظرفیتی و نیکل دو ظرفیتی

در این تحقیق از نانو ذرات اکسید آهن ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) برای حذف یون های نیکل دو و کروم شش ظرفیتی از پساب های صنعتی استفاده شد. نتایج نشان داد، واکنش جذب کروم شش و نیکل دو ظرفیتی به نانو ذرات ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) طی ۱۲ دقیقه به تعادل رسید. با افزایش غلظت میزان جذب کاهش یافته و با افزایش میزان

جاذب ، زمان تماس و دما، میزان جذب افزایش یافت. میزان جذب کروم در  $\text{pH} = 2/6$  و میزان جذب نیکل در  $\text{pH} = 8/5$  حداکثر است (شایسته‌فر و همکاران، ۱۳۹۱).

#### ۲-۴-۴ حذف آرسنیک

پالایش آرسنیک به منزله آلاینده سمی و رایج در آب زیرزمینی امروزه بسیار حائز اهمیت است. یکی از روش های حذف آرسنیک استفاده از نانوذرات آهن است که روشی ارزان است و میتوان از آن به صورت درجا در محیط استفاده کرد. مشاهده شد که در غلظت بیشتر آرسنیک به علت افزایش سطح تماس، نرخ حذف آن بیشتر می شود و با افزایش نانوذرات، در زمان کمتری آرسنیک به زیر غلظت مجاز می‌رسد. همچنین گزارش شده که با گذشت ۲ ساعت، ۵۰۰ میکروگرم بر لیتر آرسنیک در حضور ۱ گرم بر لیتر نانو ذرات آهن به زیر غلظت مجاز خود می رسد. (جانباز فوتمی و همکاران، ۱۳۹۲)



## **فصل سوم**

### **مواد و روش‌ها**

### ۱-۳ مقدمه

برای انجام این پژوهش فاضلاب حاوی نیترات استفاده شد. دو راه برای تامین فاضلاب وجود دارد: اول استفاده از فاضلاب موجود و دوم ساخت فاضلاب. از آنجا که هدف تحقیق کاربردی بودن نتایج است تصمیم گرفته شد که از فاضلاب موجود شهری استفاده شود. برای این کار فاضلاب شهرستان شاهرود انتخاب و نمونه‌گیری از نقاط عطف تصفیه‌خانه فاضلاب این شهر انجام شد. برای تثبیت ذرات نانو از پلی اکریلیک اسید استفاده شد. حال در ادامه فصل ابتدا به معرفی مواد و دستگاههای اندازه‌گیری و سپس به روش‌های علمی انجام کار در این پژوهش پرداخته می‌شود.

### ۲-۳ مواد و ابزار

مواد استفاده شده در این پژوهش عبارت‌اند از:

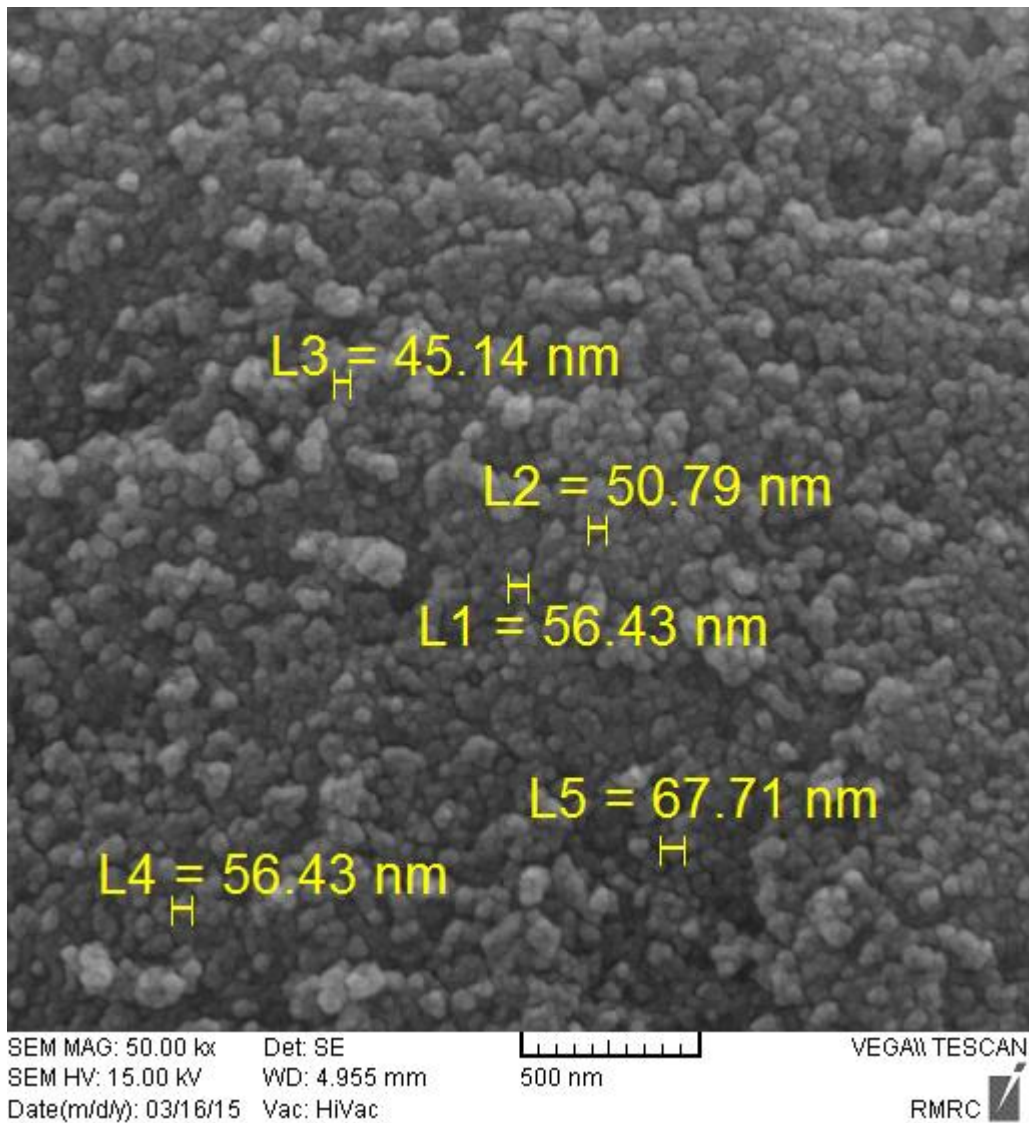
- نانو اکسید مغناطیسی آهن ( $Fe_3O_4$ )
- پلی اکریلیک اسید جهت تثبیت نانو
- فاضلاب شهری

دستگاه‌های اندازه‌گیری و فرآیندی استفاده شده عبارت‌اند از:

- دستگاه لرزاننده DERAGONLAB
- دستگاه استیرر DERAGONLAB
- حمام اولتراسونیک DERAGONLAB
- دستگاه اسپکتوفتومتر HACH-DR6000 و معرف نیترات
- مدل آزمایشگاهی، آهنربا و pH متر

### ۳-۳ نانو ذره اکسید آهن

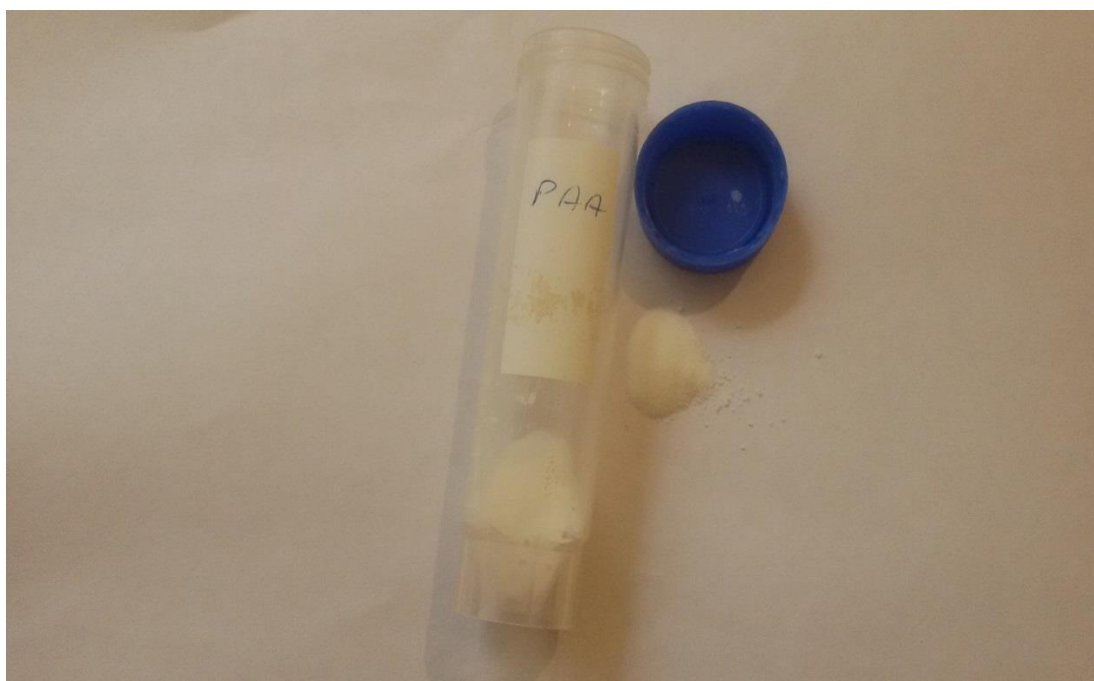
ماده نانویی که در این پژوهش استفاده شد نانو اکسید آهن ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) بود که از موسسه پاستور تهیه شده است. شکل ۱-۳ نتایج آزمایش SEM نانو اکسید آهن ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳ نتایج آزمایش SEM نانو اکسید آهن ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ )

### ۳-۴ پلی اکریلیک اسید

پلی اکریلیک اسید استفاده شده در این پژوهش پلیمری آنیونی و با جرم ملکولی  $1800 \text{ mg/L}$  می باشد که محصول کمپانی sigma-adrich است. (شکل ۳-۲)



شکل ۳-۲ پلی اکریلیک اسید استفاده شده در این پژوهش

### ۳-۵ معرف نیترات

برای رنگی کردن نمونه و اندازه گیری نیترات آن از معرف نیترات استفاده شد. نام تجاری این ماده NitraVer 5 است. (شکل ۳-۳)



شکل ۳-۳ پودر معرف نیترات 5 Nitraver

### ۳-۶ آهنربا

از دو آهنربا در این پژوهش استفاده شد آهنربای اول که در همه آزمایشات به غیر از آزمایش جریان پیوسته استفاده شد؛ این آهنربا دارای میدان مغناطیسی ۹mT در محدوده ۱ میلی متری خود است و بر مبنای جریان مستقیم<sup>۲۶</sup> کار می کند. آهنربای مدل آزمایشگاهی دارای میدان مغناطیسی ۱۹mT در وسط آن است و با جریانی متناوب<sup>۲۷</sup> کار می کند. (شکل ۳-۴)

<sup>26</sup> Direct Current

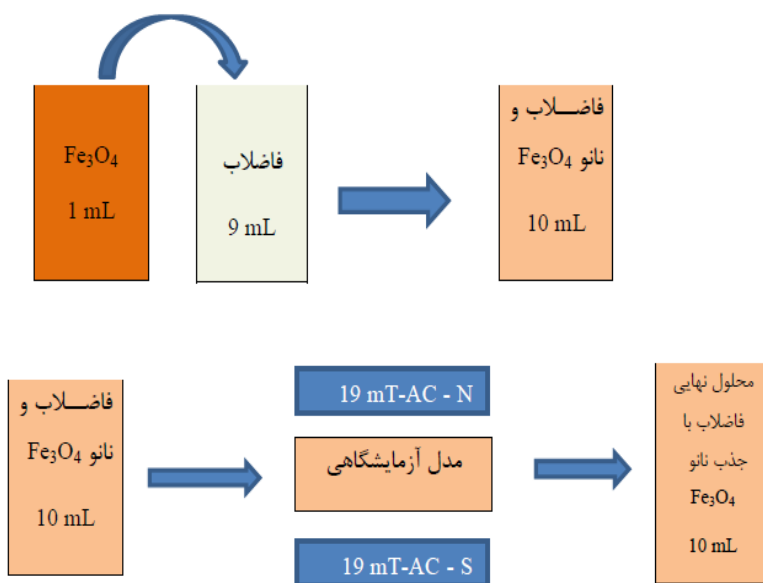
<sup>27</sup> Alternating Current



شکل ۳-۴ آهنربا با جریان متناوب

### ۳-۷ مدل آزمایشگاهی جریان پیوسته

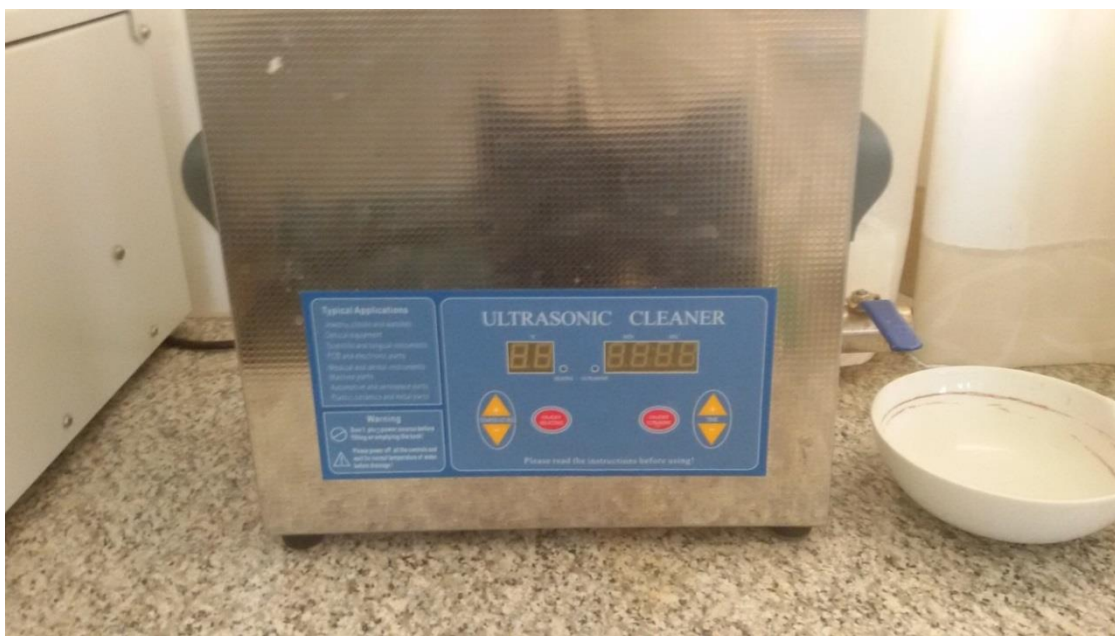
چنانچه برای پژوهش‌های آزمایشگاهی در واقعیت کاربردی یافت نشود و یا نتایج حاصل از تحقیق آزمایشگاهی قابل استفاده آسان نباشند، علی‌رغم ارزش علمی نمی‌توان برای آن ارزش عملی زیادی قائل شد. برابری آزمایشگاهی جذب نیترات به نانو اکسید مغناطیسی آهن و سپس حذف این نانو مواد از جریان فاضلاب، تجهیزات آزمایشگاهی خاصی طراحی و ساخته شد. در این تجهیزات سعی شده است هم به کمک آزمایشات شیمیایی و هم از طریق شاهد فرآیند فوق ثبت شود. برای انجام این کار از یک مجرای شیشه به مقطع مستطیل به ابعاد  $3\text{cm} * 20\text{cm}$  ضخامتی ۵ میلی‌متری دارد. فاضلاب پس از اختلاط با نانو سیال تهیه شده از نانو اکسید مغناطیسی آهن، از مقطع آزمایشگاهی که در میدان مغناطیسی قرار دارد عبور داده می‌شود (شکل ۳-۵). ذرات نانو در میدان مغناطیسی جذب دیواره مقطع شده و می‌توان آنرا از سیال جدا نمود.



شکل ۳-۵ روش کار مدل آزمایشگاهی

### ۳-۸ حمام ULTRASONIC SB-106D

برای پراکندگی و ترکیب نانو در آب از این دستگاه با فرکانس ۴۰ KHZ استفاده شد. (شکل ۳-۶)



شکل ۳-۶ حمام اولتراسونیک

### ۳-۹ تهیه محلول نانو

با توجه به آزمایشاتی که انجام شد (گلزار و همکاران؛ ۱۳۹۳) این نتیجه دریافت شد که برای تثبیت نانو باید از PAA با نسبت وزنی ۱:۲ استفاده کرد. بعنوان مثال برای تهیه ۱۰۰ میلی لیتر محلول ۱۰۰ ppm نانو و PAA ابتدا ۳/۳۳ میلی گرم نانو  $Fe_3O_4$  را در آب ریخته و به مدت نیم ساعت آنرا در دستگاه ULTRASONIC قرار داده تا به تثبیت برسد؛ شایان ذکر است که دمای دستگاه نباید از  $37^{\circ}C$  بالاتر رود چون احتمال تبخیر آب و به دنبال آن تغییر در غلظت محلول می رود. به موازات مرحله تثبیت نانو ۶/۶۷ میلی گرم PAA در بشری با حجم بیش از ۱۰۰ میلی لیتر با آب مخلوط می شود. این محلول به مدت یک ساعت در دستگاه همزن مغناطیسی قرار می گیرد تا یک دست شده و به تثبیت برسد. وقتی PAA بطور کامل در آب حل شد؛ محلول تثبیت شده نانو به آن اضافه می شود و مجددا در حمام اولتراسونیک قرار داده می شود. پس از یک ساعت محلول به تثبیت کامل می رسد. محلول حاصل را به مدت ۲۴ ساعت در محیط اتاق نگهداری سپس برای انجام آزمایشات از آن استفاده می شود؛ در این تحقیق از ۵ محلول



۱۰۰ ppm، ۲۰۰ ppm، ۳۰۰ ppm، ۴۰۰ ppm و ۵۰۰ ppm را به روال ذکر شده ابتدا آماده شد. (شکل ۳-۷) قبل از هر بار استفاده محلول به اندازه مورد نیاز در ظروف مناسب ریخته و به مدت نیم ساعت در حمام اولتراسونیک قرار داده شد.



شکل ۳-۷ نانو آهن  $Fe_3O_4$  و محلول PAA هنگام ترکیب با آب و تثبیت آن

### ۳-۱۰ اضافه کردن محلول نانو به نمونه

با توجه به نوع تصفیه‌خانه فاضلاب شاهرود که برکه تثبیت است زمان تصفیه بسیار زیاد است و امکان شبیه‌سازی زمانی فرآیندهای آن تصفیه‌خانه وجود نداشت؛ لذا براساس محدودیت آزمایشگاهی زمان تصفیه کمتری در نظر گرفته شد. منظور از زمان تصفیه زمان اختلاط نانو با فاضلاب است. نسبت حجمی فاضلاب

به نانو برابر با ۹ به ۱ انتخاب شده و در تمام آزمایشات بکار رفت. سپس لوله‌های آزمایش حاوی نانو و فاضلاب در لرزاننده قرار داده شد تا با سرعت و مدت مشخص بصورت رفت و برگشتی تکان بخورد. (شکل ۳-۸) باید مراقبت شود که در هنگام لرزاندن نانو بصورت محلول بماند و کلوخه و ته‌نشین نگردد.



شکل ۳-۸ دستگاه لرزاننده (SK-O180-Pro / SK-L180-Pro)

### ۳-۱۱ جذب نانو از محلول نهایی

بعد از سپری شدن زمان تعیین شده، محلول را در بشرهای ۲۵۰ میلی لیتری ریخته و در آن آهنربایی قرار داده شد. (شکل ۳-۹) با قرار گرفتن بشر بر روی دستگاه استیرر مشاهده می شود که مقدار قابل توجهی از نانو اکسید آهن به دو سر آهنربا می چسبند. این کار را با آهنربای دیگر تکرار می شود تا آخرین آهنربا هیچ نانو ذره‌ی دیگری را بخود جذب نکند. نحوه تشخیص بصورت مشاهده‌ای بود. اندازه‌گیری نیترات باقی مانده در محلول به کمک اسپکتوفتومتر انجام گردید.



شکل ۳-۹ مرحله قرار گرفتن آهنربا در محلول نهایی و جمع آوری نانو ذرات

### ۳-۱۲ اندازه‌گیری به وسیله دستگاه اسپکتوفتومتر HACH-DR6000

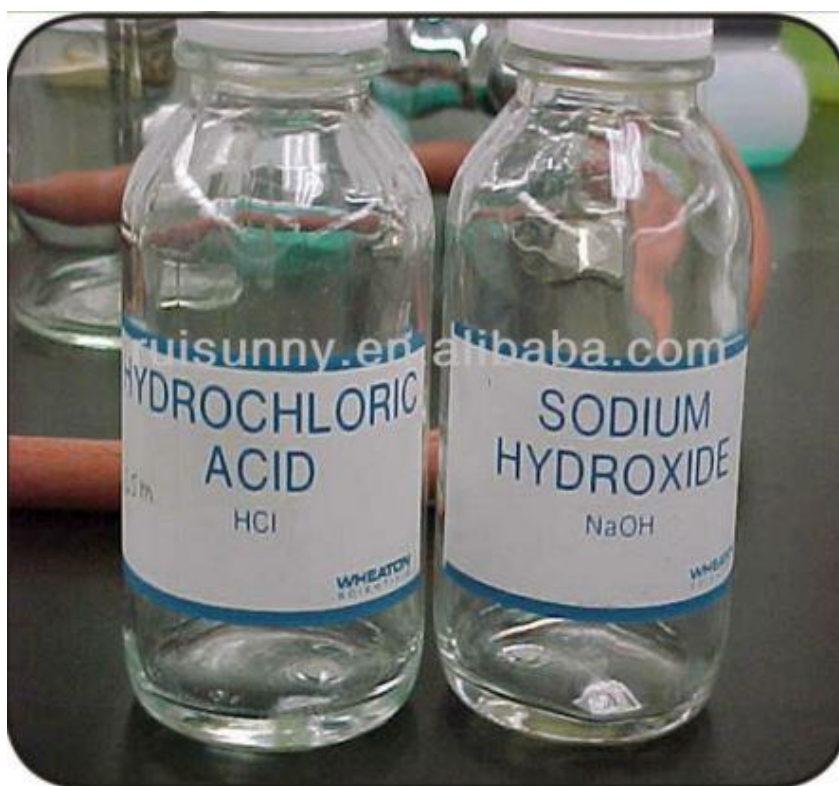
ابتدا در دو شیشه مخصوص آزمایش مقدار ۱۰ میلی‌لیتر محلول هم‌سان ریخته می‌شود و در یکی از شیشه‌ها پودر معرف مربوطه ریخته (برای نیترات از ریجنت 5 Nitrover\* استفاده شد) و دیگری را به عنوان محلول شاهد استفاده می‌شود. برای اندازه‌گیری نیترات بعد از ریختن پودر سر شیشه را بسته و بصورت عمودی به مدت یک دقیقه تکان داده می‌شود سپس ۵ دقیقه زمان برای احیای معرف نیاز است. اتمام زمان احیا با صدا درآمدن زنگ هشدار مشخص می‌شود، ابتدا محلول شاهد را در دستگاه قرار داده‌شد و سپس غلظت نیترات در محلول حاوی معرف توسط دستگاه اندازه گرفته می‌شود. شکل ۳-۱۰ دستگاه اسپکتوفتومتر HACH-DR6000 را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۱۰ دستگاه آنالیز HACH

### ۳-۱۳ روش تغییر pH

بدلیل اینکه pH خود فاضلاب استفاده شده در بازه زمان اندازه‌گیری از ۷ تا ۸ متغیر بود، اثرات تغییر pH بعنوان یک پارامتر مهم فرآیند مورد مطالعه قرار گرفت. محدوده pH از ۴ الی ۱۰ که در محدوده ترسیب PAA هستند بعنوان کرانه‌های آزمایش انتخاب شد تا مقدار حذف نیترات بوسیله نانو اکسید آهن مورد بررسی قرار گیرد. ابتدا به نمونه فاضلاب نیتریک اسید اضافه می‌شود تا pH آن کم گردد و وقتی pH به میزان لازم کم شود و سپس نانو اکسید آهن اضافه می‌شود. برای افزایش pH نمونه از NaOH استفاده گردید. (شکل ۳-۱۱)



شکل ۳-۱۱ نیتریک اسید و هیدروکلریک اسید



## **فصل چهارم**

### **تحليل نتائج آزمایشات**

#### ۱-۴ مقدمه

این فصل به ارائه تحلیل نتایج آزمایشات انجام شده اختصاص یافته است. بعلت موقعیت اقلیمی و آب و هوای گرم شهرستان شاهرود در فصول گرم سال مقدار تبخیر آب تصفیه‌خانه بالاست و همچنین شاهرود به علت واقع شدن در حاشیه کویر از لحاظ آب‌های سطحی به صورت رودخانه‌های دائمی، سهمی نداشته و منحصراً رودخانه‌های سیلابی و فصلی در این شهر جاری می‌باشد. از آنجا که چالش کمبود آب این شهر را بطور جدی تهدید می‌کند، بهینه‌سازی این تصفیه‌خانه می‌تواند کمکی بزرگ به شهرستان شاهرود باشد. هدف دیگر این پژوهش این بود فی‌الامکان ماده شیمیایی جدیدی به فاضلاب اضافه نشود و اگر این کار صورت گرفت روشی یافت شود تا بتوان آنرا از فاضلاب تصفیه شده جدا نمود.

#### ۲-۴ آزمایشات امکان‌سنجی

برای امکان‌سنجی حذف نیترات به کمک نانو ذرات آهن مغناطیسی آزمایش اولیه‌ای انجام شد. در این آزمایش محلول نانو  $500 \text{ ppm}$  به فاضلاب اضافه شد و به مدت ۲۴ ساعت در لرزاننده قرار گرفت. سپس محلول از فیلتر عبور داده شد و مقدار نیترات محلول اندازه‌گیری شد. مقدار نیترات نمونه فاضلاب بعد از ۲۴ ساعت از  $9 \text{ mg/L}$  به  $7/3 \text{ mg/L}$  رسید ولی محلول نانو و فاضلاب به  $7/1 \text{ mg/L}$  رسید. نتیجه‌ای که از این آزمایش می‌توان گرفت این بود که نانو آهن تثبیت شده مقداری از نیترات موجود در فاضلاب را حذف کرده و اگر آزمایش در شرایط بهینه انجام شود امکان بدست آمدن نتیجه بهتر برای حذف نیترات وجود دارد. از آنجا که از اهداف آزمایشات یافتن روشی بود که به کمک آن در انتهای فرآیند نانو ذره آهن را از فاضلاب حذف نمود روش استفاده از فیلترهایی با روزه‌های به قطر  $400$  نانومتر نتوانست این هدف را محقق سازد. مقدار اندکی از نانو ذرات موجود در فاضلاب رد شده از فیلتر به دام افتادند که به هیچ وجه قابل مقایسه با میزان نانوی موجود در محلول نبود.



### ۳-۴ جمع آوری نانو با آهنربا

روز قبل از آزمایش محلول‌های نانو آهن تثبیت شده با PAA در غلظت‌های ۱۰۰ ppm، ۲۰۰ ppm، ۳۰۰ ppm، ۴۰۰ ppm و ۵۰۰ ppm تهیه شد. در روز انجام آزمایش مقدار نیترات در فاضلاب ورودی، لاگون بی‌هوای میانی و لاگون اختیاری که در تصفیه‌خانه موجود بعنوان خروجی تصفیه‌خانه بکار می‌رود اندازه‌گیری شد. جدول ۱-۴ مقدار این پارامترها را قبل و بعد از آزمایش نشان می‌دهد.

جدول ۱-۴ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub>-N) و pH

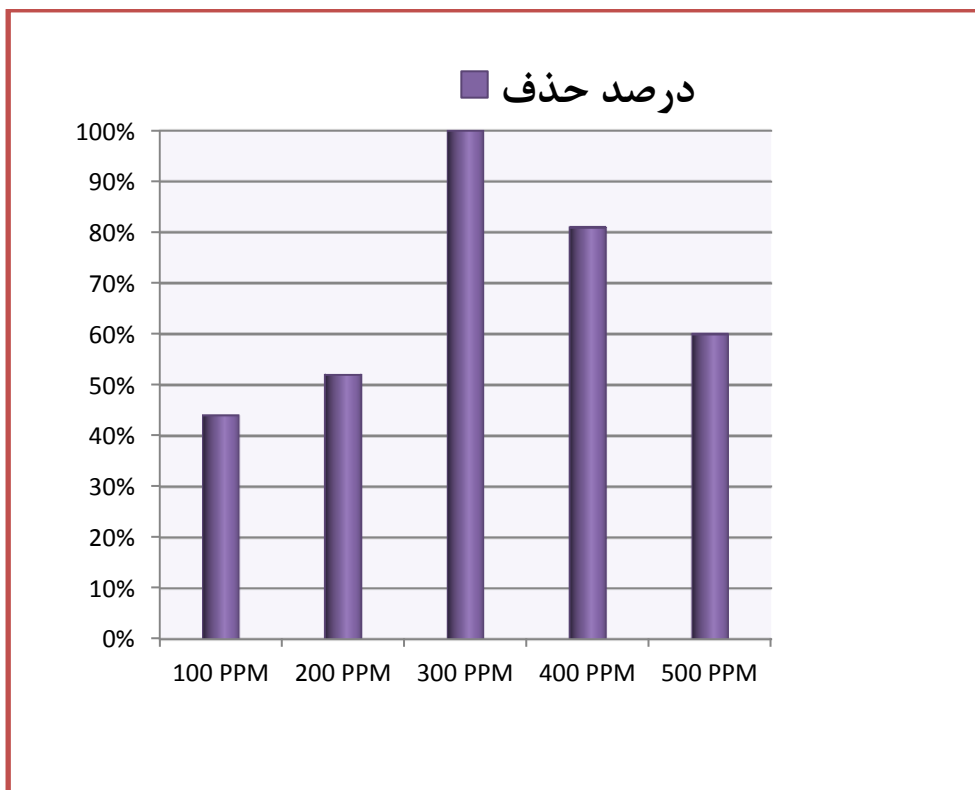
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH	نمونه
۹/۲	۷/۷۵	ورودی
۷	۷/۹۹	لاگون بی‌هوای میانی
۶/۷	۸/۱	لاگون اختیاری
۸/۹	۷/۷۵	ورودی بعد از ۲۴ ساعت

بعد از اضافه کردن محلول نانو در غلظت‌های مختلف به نمونه قسمت ورودی فاضلاب به روش گفته شده بعد از انجام آزمایش مقادیر نیترات نمونه‌ها اندازه‌گیری شده و در جدول ۲-۴ نشان داده شد.

جدول ۴-۲ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub>-N) و pH بعد از انجام آزمایش

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Ph	نمونه
۴/۹	۷/۷۷	۱۰۰ ppm
۴/۲	۷/۷	۲۰۰ ppm
۰	۷/۷۱	۳۰۰ ppm
۱/۲	۷/۷۲	۴۰۰ ppm
۳/۷	۷/۶۷	۵۰۰ ppm

با توجه به امکانسنجی انجام شده، مرحله دوم آزمایشات برای بهینه‌سازی شرایط حذف انجام گرفت. با توجه به یافته‌های امکان‌سنجی، تغییراتی در فرآیند آزمایشات به شرح ذیل انجام شد: اول آنکه محلول نانو در غلظت‌های مختلف روز قبل از اضافه شدن و نمونه‌برداری تعبیه شد تا یک شبانه روز از ساخته شدن محلول بگذرد. دوم اینکه pH فاضلاب اندازه‌گیری شد تا تاثیر محلول نانو بر pH نمونه دیده شود. سومین تغییر تفاوت در سرعت چرخش لرزاننده بود که سرعت آن به نصف سرعت قبل رسید. مهم‌ترین تفاوت، تغییر در مکانیسم جمع‌آوری نانو ذرات آهن از کاغذ صافی به آهنربا بود. در این آزمایش از آهنربای ۴ با پوشش تفلون برای جمع‌آوری نانو ذرات اکسید آهن استفاده شد. بعد از قرار دادن آهنربا هرگاه بصورت چشمی دیده می‌شود که در اطراف آن نانو ذرات تجمع یافته و بصورت ذرات سیاه در آمدند اندازه‌گیری نیترات انجام شد. نمودار شکل ۴-۱ مقدار حذف نیترات برای غلظت‌های مختلف بر حسب درصد را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۴ نمودار درصد حذف نیترات در غلظت‌های مختلف بدون تغییر pH فاضلاب

نتایج بدین ترتیب بود که حذف نیترات با اضافه کردن نانو ذره اکسید آهن صورت می‌گیرد و در محلول ۳۰۰ ppm حذف کامل و ۱۰۰ درصدی دارد اما ممکن بود این نتایج بدلیل نداشتن شاهد آزمایشگاهی دارای خطا باشد پس در آزمایشات بعدی نمونه‌ها باید در کنار نمونه شاهد خود اندازه‌گیری می‌شد تا هر دو نمونه نتایج مشابه‌ای را نشان دهد. همچنین برای جذب کامل نانو ذرات آهن باید از آهنربای بیشتری در نمونه نهایی استفاده می‌شد. ولی نتیجه خوبی که می‌شد از این آزمایش گرفت این بود که با ورود محلول نانو به نمونه فاضلاب pH دچار تغییر محسوسی نمی‌شد پس می‌توان از محلول نانو اکسید آهن بدون دغدغه‌ی تغییر pH استفاده کرد. با استفاده از نتایج آزمایشات امکان‌سنجی مجدداً از همان مکان‌های قبلی نمونه‌گیری انجام و نمونه‌ها جهت انجام آزمایشات سوم به آزمایشگاه منتقل شد تا از پارامترهای مورد نظر اندازه‌گیری شود. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول ۳-۴ مشاهده می‌شود.

جدول ۳-۴ مقدار پارامترهای اولیه ؛ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub>-N) و دما بر حسب سانتی گراد

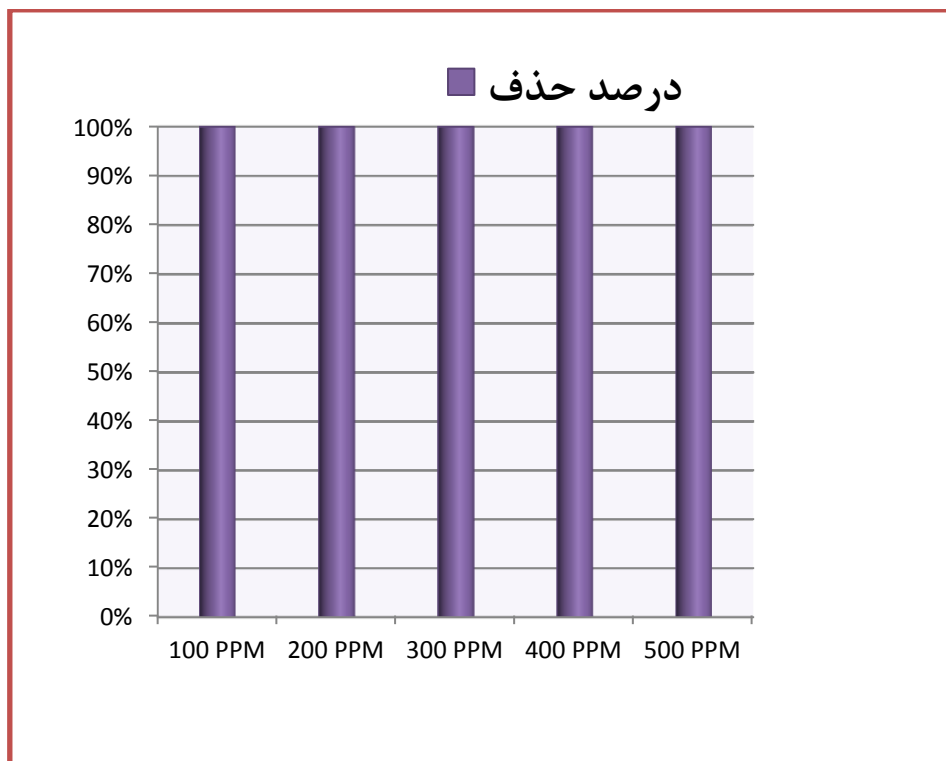
نمونه	pH	نیترات	دما
ورودی	۷/۶۷	۱۰ ppm	۲۴/۴
میانی	۸/۸۹	۷ ppm	۲۳/۶
خروجی	۸/۱۲	۶/۷ ppm	۲۲/۱

با توجه به شرایط موجود در تصفیه‌خانه و محاسبات انجام شده مقدار زمان لازم تا رسیدن فاضلاب از قسمت ورودی به سرریز خروجی دو ماه تخمین زده می‌شود. در فصول گرم سال بدلیل حرارت بالا آب زیادی در حوضچه‌ها تبخیر می‌شود بنابراین کاهش فرآیند جذب نیترات می‌تواند تاثیر بسزایی در حفظ فاضلاب در مقابل تبخیر داشته باشد. مقدار غلظت نیترات فاضلاب پس از فرآوری با نانو ذرات مغناطیسی آهن در جدول ۴-۴ آورده شده‌است. این آزمایش‌ها دو نوبت انجام شد تا آزمایش دوم بعنوان شاهد آزمایش اول قرار گیرد که در این آزمایشات اعداد حاصله از هر مرحله تفاوت خاصی نداشتند. همچنین از نمونه فاضلاب خام ورودی نیز در همان شرایط نمونه‌گیری که ذکر شد، نمونه گرفته شد تا مشخص شود که خصوصیات فاضلاب فرآوری نشده تا چه حد در دمای آزمایشگاه تغییر می‌کند.

جدول ۴-۴ میزان خصوصیات فاضلاب بعد از اضافه کردن با محلول نانو ذره اکسید آهن

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> بر حسب (mg/L NO <sub>3</sub> -N)	pH	نمونه
۰	۷/۱۵	۱۰۰ ppm
۰	۷/۱۵	۲۰۰ ppm
۰	۷/۲	۳۰۰ ppm
۰	۷/۱۱	۴۰۰ ppm
۰/۱	۷/۲۳	۵۰۰ ppm

با توجه به آزمایشات قبلی و رفع تمامی نقایص موجود این نتایج بدست آمد. تفاوت این مرحله از آزمایش با آزمایشات قبل استفاده از چند آهنربا برای جمع آوری کامل نانو ذرات اکسید آهن بود که با مشاهده کامل جذب نانو ذره آهن توسط آهنرباها نمونه نهایی اندازه گیری می شد. نمودار شکل ۴-۲ مقدار درصدی حذف نیترات را نشان می دهد.



شکل ۴-۲ نمودار درصد حذف نیترات در غلظت‌های مختلف

نتیجه‌ای که از این آزمایشات گرفته می‌شود این است که نانو ذرات اکسید آهن حذف کاملی از نیترات را دارند که دلیل آن می‌تواند جذب توسط نانو و سپس جمع آوری آن توسط آهنربا باشد. هدف اصلی این پایان‌نامه این بود که تا نیترات فاضلاب از بین رود. این هدف تا حدودی انجام شد ولی باز تلاش بر این شد تا این کار بهتر، کم هزینه‌تر و در زمان کمتری صورت گیرد. پس در مراحل بعدی سعی شد تا غلظت‌های کمتری از محلول نانو اکسید آهن آزمایش شود؛ در ذیل نتایج این آزمایشات در غلظت‌های پایین‌تر دیده می‌شود. در آزمایش قبل رویت شد که محلول ۱۰۰ ppm نانو اکسید آهن توانست نیترات موجود در فاضلاب را بطور کامل حذف نماید؛ در این مرحله از آزمایشات محلول‌هایی در غلظت‌های پایین‌تر برای انجام آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. محلول‌های ۱۰ ppm، ۳۰ ppm، ۵۰ ppm و ۷۰ ppm در این مرحله از آزمایش به روال گذشته آماده شد. نمونه‌گیری از تصفیه‌خانه در محل‌های قبلی صورت گرفت و در محیطی ایزوله به آزمایشگاه آورده شد و مقدار غلظت‌های مورد نیاز فاضلاب اندازه گرفته شده

که مقدار نیترات قسمت ورودی فاضلاب در جدول ۴-۵ دیده می‌شود و مانند قبل محلول‌های نانو که یک شبانه‌روز قبل آمده شده بود به مدت یک ساعت در اولتراسونیک قرار گرفت تا آماده آزمایش شود.

جدول ۴-۵ مقدار نیترات برحسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)

نمونه	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
ورودی	۷/۱۴	۷/۸

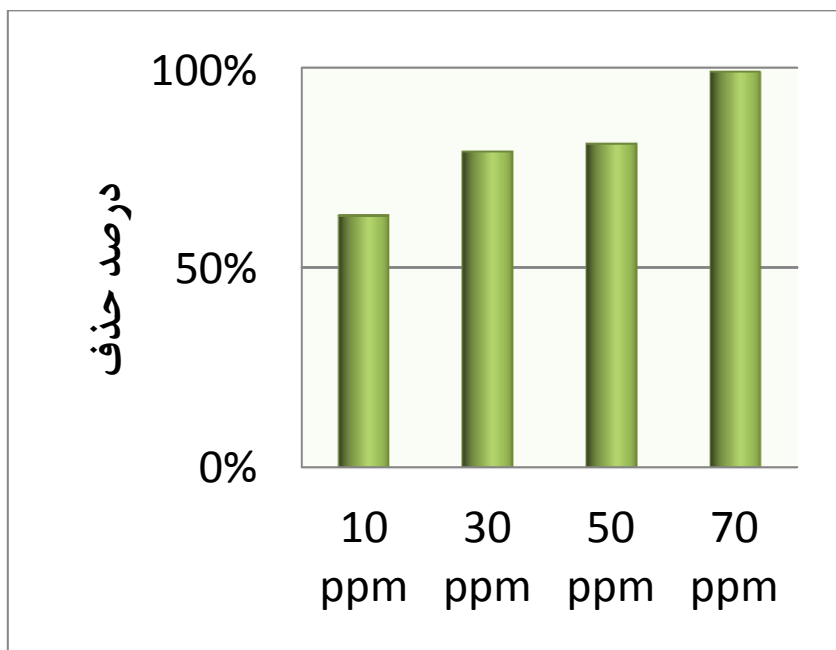
ترکیب محلول نانو ذره اکسید آهن و فاضلاب مانند قبل انجام شد و بعد از قرار گیری در لوله‌های آزمایش بر روی لرزاننده قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاصل از آزمایش در جدول ۴-۶ قرار گرفت. تمامی نمونه ها در کنار ناظرهای آزمایشگاهی اندازه گرفته شد.

جدول ۴-۶ مقدار نیترات برحسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) بعد از انجام آزمایش

نمونه	pH	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
ورودی	۷/۱۴	۷/۸
۱۰ ppm	۷/۲	۲/۹
۳۰ ppm	۷/۱۵	۱/۷
۵۰ ppm	۷/۰۵	۱/۵
۷۰ ppm	۷/۱۸	۰/۱

همانطور که دیده‌شد حذف نیترات در غلظت‌هایی کمتر از ۱۰۰ ppm نیز بسیار چشمگیر است و با وجود حذف بسیار کمی که محلول ۱۰ ppm دارد نشان می‌دهد که غلظت بهینه را می‌توان بین غلظت‌های

۳۰ ppm (بدلیل داشتن کمترین هزینه) و ۵۰ ppm (بدلیل حذف ۱۰۰ درصدی) انتخاب نمود. دلیل انجام این کار این بود که غلظت بهینه محلول نانو در آزمایش قبل ۱۰۰ ppm است که مقدار نانو استفاده شده برای ۱ مترمکعب ۳ گرم میباشد و طبق قیمتی نانو ذره اکسید آهن (هر گرم ۱۵۰۰۰ تومان) باید ۴۵۰۰۰ تومان هزینه برای حذف نیترات ۱ مترمکعب آب انجام داد که کاری پر هزینه می باشد پس تصمیم بر این شد تا غلظت محلول نانو کمتر گشته و صرفه اقتصادی آزمایشات مورد بررسی قرار بگیرد. نمودار شکل ۴-۳ مقدار حذف نیترات را برای غلظت کمتر نشان می دهند.



شکل ۴-۳ نمودار درصد حذف نیترات

#### ۴-۴ اثر pH

در غلظتهای ۳۰ ppm، ۵۰ ppm و ۷۰ ppm که از کمترین غلظتهای استفاده شده در این آزمایشات بوده بررسی pH در نظر گرفته شد تا تاثیر محیطهای اسیدی و بازی در حذف نیترات مورد بررسی قرار گیرد. بدلیل اینکه خود فاضلاب استفاده شده دارای pH بین ۷ الی ۸ بود تصمیم بر این شد تا مقدار حذف

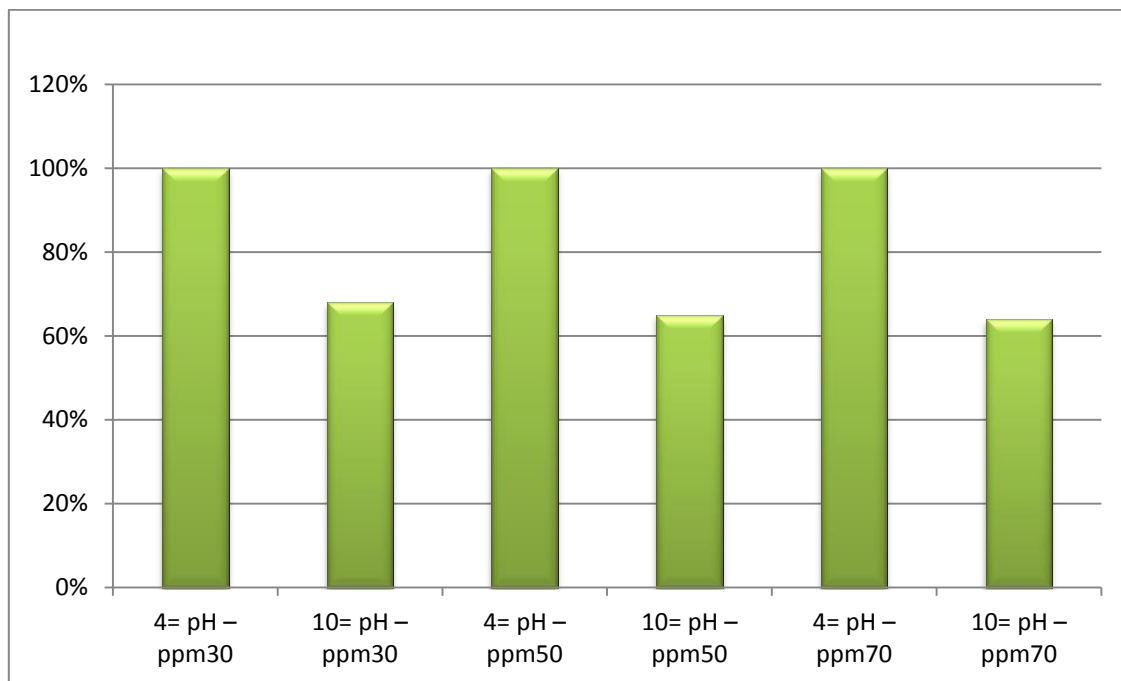


نیترات در pH های مختلف توسط نانو اکسید آهن مورد بررسی قرار گیرد. جدول ۴-۷ مقدار حذف نیترات را در نمونه‌های گفته شده نشان می‌دهد شایان به ذکر است pH نمونه‌ها پس از اضافه کردن محلول نانو تغییر کرده و به pH متوسط می‌رسد.

جدول ۴-۷ مقدار نیترات برحسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N) در ابتدا و انتهای انجام آزمایش

NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	نمونه
۲۰	نمونه اولیه
۰	۳۰ ppm – pH = ۴
۶/۴	۳۰ ppm – pH = ۱۰
۰	۵۰ ppm – pH = ۴
۷	۵۰ ppm – pH = ۱۰
۰	۷۰ ppm – pH = ۴
۷/۲	۷۰ ppm – pH = ۱۰

هدف از این آزمایش این بود که بهینه غلظت در محیط‌های مختلف بررسی و مقدار حذف آن دیده شود. نمودار شکل ۴-۴ درصد حذف نیترات را در آزمایش گفته شده نشان می‌دهد.



شکل ۴-۴ درصد حذف نیترات در غلظت و pH های مختلف

همانطور که دیده شد حالت اسیدی باعث حذف کامل نیترات در هر ۳ نمونه گشته و نشان می‌دهد در pH پایین حذف نیترات توسط نانو اکسید ذرات آهن بسیار بالا و کامل است. اما در محیط بازی میزان حذف نیترات کم شده و نشان دهنده تاثیرگذاری منفی محیط بازی بر حذف نیترات است.

#### ۴-۵ بهینه‌سازی زمان

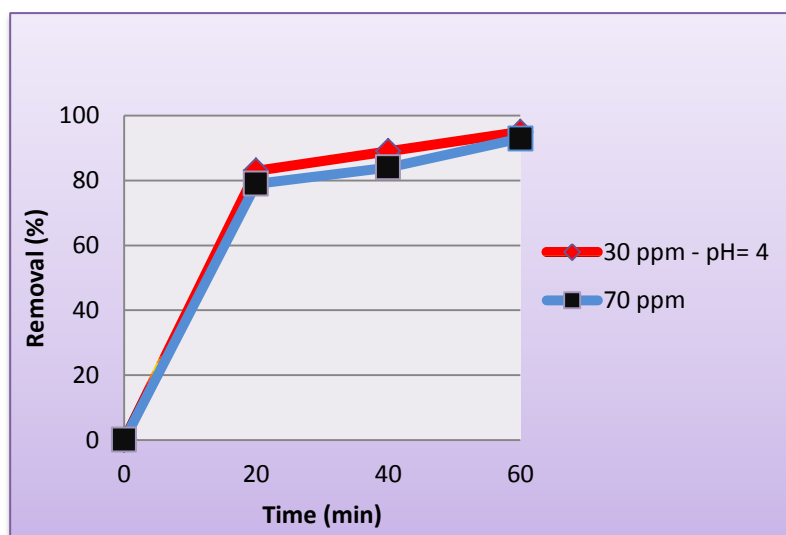
در مراحل قبلی آزمایشات مقدار حذف نیترات در فاضلاب توسط نانو اکسید آهن در زمان های نسبتاً بالایی از اختلاط صورت می‌گرفت پس سعی شد تا حذف در زمانهای پایین مورد بررسی قرار گیرد تا آزمایشات از نظر زمانی هم بهینه شود. طبق پژوهشی که قبلاً صورت گرفت حذف نیترات توسط نانو آهن در دقایق ابتدایی صورت می‌گیرد بطوریکه زمان بهینه برای حذف نیترات ۳۰ دقیقه در نظر گرفته شد (زوزلی؛ ۱۳۹۳). حال با توجه به این پژوهش تصمیم بر این شد که دو نمونه از فاضلاب در دسترس قرار گرفت یکی را به حالت اسیدی و  $pH = 4$  رسانده و دیگری بدون تغییر استفاده شد در نمونه

اسیدی محلول ۳۰ ppm و به نمونه ساده محلول ۷۰ ppm طبق روشهای قبلی اضافه گردید. نیاز به شش نمونه از هر محلول بود تا در ۳ دوره زمانی ۲۰ دقیقه مقدار حذف نیترات مورد بررسی قرار گیرد جدول ۴-۸. مقدار حذف نیترات در سه بازه زمانی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ دقیقه را نشان می‌دهد. نیترات نمونه قبل اضافه کردن نانو ذره اکسید آهن توسط دستگاه اسپکتوفتومتر اندازه گرفته شد که اندازه آن  $(\text{mg/l NO}_3^- \text{-N})$  ۲۱ بود.

جدول ۴-۸ مقدار نیترات برحسب  $(\text{mg/L NO}_3^- \text{-N})$

$\text{NO}_3^-$			نمونه
۶۰ دقیقه	۴۰ دقیقه	۲۰ دقیقه	
۱/۲	۲/۴	۳/۶	۳۰ ppm – pH=۴
۱/۵	۳/۵	۴/۶	۷۰ ppm

نمودار شکل ۴-۵ میزان حذف نیترات را به درصد بیان می‌کنند.



شکل ۴-۵ نمودار درصد حذف در بازه زمانی مختلف

در ۲۰ دقیقه اول بیش از ۰.۸۴٪ توسط محلول pH=۴ - ۳۰ ppm و ۰.۷۹٪ توسط محلول ۷۰ ppm حذف شدند و با اضافه شدن هر ۲۰ دقیقه حدود ۱۰ درصد به حذف نیترات اضافه شد پس می‌توان تخمین زد در زمانی حول ۸۰ دقیقه کل نیترات موجود در آب توسط نانو ذرات اکسید آهن حذف می‌شود.

#### ۶-۴ مدل آزمایشگاهی

نیترات نمونه فاضلابی که در آن محلول نانو ذره اکسید آهن با غلظت ۷۰ ppm اضافه شد تقریباً کامل حذف شد از این رو این محلول برای آزمایش در مدل انتخاب شد پس به فاضلاب محلول ۷۰ ppm نانو ذره اکسید آهن با همان روال گذشته اضافه شد و سپس بر روی لرزاننده قرار گرفت. بعد از یک ساعت یکبار به روشی که در آزمایشات انجام شد و آهنربای با پوشش تفلونی در محلول قرار گرفت و نانو ذرات اکسید آهن در محلول جمع گردید و نمونه دیگر وارد مدل شد. نتایج حاصل از این دو نمونه را در جدول ۹-۴ ذکر شده است.

جدول ۹-۴ مقدار نیترات بر حسب (mg/L NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N)

نمونه	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
نمونه ابتدایی	۱۶/۵
روش ابتدایی	۰/۹
مدل آزمایشگاهی	۰

استفاده از مدل با داشتن آهنربایی با قدرت بالا نشان از این دارد که حذف ۹۴ درصدی پس از ۶۰ دقیقه توسط نانو می‌تواند کامل صورت گیرد اگر تمام ذرات نانو از داخل نمونه جمع‌آوری شود.

## **فصل پنجم**

### **نتیجه گیری و پیشنهادات**

## ۵-۱ مقدمه

در این پژوهش سعی شد از مقدار نیترات موجود در فاضلاب بوسیله نانو ذرات اکسید آهن کاسته تا یکی از خطرناک‌ترین آلاینده‌های موجود در آب کاهش یابد و عوارض سوء ناشی از استفاده آن در بدن از بین رود. خوشبختانه در این پژوهش راهکاری علمی و اقتصادی پیدا شده است که می‌تواند این آلاینده را از بین ببرد و هزینه کمی صرف کند. حذف نیترات در دقایق ابتدایی و بطور گسترده اتفاق خوبی بود که در این پژوهش افتاد. حال در ذیل به خلاصه از نتایجی که در این پژوهش بدست آمده اشاره می‌شود.

## ۵-۲ خلاصه پژوهش

- حذف نیترات توسط نانو ذره اکسید آهن در غلظت‌های ۵۰۰ ppm، ۴۰۰ ppm، ۳۰۰ ppm، ۲۰۰ ppm، ۱۰۰ ppm و ۷۰ ppm بصورت صد در صدی صورت گرفت و در غلظت‌های پایین‌تر (۵۰ ppm و ۳۰ ppm) حذف بالایی بدست آمده است. جدول‌های ۵-۱ و ۵-۲ درصد حذف در غلظت‌های مختلف را نشان می‌دهد.

جدول ۵-۱ درصد حذف در غلظت‌های مختلف

نمونه	درصد حذف
ورودی	-
۱۰۰ ppm	٪۱۰۰
۲۰۰ ppm	٪۱۰۰
۳۰۰ ppm	٪۱۰۰
۴۰۰ ppm	٪۱۰۰
۵۰۰ ppm	٪۱۰۰

جدول ۲-۵ درصد حذف در غلظت‌های مختلف

درصد حذف	نمونه
-	ورودی
٪۶۳	۱۰ ppm
٪۷۹	۳۰ ppm
٪۸۱	۵۰ ppm
٪۹۹	۷۰ ppm

- اسیدی بودن نمونه کمک شایانی به حذف نیترات می‌کند بطوریکه در غلظت‌های ۵۰ ppm و ۳۰ ppm حذف صد در صدی بدست آمد. جدول ۳-۵ میزان حذف نیترات در pH های مختلف فاضلاب را نشان می‌دهد.

جدول ۳-۵ درصد حذف در غلظت‌های مختلف

درصد حذف	نمونه
-	نمونه اولیه
٪۱۰۰	۳۰ ppm – pH = ۴
٪۶۸	۳۰ ppm – pH = ۱۰
٪۱۰۰	۵۰ ppm – pH = ۴
٪۶۵	۵۰ ppm – pH = ۱۰
٪۱۰۰	۷۰ ppm – pH = ۴
٪۶۴	۷۰ ppm – pH = ۱۰

- همانطور که در جدول ۳-۵ دیده می‌شود محیط اسیدی خوب و کارساز برای حذف نیترات توسط نانو اکسید آهن است ولی محیط بازی باعث کاهش عملکرد حذف نیترات می‌شود.
- قسمت امیدوار کننده این پژوهش حذف نیترات در دقایق ابتدایی بود که می‌تواند باعث تسریع در روند تصفیه آب شود بطوریکه در ۲۰ دقیقه ابتدایی ترکیب محلول نانو اکسید آهن با نمونه بیش از ۷۰ درصد نیترات در بهینه‌ترین غلظت‌ها از بین رفت و بعد از ۶۰ دقیقه تقریباً چیزی از نیترات در نمونه باقی نماند. جدول ۴-۵ درصد حذف نیترات در زمان‌های اولیه انجام آزمایش را به ما نشان می‌دهد.

جدول ۴-۵ درصد حذف در غلظت‌های مختلف

درصد حذف			نمونه
۶۰ دقیقه	۴۰ دقیقه	۲۰ دقیقه	
٪۹۵	٪۸۹	٪۸۳	۳۰ ppm – pH=۴
٪۹۳	٪۸۴	٪۷۹	۷۰ ppm

- مدلی تعبیه شد تا کارایی این پژوهش دیده شود که حذف صد در صدی نیترات در آن رخ داد.

### ۳-۵ پیشنهادات

بوسیله علم نوظهور نانو می‌توان کارهای زیادی در مقوله تصفیه فاضلاب انجام داد فعالیت‌هایی که اگر انجام شوند می‌توانند بخشی از خطر کمبود آب را برطرف کنند. حال چند پیشنهاد برای کسانی که می‌خواهند با علم نانو در زمینه تصفیه فاضلاب و یا محیط‌زیست فعالیت کنند در ذیل آورده شده است:

- حذف دیگر ترکیبات بوسیله نانو ذره اکسید آهن



- استفاده از این محلول ولی با درصد وزنی دیگر
- استفاده همزمان نانو اکسید آهن و آب نانو حباب‌دار برای ارتقا کیفیت آب
- امتحان بازیافت نانو ذره استفاده شده در فاضلاب
- تعبیه مدلی در محل تصفیه‌خانه و استفاده از علم نانو در آن

و بسیاری از فعالیت‌هایی که در این زمینه می‌شود انجام داد. تمامی این پژوهش‌ها برای برطرف کردن خطر کمبود آب در کشورمان ایران است ولی شاید صرفه‌جویی در مصرف آب می‌تواند بهترین و کم هزینه‌ترین کار در این راستا باشد.

## مراجع

- [۱] بنی‌هاشمی، ب؛ (۱۳۸۵). حذف آلودگی آب های زیر زمینی با استفاده از نانو مواد: نانو آهن صفر ظرفیتی. اولین همایش ملی نانو تکنولوژی. اصفهان: انتشارات دانشگاه اصفهان.
- [۲] جانباز فوتمی، مهدیه؛ خلقی، مجید؛ هورفر، عبدالحسین؛ حق شناس، داوود؛ (۱۳۹۲). مطالعه آزمایشگاهی اثر نانو ذرات آهن بر حذف آرسنیک در محیط آبی. محیط شناسی، دوره ۳۹، شماره ۴، ۱۴۹-۱۵۶، ..
- [۳] ززولی، محمدعلی؛ تیلکی، رمضانعلی؛ صفرپور، مرجان؛ (۱۳۹۳). حذف نیترات از آب با نانو ذره اکسید آهن. مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ۱۵۱-۱۶۱.
- [۴] ساغروانی، س.ف؛ دانشگر، ف؛ گلزار، م. (۱۳۹۲). بهینه سازی نسبت PAA به منظور پایداری فاز مایع نانو ذرات آهن سه ظرفیتی. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت. زاهدان.
- [۵] شایسته‌فر، محمد؛ خباری‌زاده، رازقه؛ دره زرشکی، اسماعیل؛ (۱۳۹۱). بررسی توانایی نانو ذرات اکسید آهن، در حذف رقابتی و بازیابی کروم شش. محیط شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۴؛ ۱-۸.
- [۶] عابدینی، ف. و همکاران. اردیبهشت (۱۳۹۲) "بررسی و تحلیل چگونگی بهره‌گیری از فناوری نانو در توسعه معماری پایدار". همایش ملی معماری پایدار و توسعه شهری، بوکان،.
- [۷] عطایی، بهزاد؛ (۱۳۹۰) مطالعه آزمایشگاهی کاهش نیترات از آب شرب با استفاده از نانو ذرات دو فلزی آهن/مس. نشریه آب و خاک علوم و صنایع کشاورزی، ۹۴-۱۰۳.

[۸] کشکولی، حیدرعلی؛ ب. م. (۱۳۹۲). سنتز نانو ذرات مگنتیت و بررسی کارایی آن در حذف کادمیم از محلول آبی. آب و فاضلاب شماره ۳: ۵۴-۶۲.

[۹] کیاست، علیرضا (۱۳۹۳). حذف سرب از محلولهای آبی توسط نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی اصلاح شده. آب و فاضلاب شماره ۲: ۶۸-۷۶.

[۱۰] محوی، امیرحسین؛ کریمی، لیلا (۱۳۹۳). ارزیابی فرآیند جذب سطحی یون های کادمیوم از فاضلاب سنتتیک با نانو ذرات آهن مغناطیسی سنتز شده. مجله سلامت و محیط فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره هفتم، شماره دوم، ۱۷۱-۱۸۴.

[۱۱] همامی، آ. (۱۳۸۷). صنایع زیستی از دیدگاه نانو تکنولوژی. انتشارات ققنوس

[۱۲] Adesina A.A., 2004. Industrial exploitation of photocatalysis progress, perspectives and prospects. *Catal. Surv. Asia* 8(4), 265–273.

[۱۳] An, y., dong, q., & zhang, k. (2014). Bioinhibitory effect of hydrogenotrophic bacteria on nitrate reduction by nanoscale zero-valent iron. *Chemosphere*, 86-91.

[۱۴] Asahi R., T. Morikawa, T. Ohwaki, K. Aoki & Y. Taga, 2001. Visible-light photocatalysis in nitrogen-doped titanium oxides. *Science* 293(5528), 269–271.

[۱۵] Bartschat, B.M, Cabaniss, S.E., Morel, F.M.M., (1992), Oligoelectrolyte Model for Cation Binding by Humic Substances. *Environmental Science and Technology* 26:284-294.

[۱۶] Crittenden J. (2005), "Water treatment: Principles and Design" 2nd edition, John Willy & Sons, New York.

- [17] Evangelou V. P. (1998), "Environmental soil and water chemistry (Principles and applications)", 1st Edition, John Wiley & Sons, New York, Chapter 4, pp 167-169.
- [18] Kandasamy J., Vigneswaran S., Hoang T. T. L. and Chaudhary D. N. S. (2005) "Adsorption and biological filtration in wastewater treatment" Water Wastewater Treat. Technol., Sydney.
- [19] Kapoor A., and Viraraghavan T. 1997. Nitrate removal from drinking water-Review. J. Environ. Eng.-ASCE, 123(4), 371–380.
- [20] Keeney D.R., and Follet R.F. 1991. Managing nitrogen for groundwater quality and farm profitability: overview and introduction. In: R.F. Follet, D.R. Keeney and R.M. Cruse, Editors, Managing Nitrogen for Groundwater Quality and Farm Profitability, ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI, pp. 1–7.
- [21] Liu, W. (2005). Catalyst technology development from macro- micro- down to nano-scale. China Particuology, 383-394.
- [22] Madani, k. (2014). "Water management in Iran: what is causing the looming crisis?". journal of environmental studies and sciences, volume4,issu4, 315-328.
- [23] Obare S.O. & G.J. Meyer, 2004. Nanostructured materials for environmental remediation of organic contaminants in water. J. Environ. Sci. Health A. 39(10), 2549–2582.
- [24] Polshettiwar, v., & Varma, r. (2010). Green chemistry by nano-catalysis. Green Chem, 743-754.

[۲۵] Robert L. and Burwell J. R. (1976) "MANUAL OF SYMBOLS AND TERMINOLOGY FOR PHYSICOCHEMICAL QUANTITIES AND UNITS-APPENDIX II" Pure & Appl Chem., 46, pp 71-90.

[۲۶] Ryu, a., jeong, s.-w., jang, a., & choi, h. (2011). 9 Reduction of highly concentrated nitrate using nanoscale zero-valent iron: Effects of aggregation and catalyst on reactivity. Applied catalysis B: Environmental, 128-135.

[۲۷] Wang Cho, d., Song, h., schwartz, f. w., & kim, b. (2015). The role of magnetite nanoparticles in the reduction of nitrate in groundwater by zero-valent iron. chemosphere, 41-49.

[۲۸] Wang, t., lin, j., & chen, z. (2014). 2 Green synthesized iron nanoparticles by green tea and eucalyptus leaves extracts used for removal of nitrate in aqueous solution. journal of cleaner production, 413-419.

[۲۹] Yu, Q. L., Brouwers, H. J. H. "Indoor air purification using heterogeneous photocatalytic oxidation. Part I: Experimental study", Applied Catalysis B: Environmental, Vol. 92, pp. 454-461, (2009).

## Abstract

In this research, Nitrate removal from urban wastewater was carried out by employing magnetic nanoparticles after stabilization by polyacrylic acid. Results of investigation on samples with volumetric ration 1 to 9, illustrated that the maximum removal obtained in 70 ppm concentration. Furthermore, by reducing pH of wastewater samples, Nitrate removal was dramatically increased. In contrast, in alkaline medium, the performance of magnetic nanoparticles decreased and the little amount of Nitrate was removed. In this study, Nitrate removal mostly was carried out in the first minutes of this procedure so that in the first 20 minutes, more than 70 % of Nitrate was removed in optimum concentration and after 60 minutes, almost the entire Nitrate was removed from wastewater sample. In the following by utilizing an experimental model, solution contained wastewater and magnetic nanoparticles crossed from 19 mT magnetic field with alternative current to collect magnetic nanoparticles from wastewater and the results showed after 60 minutes, the entire Nitrate of wastewater was carried out.

**Keywords:** iron oxide magnetic nanoparticles, polyacrylic acid, nitrate, urban wastewater, magnet



**University of Shahrood**

**Faculty of Civil Engineering**

**Nitrate removal from urban wastewater by nano technology**

**Behzad Khalili**

Supervisor

**Dr. S. F. Saghravani**

December 2015