



مؤسسه آموزش عالی انرژی

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

مهندسی شیمی - بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)

**عنوان:**

**تصفیه پساب صنایع با استفاده از نانو ذرات رس**

**و خاک‌های رس طبیعی**

**استاد راهنما:**

**یوسف یاسی**

**اساتید مشاور:**

**نصرالله محمدی - طاهر طاهریان**

**پژوهشگر:**

**سید محمد صادق موسوی**

**تابستان / ۱۳۹۵**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تقدیم می گردد به:

تمامی پویندگان طریق علم و دانش

و پدر و مادر گرامیم؛ که مشوق من در گام نهادن به عرصه تحقیق و پژوهش هستند.

## تشکر و قدردانی

خدای بزرگ را شاکرم که عنایت فرموده تا در راه کسب علم و دانش و همچنین تلاش برای رفع نیازهای میهن سرافرازم قدمی بردارم. برای گام نهادن در این راه از هدایت‌های عالمانه استاد راهنمای عزیزم، جناب آقای دکتر یوسف یاسی و همچنین اساتید مشاور ارجمندم؛ جناب آقایان دکتر نصرالله محمدی و مهندس طاهر طاهریان، و همچنین مدیران و کارکنان محیط زیست لرستان، دانشگاه علوم پزشکی لرستان، و شرکت‌های همکاری کننده در این پژوهش (رنگ خرم، فدک طیور، فدک لبن خرم آباد و نساجی بروجرد) کمال تقدیر، تشکر و سپاسگذاری را دارم. امید است که همواره در مسیر موفقیت و شادکامی، گام برداشته و در راستای پیشرفت و تعالی کشور عزیزمان کوشا باشیم.

## چکیده

### تصفیه پساب صنایع با استفاده از نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی

مقدمه: آب از ضروری‌ترین عناصر حیات بر روی زمین است. با اینکه ۷۰٪ سطح کره زمین، پوشیده از آب است، اما کمتر از ۳٪ آن آب شیرین است. در دسترس بودن آب سالم، از مهمترین مسائل پیش روی بشر است و با افزایش مصرف، مواد آلاینده نیز به روشهای گوناگون باعث آلودگی منابع آبی شده و این مسأله در آینده بحرانی‌تر خواهد شد. فن‌آوری‌های کنونی نمی‌توانند ذرات معلق فرایندهای صنعتی و عناصر حل شده را با وجود تنوع در آلاینده‌های پساب صنایع مختلف، به درستی بازیافت نمایند. لذا پژوهش‌های جدید می‌توانند در راستای تجدید ساختار و اصلاح فرایندها از جمله تصفیه استاندارد آب با استفاده از شیوه‌های طبیعی، علاوه بر جلوگیری از تحمیل هزینه‌ها، باعث افزایش بهره‌وری بیشتر گردد. اهمیت استفاده از فن‌آوری نانو در صنعت تصفیه پساب، و به کارگیری مجدد آب حاصله، باعث شده تلاش‌های مثبتی در این زمینه صورت پذیرد.

**مواد و روش‌ها:** شیوه انجام کار در این تحقیق به صورت عبور پساب‌ها از صافی‌های تهیه شده از خاک‌رس با ابعاد متفاوت (نانو، میکرو، میلی و خاک رس طبیعی) و سپس سنجش کدورت نمونه‌های عبور داده شده از صافی‌ها و مقایسه آنها با میزان کدورت اولیه هر نوع پساب کارخانه‌ها و در نهایت مقایسه کارایی کلی صافی‌ها و تعیین فیلتر مناسب برای هر نوع پساب از کارخانه‌ها با توجه به نوع مواد تولیدی در هر سری ساخت می باشد.

**نتایج:** در طی این پژوهش، با بهره‌گیری از فناوری نوین نانو و استفاده از ماده‌ای ارزان و قابل دسترس که به محیط‌زیست نیز آسیب نمی‌رساند (نانورس و رس طبیعی)، در تصفیه پساب‌های تهیه شده از چهار صنعت مورد نظر، آزمایشاتی انجام گردید.

**بحث:** در این پژوهش با ضریب خطای ۱٪ و درجه آزادی ۳ و ۱۲ نتایج مفیدی برای انجام فیلتراسیون صورت گرفته حاصل گردید، که در این راستا فیلترهای رسی می‌توانند تا بیش از ۷۲٪ از کدورت پساب‌های مورد آزمایش را برطرف نموده و در تصفیه پساب موفق و از اثربخشی لازم برخوردار باشند.

**کلمات کلیدی:** تصفیه‌های جدید – نانورس – پساب صنایع – فیلترهای رسی – Nano Clay

## فهرست مطالب

عنوان	شماره صفحه
<b>چکیده</b> .....	أ
فهرست مطالب .....	ب
فهرست جدول ها.....	ج
فهرست شکل ها.....	خ
فهرست نمودارها .....	د
فهرست علائم اختصاری .....	ذ
<b>فصل اول: مقدمه و کلیات</b> .....	۱
۱ - ۱) مقدمه.....	۲
۱ - ۲) تعریف مساله.....	۶
۱ - ۳) ضرورت تحقیق.....	۱۹
۱ - ۴) روش ها.....	۲۹
۱ - ۵) اهداف پژوهش.....	۲۹
۱ - ۶) زمینه های به کارگیری پساب پس از تصفیه.....	۳۰
۱ - ۷) جنبه های نوآوری.....	۳۵
۱ - ۸) فرضیات تحقیق.....	۳۶
۱ - ۹) پرسش های تحقیق.....	۳۷
<b>فصل دوم: مروری بر پیشینه تحقیق</b> .....	۳۸
فصل ۲) مروری بر پیشینه تحقیق.....	۳۹
<b>فصل سوم: مواد و روش اجرای تحقیق</b> .....	۷۰
فصل ۳) مواد و روش اجرایی تحقیق.....	۷۱

۷۱	..... ۳-۱) طر حواره تحقیق
۷۲	..... ۳-۲) ملزومات طرح پژوهشی
۷۴	..... ۳-۳) نانو فیلتراسیون و سنجش کدورت پساب‌ها
۸۰	..... ۳-۴) مشخصات سیستم تصفیه
۸۲	..... ۳-۵) مشخصات نانورس استفاده شده در سیستم تصفیه
۸۲	..... ۳-۶) روش کار در سیستم تصفیه مورد آزمایش
۸۳	..... ۳-۷) زمان بندی
۸۵	..... ۳-۸) هزینه‌ها
۸۶	..... ۳-۹) جدول شرح فعالیت‌ها
۸۸	..... <b>فصل چهارم: تجزیه و تحلیل نتایج</b>
۸۹	..... فصل ۴) تجزیه و تحلیل نتایج
۹۰	..... ۴-۱) نوآوری تحقیق
۹۰	..... ۴-۲) نتایج حاصله از آزمایشات
۹۱	..... ۴-۲-۱) نتایج تصفیه پساب شرکت رنگ خرم
۹۲	..... ۴-۲-۲) نتایج تصفیه پساب کارخانجات نساجی بروجرد
۹۳	..... ۴-۲-۳) نتایج تصفیه پساب مجتمع فدک طیور
۹۵	..... ۴-۲-۴) نتایج تصفیه پساب شرکت فدک لبن
۹۸	..... <b>فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات</b>
۹۹	..... فصل ۵) نتیجه گیری و پیشنهادات
۱۰۰	..... ۵-۱) نتیجه‌گیری کلی تصفیه پساب‌ها
۱۰۹	..... ۵-۲) تحلیل آماری
۱۱۱	..... ۵-۳) ارائه پیشنهادات

فهرست مراجع:..... ۱۱۲

پیوست‌ها..... ۱۱۶

پیوست ۱ - آشنایی با برخی از تکنولوژیهای نانو در تصفیه آب و پساب ..... ۱۱۷

پیوست ۲ - واژه‌ها و اصطلاحات رایج در مهندسی و تصفیه فاضلاب ..... ۱۳۴

پیوست ۳ - قوانین و استانداردهای اشاره شده در این پژوهش ..... ۱۳۶

پیوست ۴ - علائم، اصطلاحات و اختصارات به کار رفته در این پژوهش ..... ۱۳۸



## فهرست جداول

عنوان	شماره صفحه
جدول شماره (۱-۱) ترکیبات مختلف موجود در پساب‌های صنعتی به تفکیک صنعت.....	۸
جدول شماره (۱-۲) عوامل بیماری‌زای موجود در آب.....	۲۵
جدول شماره (۱-۳) نمونه‌ای از موارد استفاده پساب‌ها پس از تصفیه.....	۳۴
جدول شماره (۲-۱) سهم بازار محصولات نهایی توانمند شده با فناوری نانو به تفکیک صنعت.....	۵۹
جدول شماره (۲-۲) سهم مناطق جغرافیایی جهان از بازار محصولات تصفیه آب مبتنی بر.....	۶۳
جدول شماره (۲-۳): اختراعات ثبت شده (PATENTS) با استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب.....	۶۸
جدول شماره (۳-۱) فهرست مواد اولیه و لوازم عمده مصرفی مورد نیاز در طرح.....	۷۳
جدول شماره (۳-۲) مشخصات محل‌های تهیه پساب‌ها.....	۷۵
جدول شماره (۳-۳) ویژگی پساب‌های تهیه شده.....	۷۶
جدول شماره (۳-۴) مراحل اجرا و زمان بندی طرح (زمان بر حسب ماه).....	۸۴
جدول شماره (۳-۵) هزینه‌های طرح.....	۸۵
جدول شماره (۳-۶) شرح فعالیت‌های طرح.....	۸۷
جدول شماره (۴-۱) نتایج کدورت‌سنجی پساب رنگ خرم.....	۹۲
جدول شماره (۴-۲) نتایج کدورت‌سنجی پساب نساجی.....	۹۳
جدول شماره (۴-۳) نتایج کدورت‌سنجی پساب فدک طیور.....	۹۴
جدول شماره (۴-۴) نتایج کدورت‌سنجی فدک لبن.....	۹۶
جدول شماره (۵-۱) نتایج حاصله از سنجش کدورت پساب‌های تهیه شده.....	۱۰۰
جدول شماره (۵-۲) نتایج حاصله از سنجش کدورت پساب‌ها با عبور از صافی‌های رسی.....	۱۰۰
جدول شماره (۵-۳) ترتیب تناسب کارایی بهتر صافی‌ها برای هر نوع پساب.....	۱۰۱

جدول شماره (۵ - ۴) یکسان سازی کارایی صافی ها در کاهش کدورت (بر حسب درصد).....۱۰۲

جدول شماره (۵ - ۵) بررسی کارایی کلی صافی های رسی در کاهش کدورت.....۱۰۵

جدول شماره (۵ - ۶) جایگاه نوع صافی های مناسب در فرایند تصفیه صورت گرفته.....۱۰۸

## فهرست اشکال

عنوان	شماره صفحه
شکل (۱ - ۱) اهمیت و کمبود آب در جهان.....	۳۳
شکل (۱ - ۲) ارتباط نانو با سایر علوم.....	۵۴
شکل (۱ - ۳) نمای طرحواره تحقیق.....	۷۲
شکل (۲ - ۳) نمایی از عمل تصفیه توسط نانو فیلترها.....	۷۴
شکل (۳ - ۳) تصویر سیستم تصفیه تهیه شده جهت تصفیه پساب‌ها.....	۸۰
شکل (۴ - ۳) تصویر قسمت نگهدارنده ظروف در سیستم تصفیه پساب.....	۸۱
شکل (۵ - ۳) تصویر قسمت متحرک و قابل تنظیم سیستم تصفیه پساب.....	۸۱
شکل (۱ - ۴) نمونه پساب رنگ خرم.....	۹۱
شکل (۲ - ۴) نمونه تصفیه ایجاد شده توسط صافی‌های رسی برای پساب رنگ خرم.....	۹۱
شکل (۳ - ۴) نمونه پساب تهیه شده از نساجی بروجرد.....	۹۲
شکی (۴ - ۴) نمونه تصفیه ایجاد شده توسط صافی‌های رسی برای پساب شرکت نساجی بروجرد.....	۹۳
شکل (۵ - ۴) نمونه پساب فدک طیور.....	۹۴
شکل (۶ - ۴) نمونه تصفیه ایجاد شده توسط صافی‌های رسی برای پساب شرکت فدک طیور.....	۹۴
شکل (۷ - ۴) نمونه پساب فدک لبن.....	۹۵
شکل (۸ - ۴) نمونه تصفیه ایجاد شده توسط صافی‌های رسی برای پساب شرکت فدک طیور لبن.....	۹۵

## فهرست نمودارها

عنوان	شماره صفحه
نمودار شماره (۵ - ۱) کارایی صافی نانو در کاهش کدورت پساب.....	۱۰۲
نمودار شماره (۵ - ۲) کارایی صافی میکرو در کاهش کدورت پساب.....	۱۰۳
نمودار شماره (۵ - ۳) کارایی صافی میلی در کاهش کدورت پساب.....	۱۰۳
نمودار شماره (۵ - ۴) کارایی صافی معمولی در کاهش کدورت پساب.....	۱۰۴
نمودار شماره (۵ - ۵) مقایسه کارایی صافی‌ها در کاهش کدورت پساب.....	۱۰۴
نمودار شماره (۵ - ۶) مقایسه بین کارایی صافی‌ها در کاهش کدورت (بر حسب درصد).....	۱۰۵
نمودار شماره (۵ - ۷) بررسی مقایسه‌ای بین کاهش کدورت پساب و ابعاد ذرات رس (بر حسب درصد).....	۱۰۶
نمودار شماره (۵ - ۸) مقایسه کارایی صافی نانو با کارایی سایر صافی‌ها.....	۱۰۷
نمودار شماره (۵ - ۹) به کارگیری ذرات رس با ابعاد مختلف در کاهش کدورت پساب‌ها.....	۱۰۷

## فهرست علائم اختصاری

عنوان	شماره صفحه
اتیلن دی آمین (EDA) .....	۱۲۲ و ۱۲۴ و ۱۴۰
استانداردهای آب آمریکا (USP) .....	۱۳ و ۱۳۷ و ۱۴۶
استیک اسیدها (HAA) .....	۲۶ و ۱۴۱
اسمز معکوس (RO) .....	۱۴۴
اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD) .....	۶ و ۸ و ۹ و ۷۶ و ۱۳۸
اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) .....	۶ و ۷۶ و ۱۳۹
آلاینده‌های نوظهور (EC) .....	۲۶ و ۱۴۰
اولترافیلتراسیون (UF) .....	۱۲۲ و ۱۳۹
اولترافیلتراسیون بهبود یافته با درخت سآنها (DEUF) .....	۱۲۶
آهن نانو مقیاس با ظرفیت صفر (NZVI) .....	۱۶۸
برنامه نظارت بر مواد نانو مقیاس آمریکا (NMSP) .....	۱۴۲
بستر پلی ساکارید برون سلولی (EPS) .....	۱۲۵ و ۱۴۰
بی فنیل‌های پلی کلره (PCB) .....	۱۲۶ و ۱۲۸
پلی پپتیدهای الاستین (ELP) .....	۱۲۱ و ۱۳۸
ترکیبات آلی فرار کلر دار (VOC) .....	۱۲۶ و ۱۴۶
ترکیبات آلی میکرو آلاینده (EDC) .....	۱۰ و ۲۶ و ۳۵ و ۴۸
تری هالو متان‌ها (THMs) .....	۲۶ و ۱۴۶
درخت سآنها ی پلی آمیدو آمین (PAMAM) .....	۱۲۲
راکتورهای زیستی غشایی (MBR) .....	۱۱۴ و ۱۴۱
روغن و گریس آزاد (FOG) .....	۹ و ۱۰
ژنتیک (DNA) .....	۵۸ و ۱۲۱ و ۱۳۹
سازمان بهداشت جهانی (WHO) .....	۵ و ۲۴ و ۱۳۷ و ۱۴۶

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) .....	۲۴ و ۱۳۶ و ۱۳۹
سازمان غذا و دارو آمریکا (FDA) .....	۱۳ و ۱۳۷ و ۱۴۰
عملیات دام پروری محدود (CAFO) .....	۹
غلظت هیدروژن محلول (PH) .....	۴۱ و ۱۲۱ و ۱۲۵ و ۱۲۶ و ۱۳۹ و ۱۴۳
فهرست آلاینده‌های کاندیدا: بدون قانون مقابله (CCL3) .....	۱۳۹
قانون آب آشامیدنی سالم در آمریکا (SDWA) .....	۲۴ و ۱۳۶ و ۱۴۵
کامپوزیت‌های پلیمر - رس (PCN) .....	۴۴
کل کربن آلی (TOC) .....	۶ و ۱۲ و ۱۸۷
کل مواد جامد محلول (TDS) .....	۱۳ و ۳۴ و ۱۷۷
محصولات جانبی ضد عفونی کننده‌ها (DBPS) .....	۲۶ و ۱۳۹
مواد آلی طبیعی (NOM) .....	۷۸ و ۱۴۳
موسسه فناوری ژاپن (RIKEN) .....	۶۷ و ۱۴۴
موسسه ملی علوم مواد ژاپن (NIMS) .....	۶۷ و ۱۴۳
موسسه ملی نانو فن آوری کانادا (NINT) .....	۶۴ و ۱۴۳
نانو ذرات تک آنزیمی (SEN) .....	۱۲۴ و ۱۴۵
نانوذرات دو فلزی آهن / پالادیوم (PD / FE) .....	۱۲۸
نانو فیلتراسیون (NF) .....	۵۶ و ۷۴ و ۱۴۳
نانو لوله‌های کربنی (CNT) .....	۱۱۸ و ۱۳۹
نانو لوله‌های کربنی تک دیواره (SWNT) .....	۱۱۸ و ۱۴۵
نانو لوله‌های کربنی چند دیواره (MWNT) .....	۱۱۸ و ۱۴۲
نوآوری ملی فناوری نانو آمریکا (NNI) .....	۶۳ و ۶۴ و ۱۴۳
نوعی آلاینده افزوده شده به بنزین (MTBE) .....	۱۲۰ و ۱۴۲
نوعی آلاینده در آب‌های زیر زمینی (BTEX) .....	۱۲۰ و ۱۳۸
نوعی نانو ماده بسیار عامل دار (SAMMS) .....	۴۱ و ۴۹ و ۱۲۳ و ۱۲۴ و ۱۳۳ و ۱۴۴

واحد سنجش حجم (PPM) .....	۴۹
واحد سنجش کدورت فورمازین (FTU) .....	۷۷ و ۱۳۶ و ۱۴۰
واحد سنجش کدورت جکسون (JTU) .....	۱۳۶ و ۱۴۱
واحد سنجش کدورت نفلومتريک (NTU) .....	۷۷ و ۷۸ و ۹۱ و ۹۲ و ۹۳ و ۹۵ و ۱۰۰ و ۱۰۸ و ۱۳۵ و ۱۳۶ و ۱۴۳
وزارت انرژی آمریکا (DOE) .....	۱۱۵ و ۱۴۰
هیدروکسی پیریدینونات (HOPO) .....	۱۴۱

# **فصل اول**

## **مقدمه و کلیات**



## فصل ۱) مقدمه و کلیات

### ۱-۱) مقدمه

در ابتدا به معرفی مختصری از علم نانو تکنولوژی می‌پردازیم:

علم نانو تکنولوژی چیست؟ انجمن ملی نوبنیاد نانو تکنولوژی، که یک نهاد دولتی در کشور امریکا می‌باشد، واژه نانو تکنولوژی را چنین توصیف می‌کند: "تحقیق و توسعه هدفمند، برای درک و دستکاری و اندازه‌گیریهای مورد نیاز در سطح موادی با ابعاد در حد اتم"، مولکول و سوپرمولکولها را نانو تکنولوژی می‌گویند.

در این مقیاس خصوصیات فیزیکی، بیولوژیکی و شیمیایی مواد تفاوت اساسی با یکدیگر دارند و غالباً اعمال غیر قابل انتظار از آنها مشاهده می‌شود.

در سیستم کشاورزی امروزی، اگر دامی مبتلا به یک بیماری خاص شود، می‌توان چند روز و حتی چند هفته یا چند ماه قبل علائم نامحسوس بیماری را شناسایی کنند و قبل از انتشار و مرگ و میر کل گله، دامدار را برای اخذ تصمیمات مدیریتی و پیشگیری کننده آگاه کند و بنابراین می‌توان نسبت به مقابله با آن بیماری اقدام نماید.

نانو تکنولوژی به موضوعاتی در مقیاس هم اندازه با ویروس‌ها و سایر عوامل بیماری‌زا می‌پردازد و بنابراین پتانسیل بالایی را برای شناسایی و ریشه کنی عوامل بیماری‌زا دارد. نانو تکنولوژی به عنوان یک فناوری قدرتمند به ما اجازه می‌دهد که نگرشی در سطح مولکولی و اتمی داشته و قادر باشیم که ساختارهایی در ابعاد نانومتر را بیافرینیم.

برای تعیین و شناسایی بسیار جزئی آلودگی‌های شیمیایی، ویروسی یا باکتریایی در کشاورزی و صنایع غذایی معمولاً از روشهای بیولوژیکی، فیزیکی و شیمیایی استفاده می‌گردد.

در روش‌های اخیر نانوتکنولوژی برای استفاده توام این روشها، یک سنسور در مقیاس نانو طراحی کرده‌اند در این سیستم جدید، مواد حاصل از متابولیسم و رشد باکتری‌ها با این سنسورها تعیین می‌گردد. سطوح انتخابی بیولوژیکی، محیطی‌هایی هستند که عمده واکنش‌ها و فعل و انفعالات بیولوژیکی و شیمیایی در آن محیط انجام می‌شود. این سطوح همچنین توانایی افزایش یا کاهش قدرت اتصال ارگانیزم‌ها و ملکول‌های ویژه را دارند. از جنبه‌های کاربردی استفاده از این سطوح، طراحی سنسورها، کاتالیستها، و توانایی جداسازی یا خالص سازی مخلوطهای بیومولکولها می‌باشد.

نانومولکولها موادی هستند که اخیراً از طریق نانوتکنولوژی به دست آمده‌اند و یا در طبیعت موجودند و بوسیله این ساختارها، امکان دستکاری‌های در سطح نانو و تنظیم و کاتالیز واکنشهای شیمیایی وجود دارد. نانو مواد از اجزای با سایز بسیار ریز تشکیل شده‌اند و اجزا تشکیل‌دهنده چنین ساختارهایی بر خواص مواد حاصل در سطح ماکرو تاثیر می‌گذارد. ساختارهای کروی توخالی<sup>1</sup> که با نام دیگر فلورن هم شناخته شده‌اند، مجموعه‌ای از اتمهای کربن متحدالشکل به صورت کروی هستند که در چنین ساختاری هر اتم کربن به سه اتم کربن مجاورش متصل شده است.

از جمله کاربردهای چنین ساختارهایی برای رها سازی دارو یا مواد رادیواکتیو در محل‌های مبتلا به عوامل بیماریزا می‌باشد.

لذا سعی می‌شود که با این پژوهش و استفاده از نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی، برای کسب هدف تصفیه پساب صنایع در جهت حذف یا کاهش آلودگی آنها، گام‌هایی عملی برداشته شود. امید است که با راهنمایی اساتید پرتلاش در این راه، به نتایج مفید و مثمر ثمری برای توسعه علم و فن‌آوری‌های نو ظهور و ارائه راه‌حلی مفید برای مقابله با چالش‌های بی‌آبی و کم‌آبی در کشور به سرانجام برسد.

در این پژوهش با به کارگیری سیستم تصفیه، عملکرد نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی را برای تصفیه پساب‌ها و در نتیجه امکان سنجی عمل فیلتراسیون و همچنین استفاده مجدد پساب‌ها را بعد از عمل تصفیه، بررسی می‌نمائیم.

---

<sup>1</sup> buckey balls

برخی تعاریف اصطلاحات مورد نیاز در این پژوهش عبارتند از:

- نانورس: یک ماده معدنی طبیعی می‌باشد که برای تصفیه پسماند و فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد.
- پساب: به آب دارای ناخالصی‌های، ذرات معلق کلوئیدی و آلودگی‌ها، پساب می‌گویند.
- لخته سازی: بهم‌زدن آهسته برای به هم پیوستن ذرات ناپایدار شده و تشکیل لخته‌هایی با سرعت ته‌نشینی بالا
- انعقاد: به هم زدن سریع در زمان کم و به هم پیوستن ذرات ریز ناپایدار و تشکیل کلوخه‌های کوچک
- کدورت: تیرگی و کدوری آب را کدورت می‌گویند.
- زمان هم زدن: هم‌زدن‌های طولانی در سرعت‌های بالا باعث تشکیل نشدن لخته می‌شود.
- مقدار نانورس مصرفی: در این تحقیق مقدار نانورس مصرفی برای پالایش پساب‌ها، مساوی در نظر گرفته می‌شود.
- تصفیه مقدماتی<sup>۱</sup>: سطحی از تصفیه فاضلاب است که در آن اجزاء موجود در فاضلاب خام نظیر تکه‌های پارچه، چوب، مواد شناور، مواد دانه‌ای و گریس حذف می‌شوند. این مواد می‌توانند سبب بروز مشکلات بهره برداری و نگهداری واحدهای عملیاتی و فرایندی و ... گردند.
- تصفیه اولیه<sup>۲</sup>: حذف قسمتی از جامدات معلق و مواد آلی از فاضلاب را شامل می‌شود.
- تصفیه اولیه پیشرفته<sup>۳</sup>: حذف بیشتر جامدات معلق و مواد آلی از فاضلاب که معمولاً با اضافه کردن مواد شیمیایی یا فیلتراسیون انجام می‌گیرد.
- تصفیه ثانویه<sup>۴</sup>: سطحی از تصفیه فاضلاب است که در آن جامدات معلق و مواد آلی قابل تجزیه بیولوژیکی (که به صورت محلول یا مطلق) حذف می‌شوند. فرایند گندزدائی معمولاً در زمره تصفیه ثانویه متداول قرار می‌گیرد.

---

<sup>1</sup> Preliminary Treatment

<sup>2</sup> Primary Treatment

<sup>3</sup> Advanced Primary Treatment

<sup>4</sup> Secondary Treatment

- تصفیه ثالثیه<sup>۱</sup>: این سطح از تصفیه فاضلاب دارای ویژگی‌های زیر است:

✓ حذف جامدات معلق باقیمانده بعد از ته نشینی ثانویه صورت می‌گیرد.

✓ حذف جامدات معلق معمولاً توسط صافی‌های متوسط دانه یا آشغال‌گیرهای با اندازه منافذ میکرونی<sup>۲</sup> انجام می‌گیرد.

✓ حذف مواد مغذی فاضلاب اغلب در این مرحله انجام می‌گیرد.

✓ در بعضی مواقع، فرایند گندزدایی نیز جزء این مرحله در نظر گرفته می‌شود.

- تصفیه پیشرفته<sup>۳</sup>: در شرایطی که مصرف مجدد آب برای اهداف مختلف مد نظر باشد، حذف مواد معلق و باقی مانده بعد از تصفیه بیولوژیکی در این سطح از تصفیه فاضلاب صورت می‌گیرد (۱).

بهداشت محیط زیست: عبارتست از کنترل عواملی در محیط زندگی که به نحوی در رفاه و سلامت بدنی، روانی و اجتماعی انسان تاثیر داشته و یا خواهند داشت. به بیان دیگر توازن و تطابقی که میان انسان و محیط‌زیست او باید وجود داشته باشد تا موجبات بهزیستی جسمی، روانی و اجتماعی وی فراهم گردد. (WHO)<sup>۴</sup>

- محیط زیست<sup>۵</sup>: محیط فیزیکی، زیست‌شناختی و اجتماعی که موجود زنده در آن زندگی می‌کند و با آن در کنش متقابل است (۲).

- آلودگی<sup>۶</sup>: حضور هر ماده‌ای در محیط که به سبب ترکیبات شیمیایی یا مقدار آن مانع انجام فرایندهای طبیعی شده و محیطی نامطلوب به وجود می‌آورد و بر سلامتی موجودات اثر سوء می‌گذارد.

- آلودگی آب: عبارت است از وجود یک یا چند ماده آلوده کننده در آب به مقدار و مدتی معین که کیفیت آب را به طوری که مضر به حال انسان، حیوان و گیاه باشد، تغییر دهد (۳).

---

<sup>1</sup> Tertiary Treatment

<sup>2</sup> Micro Screens

<sup>3</sup> Advanced Treatment

<sup>4</sup> World Health And Development

<sup>5</sup> Environment

<sup>6</sup> pollution

در ادامه و جهت استفاده بیشتر، واژه‌ها و اصطلاحات رایج مورد استفاده در مهندسی و تصفیه فاضلاب، در انتهای این پژوهش به صورت { پیوست شماره ۲ } بیان شده است.

## ۱-۲) تعریف مساله

فاضلاب مخلوط رقیقی از انواع آبهای دور ریختنی حاصل از فعالیتهای انسان است که بسته به منشاء تشکیل و خواص آنها، عمدتاً در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند. منابع مختلف تولید فاضلاب عبارتند از:

- الف) فاضلاب خانگی
- ب) نشت آب (آب‌های سطحی)
- ج) پساب صنعتی

موضوع مورد بحث و بررسی برای ما در این پژوهش، فاضلاب صنعتی می‌باشد.

در کشورهای پیشرفته نیمی از آب توسط صنعت مصرف می‌شود. آب به عنوان ماده اولیه، برای گرم کردن و سرد کردن، انتقال و شستن محصولات و عمدتاً برای حمل ضایعات به محلی دور از مراکز تولید مورد استفاده قرار می‌گیرد.

تولید صنعتی منجر به تولید انواع مختلفی از پساب‌ها می‌شود که بسته به نوع صنعت مربوطه، دارای ویژگی‌ها و سطوح متفاوتی از آلاینده‌ها هستند؛ تصفیه این فاضلاب‌ها می‌تواند بسیار دشوار و یا هزینه بر باشد. مشکل دیگر اینکه جریان، دما و ترکیب پساب‌های صنعتی می‌تواند به صورت روزانه و ساعتی تغییر کند.

ضایعات صنعتی مایع با توجه به ویژگی‌های زیر برای دفع تقسیم بندی می‌شوند:

اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD)<sup>۱</sup>

اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)<sup>۲</sup>

کل کربن آلی (TOC)<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> Biochemical Oxygen Demand

<sup>۲</sup> Chemical Oxygen Demand

<sup>۳</sup> Total Organic Carbon

□ غلظت ترکیبات آلی خاص همچون بنزن، تولوئن، اتیل بنزن، گزیلن، سوخت دیزل، بنزین و بی فنول‌های پلی کلره  
این مواد ذکر شده ممکن است به شکل مایع، ماده آبیکی یا گل و لای بوده و به بیش از یک نوع فرایند تصفیه‌ای نیاز داشته باشند.

با توجه به روند افزایش جمعیت و توسعه روز افزون صنایع و همچنین پیچیدگی ترکیبات شیمیایی که باعث افزایش میزان و تنوع ترکیبات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی در فاضلاب‌ها می‌گردد؛ زمینه تشکیل سیستم جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب و تحقیق برای یافتن روش‌های نوین در این مسیر، امری لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

● فاضلاب را به منظور زیر آزمایش تحلیلی می‌کنند.

الف) تعیین و تشخیص مواد متشکله‌اش که اطلاع از آن در رفع مشکلات فرایند تصفیه سودمند است.

ب) تصمیم در انتخاب نوع وسائل و روش تصفیه

ج) تنظیم و کنترل هر یک از واحدهای تصفیه خانه در جریان تصفیه فاضلاب

د) تعیین مشخصات فاضلاب خروجی و مقایسه آن با مشخصات فاضلاب ورودی برای اطلاع از بازده تصفیه خانه و روندهای اعمال شده برای تصفیه فاضلاب

در جدول شماره (۱ - ۱) آلاینده‌هایی که ممکن است در فاضلاب‌های صنعتی مختلف حضور داشته باشند، ذکر شده است.

جدول شماره ( ۱ - ۱ ): ترکیبات مختلف موجود در پساب‌های صنعتی به تفکیک صنعت

(منبع: BCC RESEAR)

صنعت	ترکیبات موجود در پساب
خودروسازی	فلزات، گلیکول‌ها، روغن‌ها و گریس‌ها، رنگ، حلالهای آلی
فلزات پایه	فلزات سنگین، اسیدها
لبنیات	BOD، شوینده‌ها
تولید انرژی الکتریکی	تریتیوم، ترکیبات کلردار
ساخت قطعات الکترونیکی	اسیدها، فلزات سنگین، حلال‌های آلی
آبکاری	اسیدها، فلزات سنگین، سیانید
فراوری غذا و نوشیدنی	BOD، شوینده‌ها، نمک‌ها، بازهای قوی
ساخت شیشه	بازهای قوی، جامدات بی اثر (غیرفعال)، اسیدهای قوی همچون هیدروکلریک اسید
ساخت تجهیزات سنگین	روغن‌ها، گریس‌ها، فلزات سنگین
چرم سازی (دباغی چرم)	فلزات سنگین، نمک‌ها، BOD، جامدات بی اثر
تولید گوشت و مرغ	BOD
ابزارهای پزشکی	مواد آلی سمی، آنتی بیوتیک‌ها، رادیو ایزوتوپ‌ها، عوامل بیماری‌زا، BOD، عوامل زیست فعال
معدن کاری (زغال سنگ)	اسیدها، جامدات بی اثر، گل و لای سنگ گچ، آهن، فلزات سنگین
معدن کاری (فلزات)	فلزات سنگین، اسیدها، سیانید، جیوه، جامدات بی اثر
تولید حشره کش	حشره کش‌ها، دیوکسین، ترکیبات آلی سمی
پتروشیمی	نفت، ترکیبات آلی سمی
پالایشگاه	نفت، حلال‌های آلی، آب شور
داروسازی	آنتی بیوتیک‌ها، عوامل زیست فعال، مواد آلی سمی، BOD
تولید کاغذ و پالپ	بازهای قوی، BOD، دیوکسین‌ها، ترکیبات کلردار، جامدات بی اثر
فولادسازی	هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای، ترکیبات آلی سمی دیگر

ادامه جدول شماره (۱ - ۱): ترکیبات مختلف موجود در پساب‌های صنعتی به تفکیک صنعت

(منبع: BCC RESEAR)

ترکیبات موجود در پساب	صنعت
مواد رنگرزی، BOD، شوینده‌ها، جامدات بی اثر	صنعت نساجی
مواد آلی سمی، فلزات سنگین، رادیوایزوتوپ‌ها	تولید تسلیحات

در ادامه به بررسی بیشتر پساب‌های صنعتی می‌پردازیم:

پساب‌های حاوی فلزات سنگین، ترکیبات آلی همچون روغن‌ها و گریس‌ها، و ضایعات کشاورزی و زیست‌محیطی بیشترین نیاز را به تصفیه شدن دارند. مقادیر بسیار بالایی از آرسنیک، سلنیوم، نقره، طلا و منیزیم در اثر فرایند معدن‌کاری تولید می‌شود. عملیات حفاظت از چوب و صنعت نیمه رساناها آرسنیک ایجاد می‌کند. در تولید باتری غلظت‌های بسیار بالایی از مس، سرب و باریوم به وجود می‌آید. فرایندهای عمومی ساخت موجب تولید روغن‌ها، مواد شیمیایی آلی، سیلیکون، کروم، منگنز و قلع می‌شود.

در پساب‌های حاوی فلزات سنگین، بهتر است که از همان اول فلزات سنگین آزاد نشوند. این فلزات تجزیه نشده و در لجن‌های آلی که باید در مراکز دفن زباله رها شوند، جمع می‌شوند. زمانی که این فلزات رها شوند، تصفیه آنها بسیار دشوارتر از ممانعت از رها شدن آنها خواهد بود. حذف موثر فلزات سمی سنگین از پساب‌های صنعتی و بازیافت دوباره آنها یک چالش بزرگ به شمار می‌رود. شرکت‌های فعال در زمینه تصفیه فاضلاب‌های صنعتی در رفع این معضل بسیار کُند عمل کرده‌اند. جدا کردن این فلزات از پساب‌ها هنوز هم متکی به روش‌های قدیمی همچون رسوب‌دهی و استفاده از لجن فعال است.

پساب‌های حاوی ترکیبات آلی، در فاضلاب صنایع مختلفی همچون داروسازی، فراوری غذا و نوشیدنی و چرم‌سازی و همچنین در مراکز دفن زباله، و ضایعات ناشی از CAFO ها (عملیات دام‌پروری محدود) و تجهیزات پزشکی یافت می‌شوند. ترکیبات آلی سمی نیز در پساب مراکز ساخت تسلیحات، تولید دارو و تولید حشره کش‌ها وجود دارند.



ترکیبات آلی میکروآلاینده که برخی از آنها EDC ها هستند، در برخی از منابع آبی در آمریکا و اروپا مشاهده شده‌اند. این ترکیبات آلاینده به صورت عمده در اثر نفوذ فاضلاب به منابع آبی، نشت از مراکز دفن زباله و آب برون ریز دام پروری‌ها حاصل می‌شوند. از آنجایی که EDC ها روی موجودات آبی تأثیر داشته و احتمالاً در اثر آلوده کردن آب آشامیدنی سلامت انسان را تهدید می‌کنند، تحقیقات زیادی در زمینه تشخیص و دفع این آلاینده‌ها در حال انجام است. بسیاری از متخصصان بر این باورند که بهبود روشهای تصفیه فاضلاب در قلب این مشکل قرار دارد، زیرا اگر این آلاینده‌ها از پساب‌ها حذف شوند، دیگر شانس برای ورود به آب آشامیدنی نخواهند داشت.

در بررسی پساب‌های حاوی فاضلاب‌های روغنی، می‌دانیم که روزانه میلیاردها گالن فاضلاب روغنی توسط تولیدکنندگان صنعتی مختلف و منابع دیگری همچون آب حاصل از مخازن نفتی، فاضلاب سطحی پس از بارندگی که از پارکینگ‌ها جاری می‌شود، آب تغذیه‌کننده دیگ بخار، آب ته کشتی‌ها، پساب خشکشویی‌های صنعتی و نشت از مراکز دفن زباله تولید می‌شود. روغن و گریس آزاد (FOG)، به طور معمول روغنی است که به سرعت به سطح آمده و اندازه ذرات آن حدود ۱۵۰ میکرون است. اندازه ذرات روغنی که به صورت مکانیکی به حالت امولسیون درآمده است، بین ۲۰ تا ۱۵۰ میکرون است. روغن حل شده که دیگر به شکل ذره‌ای نیست، شامل بنزن، فنول‌ها، تولوئن، گزیلن و ترکیبات مرتبطی است که تنها با استفاده از کربن فعال، تقطیر یا غشاها از آب جدا می‌شوند.

مقادیر بالای ذرات معلق و روغن و چربی، که در فاضلاب کارخانه استخراج لانولین یافت می‌شود، بارهای بالایی از مواد معلق و آلی را به راکتورهای بیولوژیکی پائین دست وارد می‌سازد. این مسئله به اکسیژن خواهی بالاتری منتهی می‌گردد. اندازه و سایز این واحدها و سایر واحدهای پائین‌دست جریان متأثر از میزان حذف آلاینده‌ها در بالا دست جریان می‌باشد. واحدهای شناورسازی همراه با هوای فشرده ممکن است برای حذف آلاینده‌هایی نظیر روغن، چربی و ذرات معلق به کار گرفته شود (۴).

در بررسی پساب‌های حاوی آب فرایندی، صنایعی که بیشترین نیاز را به تصفیه فاضلاب دارند عبارتند از نیروگاه‌ها، صنعت نیمه رساناها و داروسازی‌ها؛ صنایع کوچک دیگر در بخش تولید مواد شیمیایی و فراوری نفت و گاز قرار دارند. در بسیاری از کشورهای توسعه یافته تولید ترموالکتریک برق بیشترین حجم مصرف آب را به خود اختصاص می‌دهد. در آمریکا نزدیک ۴۰ درصد از کل آب مصرفی مربوط به نیروگاه‌های

تولید برق است. آب؛ خون حیاتی یک نیروگاه به شمار می‌رود. مقادیر بسیار زیادی از آب برای تولید بخار و همچنین مصارف تمیزکاری در این مراکز مصرف می‌شود.

تنها در آمریکا تولیدکنندگان برق ترموالکتریک و شرکت‌هایی که برق مورد نیاز خود را با استفاده از دیگ‌های بخار صنعتی تولید می‌کنند، سالانه بیش از ۷۰ تریلیون گالن<sup>۱</sup> آب مصرف می‌نمایند. برای استفاده موثر از آب در یک نیروگاه، باید تصفیه خاص مورد نیاز هر واحد انجام گیرد؛ کیفیت منبع آب، نوع دیگ بخار، نیازمندی تخلیه<sup>۲</sup> و استفاده یا عدم استفاده از آب بازیافتی درون نیروگاه، نوع تصفیه مورد نیاز هر واحد را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

از آنجایی که دیگ‌های مورد استفاده در تولید بخار در دما و فشار بالا کار می‌کنند، آب وارد شده به این دیگ‌ها باید تا کیفیت بسیار بالایی تصفیه شود. مواد معدنی همچون سیلیکا و ترکیبات مبتنی بر سیلیکا و یونهای سختی آب همچون کلسیم و منیزیم می‌توانند موجب جرم‌گرفتگی دیگ شده و کارایی واحد را کاهش دهند.

دیگ‌های بخار به صورت منظم تمیز می‌شوند تا ناخالصی‌های جمع شده از درون آنها پاک شوند و تصفیه این نوع از پساب که به نام بویلر بلاورون<sup>۳</sup> نامیده می‌شود، دشوار بوده و در برخی موارد در بخش پساب‌های مضر قرار می‌گیرد. در نقاطی که هزینه آب بالاست، شاید صنایع بخواهند از پساب حاصل از شستشوی شیمیایی دیگ‌های بخار به عنوان آب جبرانی در برج‌های خنک‌کننده، در ساینده خاکستر بادی<sup>۴</sup>، یا در سامانه گوگردزدایی از گاز دودکش استفاده نمایند.

در نیروگاه‌های برق حرارتی آب به بخار با فشار بالا تبدیل می‌شود تا توربین‌ها را چرخانده و برق تولید شود. سپس بخار خارج شده از توربین سرد می‌شود تا دوباره تبدیل به آب شده، حرارت داده شده و توربین‌ها را به گردش درآورد. فرایند میعان نیاز به سامانه خنک‌کننده آبی مجزایی دارد؛ این سامانه به طور معمول از تعداد زیادی لوله‌های یک اینچی تشکیل می‌شود که حرارت بخار را جذب می‌کنند.

آب خنک‌کننده با استفاده از یکی از دو فرایند چرخه بسته یا سامانه عبوری منفرد هزاران بار از لوله‌هایی که در آنها آب و بخار جریان دارند، عبور داده می‌شود. آب

<sup>۱</sup> هر گالن آمریکایی معادل ۳ / ۷۸۵ لیتر است

<sup>۲</sup> DISCHARGE REQUIREMENT

<sup>۳</sup> BOILER BLOWDOWN

<sup>۴</sup> FLY-ASH SCRUBBER

خنک کننده در معرض چهار نوع آلودگی قرار دارد: رسوبات و فلس های معدنی، خوردگی، کثیف شدن و رشد میکروارگانیسم ها. با کاهش حجم آب خنک کننده در اثر تبخیر یا راندگی (خروج آب تبخیر نشده همراه با بخار آب از سیستم خنک کننده)، غلظت مواد شیمیایی و محصولات جانبی آنها افزایش می یابد. از آنجایی که غلظت مواد شیمیایی و آلاینده ها باید در سطح مشخصی نگه داشته شود، به صورت دوره ای آب سامانه خنک کننده خالی شده و آب تازه جبرانی جایگزین آب خالی شده می شود.

می توان چند کار مختلف در مورد آب خالی شده انجام داد:

- تخلیه به محیط پس از انجام تصفیه های ضروری؛
- ارسال به تصفیه خانه آب محلی؛
- تصفیه در محل نیروگاه با استفاده از تصفیه خانه خود مرکز؛

با این حال نیروگاه ها می توانند با کاهش آب خروجی از سامانه خنک کننده و در نتیجه کم شدن آب جبرانی مورد نیاز، از هزینه های تحمیل شده توسط تصفیه خانه ها برای تصفیه پساب های حاوی مواد آلی دوری کرده و از افزایش بیش از حد هزینه عملکرد برج خنک کننده ممانعت نمایند.

آب بسیار خالص دیونیزه بیشترین حجم از یک ماده شیمیایی است که با تراشه های نیمه رسانا تماس می یابد. یک کارخانه متوسط تولید ویفر روزانه بین ۲ تا ۴ میلیون گالن آب بسیار خالص مصرف می کند که حدوداً معادل آب مصرفی یک شهر با جمعیت ۴۰ تا ۵۰ هزار نفر است. آب دیونیزه مورد استفاده در تولید مدارات مجتمع باید با استانداردهای بسیار سختی مطابقت داشته و از ذرات زیرمیکرونی، باکتری ها، سیلیکای کلوئیدی، کل کربن آلی<sup>۱</sup>، اجزای باکتریایی، مواد افزایش دهنده دما و یون های فلزی عاری باشد. در یک سامانه تصفیه آب با خلوص بسیار بالا برای نیمه رساناها، آب خام وارد یک سامانه پیش تصفیه می شود که ذرات معلق را حذف می کند. سپس در یک سامانه اسمز معکوس مواد آلی و یون ها از آب جدا می شوند. آب خارج شده از سامانه اُسمز معکوس جمع آوری شده، اُزن دهی شده، و در معرض تابش ماورای بنفش قرار می گیرد تا استریلیزه شده و کل کربن آلی باقی مانده حذف شود.

---

<sup>1</sup> TOC

در مرحله بعدی مواد یونی باقی مانده توسط یک مبادله گر یونی بستر مختلط<sup>۱</sup> رفع شده و آب خارج شده از این بستر وارد سامانه اُسمز معکوس دوم می شود. سپس آب وارد دومین سامانه ماورای بنفش شده، سپس تحت فیلتراسیون مطلق قرار گرفته و در نهایت از یک مرحله اولترافیلتراسیون عبور داده می شود. در این مرحله آب تولید شده از طریق یک سامانه گردشی به نقاط مختلف مورد استفاده فرستاده می شود. چندین سال پیش صنعت نیمه رسانا اهداف زیست محیطی بسیار سختی وضع کرد که از آن جمله می توان به کاهش ۶۰ درصدی آب مورد استفاده اشاره کرد. امروزه حدود ۷۰ درصد از آب مصرف شده توسط این صنعت یا تصفیه شده و در همانجا مورد استفاده مجدد قرار می گیرد و یا اینکه آلودگی های آن رفع شده و در کاربردهای دیگر مصرف می شود. ۲۰ درصد از این آب تصفیه شده در تجهیزات تولیدی همچون برج های خنک کننده و مبدل های حرارتی به کار می رود؛ ۱۰ درصد دیگر نیز در فرایندهای ثانویه ای همچون آبیاری فضای سبز و سیفون دستشویی ها مورد استفاده قرار می گیرد.

در صنایع دارویی وجود آب تمیز و خالص برای کاربری داروسازی با نام کمپنیدال<sup>۲</sup> جهت اطمینان از تولید محصولات سالم و استریل ضروری است. آب کمپنیدال به هر نوع آبی گفته می شود که در مرحله نهایی استعمال دارو به کار می رود که از آن جمله می توان به آب استریل خالص، آب استریل برای تزریق، آب استریل باکتریواستاتیک (کندکننده یا بازدارنده رشد باکتری ها) برای تزریق، آب استریل برای شستشو (زخم، لباس های جراحی، ...) و آب استریل برای تنفس اشاره کرد. تولیدکنندگان محصولات دارویی باید بتوانند خود را با قوانین سخت دولتی مبنی بر حذف کافی آلاینده ها از آب شهری جهت استفاده از آن در محصولات دارویی مطابقت دهند. در آمریکا USP<sup>۳</sup> استانداردهای آب برای صنایع دارویی را که توسط سازمان غذا و داروی آمریکا (FDA)<sup>۴</sup> تنظیم شده است، تأیید کرده است.

برای تولید مواد شیمیایی و فراوری نفت و گاز و در تولید مواد شیمیایی خلوص مواد اولیه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. آبی که برای رقیق سازی محصولات بسیار خالص به کار می رود، باید کیفیت بسیار بالایی داشته باشد. همانند کسب و کارهای تولیدی دیگر، در اینجا نیز آب بسیار خالص که توسط یون زدایی و فیلتراسیون غشایی تولید شده

<sup>1</sup> MIXED-BED

<sup>2</sup> COMPENDIAL

<sup>3</sup> UNITED STATES PHARMACOPIA

<sup>4</sup> FOOD AND DRUG ADMINISTRATION

است، مورد استفاده قرار می‌گیرد. در فراوری نفت و گاز نیز از غشاها برای فیلتر کردن آب مورد استفاده در دیگ‌های بخار و فرایندهای مختلف بهره‌برده می‌شود.

به علاوه، در سکوها‌ی دریایی می‌توان از غشاها برای کاهش میزان گوگرد بهره‌برد. حذف گوگرد از آب دریا که در تزریق به چاه‌های نفت دریایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، از جرم گرفتگی قطعات سکوها‌ی استخراج نفت و گاز جلوگیری کرده، جلوی از دست رفتن ذخیره مخازن را گرفته و میزان تولید را در بالاترین سطح نگه می‌دارد. در اکتشاف نفت و گاز، میزان بالای کل مواد جامد محلول (TDS) در آب تولید شده بدین معناست که برای استفاده مجدد از این آب در کاربردهایی که مفیدتر هستند، نمک‌زدایی از آن ضروری است. «آب تولید شده» که به طور معمول ترکیبی از آب سازنده و آب تزریق شده است، آب آلوده شوری است که همراه با نفت و گاز به سطح زمین آورده می‌شود.

برای به دست آوردن بیشترین مقدار استخراج نفت، غالباً آب به مخازن نفتی تزریق می‌شود تا نفت را با فشار به سطح زمین براند. در نهایت هم آب سازنده و هم آب تزریق شده با نفت و گاز استخراج می‌شوند و با کاهش ذخیره مخازن نفتی، میزان این آب در نفت تولید شده افزایش می‌یابد. این آب آلوده بزرگ‌ترین حجم جریان پساب تولید شده در تولید نفت و گاز را تشکیل می‌دهد و مدیریت آن می‌تواند هزینه‌بر باشد. آب تولید شده علاوه بر حجم بسیار بالا، به دلیل دارا بودن ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاص که بسته به موقعیت جغرافیایی میدان نفتی، ساختار زمین‌شناختی و نوع محصول هیدروکربنی تولیدشده می‌تواند تا حد بسیار زیادی تغییر کند، یک جریان پسابی بسیار دشوار به شمار می‌رود.

در بررسی پساب‌های حاوی ترکیبات و پسماندهای غذا و نوشیدنی، دانشمندان هشدار داده‌اند که اگر صنعت مواد غذایی تلاش بیشتری جهت کاهش مصرف آب و در عین حال افزایش تولید مواد غذایی انجام ندهد، با بحران جهانی در زمینه کمبود آب، تخریب رو به رشد محیط‌زیست و جمعیت بالای مردمی که دچار سوء تغذیه هستند، مواجه خواهد شد. آب علاوه بر استفاده به عنوان ماده اولیه در صنایع غذایی و نوشیدنی، در شستشو، حمل مواد خام، پخت و پز و خنک‌سازی نیز به کار می‌رود.

آب بسیار زیادی در طول فرایند تولید غذا به بخار تبدیل شده و بخش عمده دیگری نیز به عنوان پساب دور ریخته می‌شود. با استفاده از روش‌های امروزی برای تولید غذای عادی یک نفر در روز حدود ۸۶۵ گالن آب مصرف می‌شود که در مقایسه با ۱۳ گالن آب

مورد نیاز برای مصارف خانه‌داری بسیار بالاست. با تغییر رژیم غذایی مردم ثروتمند دنیا از پروتئین گیاهی به پروتئین حیوانی، آب بیشتری برای فراوری مواد غذایی مورد نیاز خواهد بود. استفاده مجدد از آب فرصت بسیار خوبی برای افزایش بهره‌وری مصرف آب است و غشاهای می‌توانند فناوری بسیار مهمی در این زمینه به شمار روند. با حذف نمک و ترکیبات آلی از آب استفاده شده در فراوری غذا، می‌توان آن را از یک پساب غیرقابل استفاده به یک محصول قابل استفاده با کیفیت بالا تبدیل کرد. مطابق استانداردهای صنعت غذایی، آب تصفیه شده برای استفاده مجدد در این صنعت حداقل باید کیفیت آب آشامیدنی را دارا باشد. برای برخی کاربردها همچون آب جبرانی مورد استفاده در دیگ‌های بخار یا شستشو با آب گرم قوانین سخت‌گیرانه‌تری وجود دارند.

در بررسی پساب‌های حاوی مواد رادیواکتیو، وزارت انرژی آمریکا (DOE)<sup>۱</sup> پساب‌های رادیواکتیو را با توجه به سطح رادیواکتیویته آنها طبقه‌بندی می‌کند. پساب مختلط به پسابی گفته می‌شود که به طور همزمان حاوی مواد رادیواکتیو و مواد مضر است.

مدیریت بخش رادیواکتیو پساب‌ها بر عهده وزارت انرژی آمریکا و تحت کنترل قوانین انرژی اتمی است؛ بخش مضر و پرخطر پساب‌ها نیز تحت نظارت قانون حفظ و بازیابی منابع مدیریت می‌شود. به طور معمول پساب‌های مختلط برای دور ریخته‌شدن به سه بخش پساب مختلط سطح پایین، پساب مختلط سطح بالا و پساب مختلط فرا اورانیومی (دارای عدد اتمی بالاتر از اورانیوم) طبقه‌بندی می‌شوند. پساب‌های سطح پایین در طول فراوری سنگ معدن اورانیوم و در تحقیقات آزمایشگاهی تولید می‌شوند. پساب سطح بالا نیز حاوی سوخت هسته‌ای مصرف شده به اضافه مایعات خوردنده‌ای است که پس از بازفراوری سوخت مصرف شده جهت استخراج اورانیوم و اورانیوم غنی‌شده در پساب باقی می‌مانند.

پساب فرا اورانیومی یا سطح متوسط یک بخش مخلوط حاوی فلزاتی است که به آسانی در بخش‌های دیگر قرار نمی‌گیرند. قطعات راکتور، رزین‌ها و تجهیزات و مایعات آلوده دیگر در این بخش قرار می‌گیرند. یکی از روش‌های موثر حذف آلودگی‌های رادیواکتیوی همچون پلوتونیوم ۲۳۹ که تابش آلفا نشر می‌کند، لخته‌سازی و سپس اولترافیلتراسیون با استفاده از غشاهای معدنی است. پساب رادیواکتیو غلیظ دوغابی تشکیل می‌دهد. که قبل از ذخیره طولانی‌مدت، برای کپسوله‌کردن مناسب است. همچنین می‌توان از

---

<sup>1</sup> DEPARTMENT OF ENERGY

اولترافیلتراسیون مایسلی برای جداسازی فلزاتی همچون توریوم، اورانیوم، روتنیوم و عناصر بالاتر از اورانیوم (عدد اتمی بالاتر) از محلول‌های آبی حاوی غلظت‌های بالای نمک استفاده کرد. ترکیبات آلی اضافه‌شده به محلول با این فلزات مایسل‌هایی تشکیل می‌دهند که اندازه آنها برای اولترافیلتراسیون مناسب است.

آب‌های سطحی و زیرزمینی از منابع مهم آب آشامیدنی در جهان به‌شمار می‌روند. در کشور آمریکا حداقل آب آشامیدنی نیمی از مردم با بهره‌گیری از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. همچنین در آبیاری محصولات کشاورزی و در صنعت ساخت نیز از این آب استفاده می‌شود. بیشتر آب‌های زیرزمینی تمیز هستند، اما می‌توانند در اثر فعالیت انسان آلوده شوند.

تمام انواع آلاینده‌های فیزیکی، مواد شیمیایی معدنی و آلی، باکتری‌ها و مواد رادیواکتیو در آب‌های زیرزمینی نیز یافت می‌شوند. روش‌های رفع آلودگی مختلفی برای جداسازی آلاینده‌های آب زیرزمینی و تبدیل آن به آب سالم برای استفاده وجود دارد. ملزومات قانونی خاصی برای این فرایندهای تصفیه وجود دارند. در جاهایی که استانداردهای قانونی وجود نداشته و یا اینکه استانداردهای موجود فقط توصیه‌ای هستند، می‌توان استانداردهای رفع آلودگی را بر مبنای ارزیابی سلامت انسان و خطرات اکولوژیکی تعیین کرد. چندین روش برای رفع آلودگی خاک و یا آب‌های زیرزمینی وجود دارد. با این حال تمام این روش‌ها نیاز به کار زیادی داشته، از کارایی بسیار پایینی برخوردار بوده و هزینه اجرایی بسیار بالایی لازم دارند. بسیاری از نقاط جهان با مشکل جدی تمیز کردن خاک و آب آلوده دست به گریبانند.

تاکنون بسیاری از تلاش‌های انجام شده در زمینه جدا کردن آلاینده‌ها ناموفق بوده است.

با افزایش جمعیت و تقاضای بیشتر برای زمین، نیاز مبرمی به پاک‌سازی خاک و آب‌های زیرزمینی در این نقاط وجود دارد.

فناوری نانو روش‌های جدیدی ارائه کرده است که می‌توانند در این زمینه نوید بخش باشند.

برخی از روش‌های مبتنی بر فناوری نانو برای تصفیه آب‌های زیرزمینی تجاری شده و برخی دیگر به سمت بررسی‌های میدانی پیش می‌روند. موفقیت نهایی این فناوری‌ها به درک بهتر اثرات بالقوه این روش‌ها بر سلامتی انسان وابسته است.

با تصفیه پساب و امکان استفاده مجدد از آن، در حفظ آب‌های زیر زمینی اقدام صورت می‌پذیرد. لذا مساله رفع آلودگی گریبانگیر آب‌های سطحی و زیرسطحی می‌باشد.

مهمترین آلوده‌کننده‌های آب به قرار زیر هستند:

- آلودگی‌های مایع مصرف کننده اکسیژن؛ مانند فاضلاب‌های شهری و صنعتی

- عوامل بیماری‌زا

- مواد سنتتیک آلی

- مواد مغذی گیاهی

- نفت

- مواد معدنی

- مواد معلق و رسوبات

- مواد رادیواکتیو

که موارد فوق را می‌توان به صورت کلی و به شرح زیر طبقه‌بندی نمود:

❖ فاضلاب‌های شهری و صنعتی

❖ آلودگی‌های کشاورزی

❖ سایر آلوده‌کننده‌ها

اثرات مهم تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی به محیط‌زیست عبارتند از:

- اکسیداسیون مواد آلی و در نتیجه کم شدن اکسیژن محلول آب‌ها و امکان از بین رفتن ماهی‌ها و آبزیان

- وجود مقادیر قابل توجهی مواد معلق شناور آلی و معدنی که در اثر فعالیت باکتری‌های هوازی و بی‌هوازی تجزیه و مواد ثانوی سمی برای زندگی موجودات آبی آزاد می‌نمایند.



- مواد معلق در کف جریان‌ها ته‌نشین شده و با کاستن از میزان جریان ممکن است با فعالیت‌های بی‌هوازی مواد مختلفی داخل آب نمایند. ممکن است مواد معلق شناور بر روی آبها مانع ورود و نفوذ اکسیژن در آب‌ها گردد.

- مواد سمی مخصوصاً سیانور و فلزات سنگین ممکن است از طریق تخلیه فاضلاب‌های صنعتی داخل جریان‌های آب شود که علاوه بر مخاطره برای زندگی آبزیان برای انسان نیز به شدت زیان‌آور هستند.

- میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا از طریق تخلیه فاضلاب شهری به جریان‌های آب داخل شده و مصرف این آب‌ها در اجتماعات با بروز همه‌گیری‌های خطرناک باعث مرگ و میرهای وحشتناکی خواهد شد.

- مواد کف‌زا که با ایجاد کف در سطح آب‌ها مانع اکسیژن‌گیری آنها خواهد گردید.

- ممکن است میزان ازت و فسفر در اثر تخلیه فاضلاب‌ها در جریان‌های آب به شدت افزایش یابد و قابلیت استفاده این آب‌ها برای اجتماعات و صنایع زایل گردد.

- ممکن است تخلیه بعضی فاضلاب‌های صنعتی در بالا بردن غلظت املاح محلول آب‌ها تأثیر گذارد. در این صورت تهیه آب مورد نیاز صنایع یا آشامیدنی از این آب‌ها بسیار پر خرج و گران خواهد بود. آلودگی‌های کشاورزی بیشتر شامل مواد بارور کننده زمین و موادی که به عنوان مبارزه با آفات گیاهی به کار می‌روند، می‌باشد.

یادآوری می‌نماید که کاربرد مواد مذکور در کشاورزی از اهمیت خاصی برخوردار است.

این مواد بعد از کاربرد در مزارع در صورت بارندگی، باقی‌مانده آنها از روی درختان یا محصولات و زمین‌های زراعی شسته شده و به جریان‌های آب یا زیرزمینی راه می‌یابند.

- از سایر آلودگی‌های محیط و آبی می‌توان به رسوبات و مواد جامد، حرارت مواد رادیواکتیو و مواد نفتی اشاره نمود (۵).

برای جلوگیری از بحران‌های پیش‌روی بشر با توجه به روندهای رشد جمعیتی و توسعه صنایع و در نهایت ایجاد فاضلاب‌های آلوده‌کننده محیط‌زیست و مضر برای سلامتی

بشر، می‌طلبد که در سرچشمه‌های ایجاد آلودگی و تولید پساب، دنبال پیدا کردن راه‌حل و کنترل بحران باشیم.

خشکسالی‌ها و ریزگردها باعث تخریب سرسبزی و تشدید دوره‌های کم‌آبی و بی‌آبی می‌شود.

از بحران آب، به معضل جدی در سال‌های آتی و همچنین عامل جنگ‌ها در آینده یاد می‌شود. برای توجه به این مساله و با ایده‌گیری از سیستم تصفیه‌گری خاک‌رس در سنت دیرینه ما و استفاده از کوزه‌های رسی برای انجام فرایند تصفیه، تصمیم بر آن شد که از علم نوظهور نانو و بهره‌گیری از نانو پارتيكل‌های رس و خاک‌های رس طبیعی برای ایجاد بستری در جهت رفع (حذف یا کاهش) آلودگی‌ها گامی برداشته باشیم.

همچنین خاک‌رس که در طبیعت بوفور موجود است و بخشی از محیط‌زیست را ایجاد می‌نماید. (با روند کاهش بارش و تغییرات پیش‌آمده در اثر اعمال بشر، بعضاً تبدیل به ریزگردهایی شده که در سال‌های اخیر نقش موثری در کاهش دید و بروز حوادث، تهدید سلامتی و تخریب محیط‌زیست دارد) را به کار گرفته و در تصفیه پساب صنایع و امکان استفاده مجدد از آب تصفیه شده با این ماده را بررسی نمائیم.

حال با انجام این پژوهش، تلاش بر این است که برای پرسش‌های اساسی زیر پاسخ‌های مناسبی را بیابیم و به عنوان یافته‌های این تحقیق بیان نمادیم:

- آیا خاک‌رس، می‌تواند پساب‌های صنایع را تصفیه نماید؟
- آیا دانه‌بندی‌های رس (از نظر ابعاد) می‌تواند تاثیری در کارایی سیستم تصفیه ایجاد شده برای هر نوع از پساب‌ها داشته باشد؟
- کارایی کدام صافی در تصفیه پساب‌ها بهتر است؟ نانو؟ میکرو؟ میلی؟ و یا خاک‌رس طبیعی؟

### ۱-۳) ضرورت تحقیق

زنگ خطر بحران آب مدت‌هاست که به صدا درآمده است و در کلیه کشورها اقداماتی در راه مقابله با آثار این بحران در حال اقدام و برنامه‌ریزی می‌باشد.

آب سالم (آبی که عاری از مواد شیمیایی سمی و عوامل بیماری‌زا است) برای سلامتی انسان ضروری است. همچنین آب سالم یک ماده خام حیاتی در بسیاری از صنایع کلیدی از جمله الکترونیک، دارو و مواد غذایی محسوب می‌شود. دوباره متذکر می‌شویم که، جهان با چالش‌های زیادی در افزایش تقاضا برای آب سالم به عنوان منابع موجود آب شیرین روبرو است که با توجه به موارد ذیل در حال کاهش می‌باشد:

- گسترش وقوع خشکسالی
- افزایش رشد جمعیت
- تشدید و بهبود مقررات بهداشتی
- افزایش رشد مصرف آب (۶).

دانشمندان و مهندسين آب در حال تحقیق افزایش کیفیت آب همسو با افزایش رشد مصرف آن با توجه به رعایت مقررات و استانداردهای سخت‌گیرانه هستند. وبر (Weber) (۷).

آب که یکی از عناصر حیاتی و مهم برای ادامه حیات بشر و کلیه موجودات زنده می‌باشد، و در این مورد آیات متعددی در کتاب قرآن بیان شده است و از دلایل اهمیت و دقت ما برای میزان توجه بیشتر به این منابع خدادادی است.

رونق زندگی و گردش چرخه صنایع وابستگی مستقیمی با آب دارد و بحران‌های پیش‌رو در این عرصه به شدت آینده جوامع را تهدید نموده و اثرات مستقیمی بر شاخص‌های اقتصادی، انسانی، فرهنگی و فنی در زندگی بشری خواهد داشت.

«آب» در قرآن و بسیاری از اخبار و احادیث به عنوان عامل حیات نام برده شده و به عنوان آغازگر حیات مورد توجه قرار گرفته است. اگر توجه کنیم که آب فراوان‌ترین ترکیب زمین است و اساسی‌ترین تشکیل‌دهنده بافت‌های بدن انسان می‌باشد و به‌طور متوسط ۵۸ تا ۶۶ درصد وزن بدن هر انسان را آب تشکیل داده است و نقش اصلی اعمال فیزیولوژی بدن انسان به آب واگذار گردیده، علاوه بر آن وظیفه اصلی رساندن مواد غذایی اخذ شده از زمین از طریق ریشه گیاهان به سراسر سلول‌های گیاهی نیز به آب واگذار شده است و از همه مهم‌تر زندگی بعضی آبزیان مانند ماهی که در حال حاضر تأمین ۴۰ درصد پروتئین مورد نیاز مردم جهان را تشکیل می‌دهد به آب و فراوانی آن بستگی دارد.

آب علاوه بر موارد ذکر شده در پیشرفت‌های عظیم صنعتی اجتماعات و پیشرفت‌های کشاورزی تأثیر فراوان دارد و اصولاً امکان پیشرفت‌های صنعتی و کشاورزی بدون وجود مقادیر کافی آب امکان‌پذیر نیست.

آب‌های مصرفی اجتماعات انسانی در مصارف گوناگون تابع کیفیت استانداردهای خاصی است و تقریباً تأمین آب در مصارف مختلف از یک منبع آبی بعید به نظر می‌رسد.

در حال حاضر با برخورداری از روش‌های مدرن و بسیار پیشرفته تصفیه آب، به دست آوردن آب با کیفیت‌های مورد نظر از منابع آبی امکان‌پذیر شده است.

آب‌های مصرفی اجتماعات به نحوی به منابع اولیه خود برگردانیده شده ولی باید توجه داشت که این آب‌های مصرفی از نظر کیفیت با آب اولیه به کار رفته، تفاوت زیادی دارند و اغلب علاوه بر تشکیل‌دهنده‌های اولیه آب محتوی مقادیر ناچیزی از مواد در تماس با آن که همان مواد مصرفی در زندگی روزمره انسان و یا مواد اولیه مصرفی در صنایع می‌باشد، خواهند بود (۵).

مساله بحران آب تاثیرگذار بر تمامی سطوح فردی، اجتماعی، ملی و بین‌المللی است و نقش آن تا جایی است که دلایل ایجاد نزاع و نبردهای بشری را در آینده برای کسب منابع آب، پیش‌بینی می‌نمایند.

از جمله منابع آب موجود در محل‌های کنونی بشر، فاضلاب‌های ایجاد شده از فرایندهای صنعتی می‌باشد که با توجه بیشتر به این منابع و انجام تحقیق و به کارگیری روش‌های مناسب برای تصفیه و امکان استفاده مجدد از آنها برای رفع نیاز فرایندهای صنعتی و زراعی می‌توان اقداماتی را انجام داد.

اگر فرایند تصفیه پساب‌های صنعتی در خود کارگاه‌ها و کارخانه‌ها انجام پذیرد از ایجاد امکان آلوده شدن سایر منابع، جلوگیری به عمل می‌آید. همچنین از ترکیب فاضلاب‌ها با همدیگر و ایجاد انبوهی از فاضلاب و احتمال شدت و یا هم‌افزایی آلاینده‌های موجود در پساب‌ها جلوگیری می‌شود.

از جمله روش‌های تصفیه پساب که در سال‌های اخیر رشد و رونق یافته است، صنعت نوظهور نانو تکنولوژی می‌باشد که با بهره‌گیری از این صنعت، می‌توان از تصفیه پساب‌ها و امکان استفاده مجدد از آنها بهره جست.

فن‌آوری نانو طی مدت کوتاهی که از ظهور آن می‌گذرد، کاربردهای مختلفی در صنایع گوناگون یافته است. در نتیجه صنعت آب، به عنوان یکی از پایه‌های حیات، از این مساله جدا نمی‌باشد و در بخشهای گوناگون آن، شامل ساخت سدها، حفاظت خطوط لوله انتقال آب استفاده از فن‌آوریهای نوین به خصوص فن‌آوری نانو در راستای کاهش اثرات سوء آلودگیهای زیست‌محیطی، به عنوان یکی از راهکارهای مدیریتی مطرح می‌باشد.

یکی از مواردی که این فناوری کاربرد خود را نمایان می‌سازد در ارتباط با منابع آب می‌باشد که در نظر گرفتن چالشهای پیش‌رو ضرورت استفاده از آن را پررنگتر نموده است.

فقدان دسترسی به آب تمیز و بهداشتی در کشورهای در حال توسعه، اولویت توسعه فن‌آوری نانو را مطرح می‌کند. هواداران فناوری نانو اظهار می‌دارند که مواد با پایه فن‌آوری نانو می‌توانند به فن‌آوریهای تصفیه آب ارزان قیمت‌تر، بادوام‌تر و مؤثرتری منجر شوند که نیازهای کشورهای در حال توسعه را برآورده می‌سازند. اینک در تعدادی از روش‌ها و دستگاه‌های تصفیه آب و پساب، شیرین‌سازی آب و غیره، فناوری نانو کاربرد یافته است. امروزه در جهان بسیاری از مردم به دلایل بلاهای طبیعی، جنگ و زیر ساخت‌های ضعیف خالص‌سازی آب، به آب بهداشتی دسترسی ندارند. حدود یک میلیارد نفر به منابع آبی دسترسی ندارند.

روزانه ۵۰۰۰ کودک به علت مبتلا شدن به امراض ناشی از مصرف آب‌های غیر بهداشتی می‌میرند. تمام تلاش پژوهشگران این است که با کمک روش‌ها و فن‌آوریهای جدید بتوانند این مشکل‌ها را کاهش دهند. یکی از این فن‌آوری‌ها، فن‌آوری نانو است. (رضا خیاط، ۱۳۹۵)

در آینده ایران جزء کشورهای خواهی خواهد بود که بحران مصرف بالا و کم‌آبی را به دلیل افزایش جمعیت شهرنشین و خشکسالی سالهای گذشته حدود ۲۰۰ هکتار از باغها، بیش از ۱۰ هزار هکتار از محصول چای و ۲ هزار هکتار از باغهای موز سیستان و بلوچستان و باغهای کوهپایه آسیب جدی دید.

استخراج بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی و سفره‌های آبدار زیرزمین در شرایط کنونی یک موقعیت بحرانی دارد. در حال حاضر از ۶۱۲ دشت کشور، ۱۵۰ دشت جزو مناطق ممنوعه و بحرانی است. (امین جعفری تهرانی، ۱۳۹۰)

با قبول این وضعیت، بخش بزرگی از مزارع در محدوده کویر قرار می‌گیرد و مشخص می‌شود خشکسالی یک واقعیت طبیعی و اقلیمی در کشور است. جمعیت کشور ما حدود یک درصد جمعیت جهان است ولی سهم ما از کل منابع آب شیرین در دنیا ۳۶ صدم درصد است. کشورهای دیگر دنیا از ۴۵ درصد منابع آب مطلوب خود استفاده می‌کنند. در کشور ما ۶۶ درصد آب مصرف می‌شود. بیش از ۵۰ درصد ذخایر آب شیرین کشور، وابسته به منابع آب‌های زیرزمینی است که درحقیقت ما باید این منابع زیرزمینی را برای سال‌های خشکسالی نگهداری می‌کردیم. کارشناسان یکی از دلایل این بحران را ایجاد شهرک‌ها و گسترش بی‌رویه و برنامه‌ریزی نشده شهرها می‌دانند. از سویی ما در اقلیم خشک و کم‌آب قرار داریم. از سویی هم کره زمین در حال گرم شدن است و پدیده ال نینو به گرم شدن هوا در این نقطه از جهان کمک کرده است. بنابراین با نگاهی به مشکلات تأمین آب در ایران و نیاز مبرم کشور به منابع جدید، می‌توان از فن‌آوری‌های نوین در این راه بهره جست. (افراسیاب باباکوهی، ۱۳۸۸)

این مهم در سایه انجام نیازسنجی و مطالعه دقیق اولیه تحقق می‌یابد. با توجه به اینکه در سالهای اخیر، ایران در حال اوجگیری در زمینه پژوهشهای نانو است، عقلانی به نظر می‌رسد که در سمت و سوی برنامه‌های کلان آب در کشور از فن‌آوری نانو به عنوان یک پشتیبان قوی استفاده گردد.

آنچه از توانمندی‌های فناوری نانو ارائه شد به این معنی است که می‌توان از این روش‌ها برای حفظ محیط‌زیست در آینده‌ای نه چندان دور استفاده کرد و در کنار استفاده از منابع طبیعی با کمک فناوری‌های پیشرفته بتوان به تعاملی پایدار با طبیعت رسید. و با به‌کارگیری این فن‌آوری از روش‌های دیگر و استفاده از سایر مواد، به یافته‌های بهتری برای رفع معضلات پیش گفت رسید (۸).

نانوتکنولوژی به عنوان یک فناوری قدرتمند نوین، توانایی ایجاد انقلاب و تحولات عظیم را در سیستم تأمین مواد غذایی، کشاورزی و صنعت و در گستره جهانی دارد. نانوتکنولوژی قادر است که ابزارهای جدیدی را برای استفاده در بیولوژی مولکولی و سلولی و همچنین تولید مواد جدیدی، برای شناسایی اجرام بیماری‌زا معرفی نماید.

به عنوان مثال امنیت زیستی تولیدات کشاورزی و مواد غذایی، سیستم‌های آزاد کننده دارو بر علیه بیماری‌های شایع، حفظ سلامتی و حمایت از محیط‌زیست از جمله کاربردهای شاخص این علم می‌باشد.

برای درک بهتر اهمیت نقش آب در سلامت جامعه به بررسی آب از دو منظر کمیت و کیفیت می‌پردازیم:

#### الف) کیفیت آب

در آمریکا قانون آب آشامیدنی سالم (SDWA)<sup>۱</sup> تلاش می‌کند تا استانداردهای حاکم بر منابع آبی را تعیین کند. بر اساس این قانون مقدار مجازی برای رادیو نوکلئیدها، مواد شیمیایی، تک یاخته‌ای‌ها، کلیفرم‌ها، ویروس‌ها و مواد ذره‌ای تعیین شده است. قوانین ملی اولیه آب آشامیدنی<sup>۲</sup> استانداردهای قانونی قابل اجرایی هستند که روی سامانه‌های آب آشامیدنی عمومی اعمال می‌شوند. قوانین ملی ثانویه آب آشامیدنی<sup>۳</sup> راهبردهای غیراجباری برای تنظیم آلاینده‌هایی هستند که می‌توانند اثرات آرایشی داشته باشند؛ از جمله این اثرات می‌توان به تغییر رنگ پوست یا دندان و یا اثرات ذائقه‌ای همچون طعم، بو یا رنگ آب آشامیدنی اشاره کرد.

سازمان حفاظت محیط‌زیست (EPA)<sup>۴</sup> اجرای استانداردهای ثانویه را برای سامانه‌های آب پیشنهاد می‌کند، اما این پیشنهاد اجباری نیست. ایالت‌های مختلف می‌توانند این راهبردها را به صورت قوانین اجباری در بیاورند. اروپا نیز قوانین مشابهی برای حفظ سلامت آب آشامیدنی دارد. وزارت محیط‌زیست ژاپن حد مجاز آلاینده‌های آب آشامیدنی را برای آن کشور تعیین کرده است. کانادا، استرالیا و کشورهای دیگر نیز قوانین مشابهی دارند.

برای بیشتر کشورهای دیگر سازمان بهداشت جهانی، بیشترین مقادیر مجاز آلاینده‌های میکروبی و ۱۲۸ ماده شیمیایی مضر را مشخص نموده است. هدف از ارائه این رهنمون‌ها استفاده از آنها توسط مسئولین دولتی هر کشور به عنوان پایه‌ای برای توسعه استانداردها و قوانین مربوط به آب آشامیدنی درون بستر زیست‌محیطی، اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی آن کشور است. (مجموعه گزارش‌های رصد فناوری نانو دفتر ریاست جمهوری ایران، ۱۳۹۴)

برخی کشورها از حد پیشنهاد شده توسط WHO فراتر رفته و استانداردها و قوانین سخت‌گیرانه‌تری برای آلاینده‌های میکروبی، شیمیایی و رادیولوژیکی و ویژگی‌های ذائقه‌ای

<sup>1</sup> SAFE DRINKING WATER ACT

<sup>2</sup> THE NATIONAL PRIMARY DRINKING WATER REGULATIONS

<sup>3</sup> THE NATIONAL SECONDARY DRINKING WATER REGULATIONS

<sup>4</sup> ENVIROMENTAL PROTECTION AGENCY

همچون بو، طعم و شفافیت آب وضع کرده‌اند. با این حال از آنجایی که تنها ۵۰ درصد از مردم جهان به آب لوله‌کشی درون منازل خود دسترسی دارند و باقی مردم از چاه یا رودخانه آب مورد نیاز خود را تأمین می‌کنند، در بیشتر مناطق جهان استانداردهای قابل اجرا برای آب وجود ندارد.

کیفیت آب مورد استفاده در فعالیت‌ها، بستگی به نوع امور و مصرف صنایع هدف برای به کار گیرنده، متفاوت می‌باشد. مثلاً کیفیت آب مصرفی برای پخت و پز با آب مصرفی در زراعت و کشاورزی، یکسان نیست.

عوامل بیماری‌زا:

میکروب‌هایی هستند که موجب ایجاد بیماری می‌شوند. برخی از این عوامل در اثر نفوذ فضولات حاصل از تخلیه فاضلاب، نشت تانک توالت و یا جاری شدن آب آلوده از مرکز پرورش دام و طیور در درون آب یافت می‌شود.

فهرستی از میکروب‌های بیماری‌زای معمول که توسط آب منتقل می‌شوند در جدول شماره ( ۱ - ۲ ) بیان شده است:

جدول شماره ( ۱ - ۲ ): عوامل بیماری‌زای موجود در آب (منبع: BCC RESEARCH)

COLI FORMS
CRYPTOSPORIDIUM
G IAR DIA LAMBLIA
تک یاخته‌ای‌ها
ویروس‌ها
O OCYSTS



از آلودگی‌های موجود در آب و محیط‌زیست می‌توان موارد زیر را نام برد:

#### - آرسنیک

محصولات جانبی ضد عفونی کننده‌ها (DBPs)<sup>۱</sup> شامل: تری هالو متان‌ها (THMs)<sup>۲</sup>، هالو استیک اسیدها (HAA)<sup>۳</sup>، برومات‌ها و کلریت

EDC ها<sup>۴</sup>، آلاینده‌های نوظهور که به نام آلاینده‌های نگران کننده یا میکروآلاینده‌ها نیز نامیده می‌شوند، به هر نوع ماده شیمیایی طبیعی یا سنتزی یا هر نوع میکروآرگانسمی اطلاق می‌شود که به طور معمول در طبیعت مورد بررسی قرار نمی‌گیرد، اما این قابلیت را دارد که وارد محیط‌زیست شده و اثرات شناخته شده یا مشکوک نامطلوبی بر اکولوژی یا سلامت انسان‌ها داشته باشد.

مواد شیمیایی جدید نه تنها شامل آنهایی هستند که به صورت فعالانه تولید شده یا در بازار محلی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بلکه محصولات جانبی یک فرایند تولید یا ساخت، محصول جانبی یک احتراق، یا متابولیت (محصول تجزیه‌ای) یک ترکیب مادر را نیز در بر می‌گیرند.

ویژگی بسیاری از آلاینده‌های جدید عبارت است از: حضور در مقادیر بسیار کم از منابع مختلف، ورود به محیط‌زیست آبی از منابع نقطه‌ای و غیرنقطه‌ای، فقدان یا کمی داده‌های تست زیستی استاندارد، اطلاعات ناکافی در زمینه سرنوشت این آلاینده‌ها و جابه جایی آنها در محیط‌زیست و فقدان روش‌های شیمیایی تأیید شده آلاینده‌هایی که نگرانی زیادی ایجاد کرده‌اند.

- محصولات دارویی و بهداشت فردی، آلکیل فنول‌ها و آلکیل فنول اتوکسیلات‌ها، هورمون‌ها و استروئیدهای ناشی از تغذیه دام و طیور، ترکیبات مقاومی که در محیط‌زیست تجمع می‌کنند و دی فنیل اترهای پلی بروم و ناخالصی‌های مرتبط با آنها هستند.

در اولین مطالعه‌ای که در آمریکا روی آلاینده‌های نوظهور (EC ها)<sup>۵</sup> انجام شد؛ غلظت‌های پایینی از این آلاینده‌ها در ۸۰ درصد از ۱۳۹ جریان آبی مورد مطالعه مشاهده شد. این ترکیبات حتی پس از تصفیه آب رودخانه، نهر و سفره‌های زیرزمینی در مرکز تصفیه آبی که برای حذف این آلاینده‌ها طراحی نشده بود، تشخیص داده شدند.

<sup>1</sup> DISINFECTION BY PRODUCTS

<sup>2</sup> TRI HALO METHANS

<sup>3</sup> Halo ACETIC Acids

<sup>4</sup> EMERGENCY DECONTAMINATION CENTER

<sup>5</sup> ETHER - CHLOROFORM

در حال حاضر برای ۸۵ ترکیب از ۹۵ ترکیبی که در این مطالعه بررسی شدند، استاندارد برای آب آشامیدنی وجود ندارد. انتظار می‌رود که این ترکیبات پیشران بعدی حرکت به سمت استانداردهای سخت گیرانه‌تر برای تصفیه آب باشند که این امر فرصت‌های بزرگی برای محصولات مبتنی بر فناوری نانو فراهم می‌آورد. (مجموعه گزارش‌های رصد فناوری نانو دفتر ریاست جمهوری ایران، ۱۳۹۴)

## ب- کمیت آب

کاهش مقدار منابع آبی تمیز مشکل اصلی در این زمینه به شمار می‌رود. با وجودی که دو سوم سطح کره زمین از آب پوشیده شده است، اما تنها ۳ درصد از این آب برای مصرف انسان مناسب است (شوری پایین) و از این ۳ درصد، دو سوم آن در یخ‌های قطبی و یخچال‌ها محبوس شده است. بنابراین تنها ۱ درصد از کل آب موجود در کره زمین آماده استفاده توسط ۶ میلیارد جمعیت ساکن در آن است و انتظار می‌رود در ۵۰ تا ۹۰ سال آینده این جمعیت دو برابر شود. این حقایق به تنهایی بر جدی بودن مشکل آب تمیز تأکید داشته و وضعیت بحرانی اثر دومینوی حاصل را تصدیق می‌کنند. با افزایش انفجاری جمعیت کره زمین، آب مورد نیاز نه تنها برای مصارف خانگی، بلکه برای مصارف کشاورزی و صنعتی نیز افزایش می‌یابد.

از سوی دیگر با افزایش جمعیت، به دلیل توسعه بی‌رحمانه و گاه‌بی‌ملاحظه، محیط طبیعی و در نتیجه کیفیت منابع آبی به سرعت کاهش می‌یابد. تخریب منابع آبی به هزاران شکل مختلف صورت می‌گیرد، از اثر مستقیم مواد شیمیایی و آلاینده‌های غذایی گرفته تا اثر غیرمستقیم استفاده نامناسب از زمین و آب. به عنوان مثال توانایی اکوسیستم در پالایش موثر منابع طبیعی آب در اثر فرسایش خاک و کاهش زمین‌های مرطوب کم می‌شود. هنوز هم در بسیاری از نقاط دنیا منابع آبی به صورت سیستماتیک توسط فاضلاب تصفیه نشده و ورود کنترل نشده آب‌های کشاورزی به آن آلوده می‌شوند.

استفاده از منابع آب زیرزمینی به جای تکیه بر باران و آب‌های سطحی مشکل را پیچیده‌تر کرده است؛ در اثر این تغییر استفاده، مخازن آب زیرزمینی که به کندی پر می‌شوند، خالی شده، رودخانه‌ها و دریاچه‌ها از منبع آبی خود محروم مانده و آب شور به سمت این مخازن آبی حرکت می‌کند تا جای آب پمپ شده به بیرون را بگیرد.

بنا بر داده‌های بانک جهانی، بیش از ۱ میلیارد نفر در کشورهای با درآمد پایین و متوسط و حدود ۵۰ میلیون نفر در کشورهای با درآمد بالا از دسترسی به آب سالم برای نوشیدن، بهداشت فردی و مصارف خانگی محروم هستند. این افراد حدود ۲۵ درصد از جمعیت ۵/۹ میلیارد نفری کره زمین را تشکیل می‌دهند.

سالانه بیش از ۹۰۰ میلیون نفر از این افراد از بیماری‌های مرتبط با آب رنج برده و بیش از ۲ میلیون نفر جان خود را از دست می‌دهند. بانک جهانی همچنین گزارش داده است که تا سال ۲۰۲۵ بیش از ۱/۴ میلیارد نفر در ۴۸ کشور جهان از اثرات نامطلوب ناشی از کمبود آب متأثر خواهند گشت که بیشتر این افراد در کشورهای کمتر توسعه یافته قرار دارند. در سال ۲۰۳۵ حدود ۳ میلیارد نفر در کشورهای زندگی خواهند کرد که تحت فشار ناشی از کمبود آب قرار دارند. (موسسه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و اقتصاد کشاورزی ایران، ۱۳۹۵)

به علاوه، بسیاری از کشورهایی که منابع آب محدودی دارند (همچون کشورهایی که در امتداد رودخانه‌های فرات، اردن و نیل واقع شده‌اند)، برای تأمین آب به منابع مشترک تکیه دارند که این امر می‌تواند موجب ایجاد تنش و درگیری‌های اجتماعی شود. با این حال کمبود فعلی یا قریب الوقوع آب فقط محدود به کشورهای در حال توسعه نیست. اروپا و آمریکا از این مشکل مبرا نیستند.

ظرفیت تجدید آب‌های زیرزمینی و سطحی محدود است، در حالی که فشار ناشی از کشاورزی، صنعت و مصرف‌کنندگان خانگی بر کمیت منابع آبی تأثیر می‌گذارد. میزان تقاضا برای آب از عوامل کلیدی همچون تغییر جمعیت، پراکندگی جمعیت و چگالی آن نیز تأثیر می‌پذیرد. در بسیاری از مناطق آمریکا، همانند بسیاری از نقاط جهان، مشکل کیفیت و کمیت آب یک نگرانی دائمی به شمار می‌رود. تمام مناطق جمعیتی درون ایالات متحده به آب مطمئن دسترسی ندارند و این مشکلی است که تنها بدون دخالت هم‌افزایانه‌ی فناوری، اجرا و قانون‌گذاری تشدید می‌شود.

راه‌حلهای زیادی برای حل مشکل کمبود آب در دنیا پیشنهاد شده است. برخی از این روش‌ها از فناوری پایینی برخوردار بوده و برخی دیگر به فناوری‌های پیشرفته نیاز دارند.

حال با توجه به اهمیت موضوع و تلاش در رفع مشکلات آینده و چالش‌های پیش‌رو، در این پژوهش با استفاده از فناوری نانو و بهره‌گیری از نانو ذرات رس و

خاک‌های رس طبیعی، تلاش در رسیدن به نتایج مثبت برای تصفیه پساب صنایع صورت می‌گیرد.

## ۱-۴) روش‌ها

تحقیقات بر پایه یافته‌های عددی، تحلیلی و تجربی استوار هستند.

در این پژوهش با استفاده از فناوری نوظهور نانو و بر حسب انجام آزمایش تصفیه پساب و مشاهده میزان کارایی نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی در پالایش پساب و حذف یا کاهش ذرات کلوئیدی، پیگمان‌های رنگی، ذرات چربی و تیرگی توسط سیستم تصفیه اقدام خواهد شد.

با توجه به انجام عمل تصفیه آلاینده‌ها و مواد با مش‌بندی مختلف از ذرات رس به مش مناسب از ذرات رس برای کاهش و یا حذف موثر هر آلاینده، یافته‌های تجربی در عرصه تحلیل واقع شده و به یافته‌های عددی برای حصول نتیجه از این پژوهش خواهیم رسید.

## ۱-۵) اهداف پژوهش:

این پژوهش به منظور دستیابی به اهداف زیر، انجام می‌پذیرد:

- ✓ به کارگیری فناوری نانو و ارائه روشی نو در تصفیه
- ✓ امکان تصفیه پساب و فاضلاب‌های صنعتی
- ✓ مقرون به صرفه کردن عمل تصفیه پساب‌ها از نظر زمانی و مکانی
- ✓ راندمان بالای عملکرد تصفیه در مقایسه با سایر روش‌های موجود با توجه به تعیین مش مناسب نانو ذرات با آلاینده‌های مختص هر صنعت
- ✓ کنترل پساب از نظر ظاهر و ایجاد تعفن و بو بدون نیاز به ماند طولانی مدت در حوضچه‌های ماند ته نشینی
- ✓ بررسی حذف یا کاهش آلاینده‌هایی از جمله: ذرات کلوئیدی - رنگ و کدورت - پیگمان‌های رنگی - چربی و ... توسط نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی

❖ هدف کلی از این پژوهش: « تصفیه پساب صنایع با استفاده از نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی می‌باشد. »

با به کارگیری این سیستم در هر صنعت، از منبع تولید پساب به طور مستقیم، فرایند تصفیه صورت گرفته و از تداخل آلاینده‌های سایر صنایع و ایجاد مخلوط حجیم و وسیعی از فاضلاب‌های تولیدی سایر صنایع جلوگیری می‌نماید. در نتیجه سهولت عمل تصفیه و متناسب‌سازی مش مناسب با آلاینده موجود در هر صنعت، مشخص می‌گردد. پس در این پژوهش با ساخت یک سیستم تصفیه و سنجش میزان پالایش نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی با مش‌بندی‌های مناسب با هر آلاینده موجود در پساب صنایع زمینه استفاده مجدد از آب‌های تصفیه شده را در صنعت و زراعت ایجاد می‌نمائیم.

## ۱-۶) زمینه‌های به کارگیری پساب پس از تصفیه

برای پی بردن به دستاوردهای فیلتراسیون پساب‌ها با نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی، و همچنین اهمیت آنها؛ داشتن اطلاعاتی در زمینه فوائد نانوفیلترها و همچنین شناخت خاک‌های رسی، لازم و ضروری است. لذا در این رابطه مطالعات لازم می‌بایست قبلاً انجام گرفته باشد.

در این پژوهش به اختصار مطالبی در مورد زمینه‌های به کارگیری پساب پس از تصفیه بیان می‌گردد.

در جهت تامین آب شرب مناسب، و در بسیاری از نقاط دنیا؛ تمیز کردن منابع آبی محلی، بهبود کارایی توزیع آب، یا استفاده از انتقال آب برای حل مشکل کافی است. با این حال برخی مناطق دیگر به تجهیزات پیشرفته برای تصفیه آب و فاضلاب نیاز دارند.

استفاده مجدد، یکی از بهترین راه‌های مقابله با بحران‌های آبی می‌باشد. حال انتظار می‌رود مقدار ثابت آب موجود روی کره زمین موجب افزایش تصفیه و استفاده مجدد از فاضلاب‌های مختلف شود. این فرایند بازیابی را می‌توان در یک کارخانه تولیدی و از طریق بستن چرخه آب و حذف آلاینده‌ها انجام داده و یا اینکه این کار را در مقیاس بسیار بزرگ‌تر به انجام رساند.

با افزایش جمعیت، جوامع جدیدی در نقاطی که فاقد مجرای فاضلاب هستند، شکل گرفته و در نتیجه نیاز به تصفیه فاضلاب افزایش می‌یابد.

این سامانه‌ها همچنین در نقاط دور افتاده‌ای که به تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و شهرک‌های صنعتی متصل نیستند، بسیار ارزشمند هستند.

در برخی موارد می‌توان از پساب تصفیه‌شده برای پر کردن مجدد سفره‌های آب زیرزمینی استفاده کرده و بدین وسیله از نفوذ آب شور به سفره‌های ساحلی جلوگیری کرده، نشست زمین را در نقاطی که به دلیل استفاده بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در حال فرو رفتن هستند، کاهش داده و ذخیره و بازیابی آب‌های زیرزمینی را بهبود بخشید.

چرخه آب آشامیدنی و فاضلاب به شکلی یکپارچه به یکدیگر مربوط هستند. مواد شیمیایی موجود در فاضلاب‌های خانگی و شهرک‌های صنعتی می‌توانند پایداری و تحرک‌پذیری بالایی داشته و با خروج از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و شهرک‌های صنعتی وارد فرایندهای زیست‌محیطی شوند. بدین ترتیب این ترکیبات خواهند توانست به آب‌های سطحی و زیرزمینی که منبع آب آشامیدنی یک جامعه دیگر محسوب می‌شوند، نفوذ کنند.

در مورد تصفیه فاضلاب‌های صنعتی باید گفت که، از نظر تاریخی صنعت، فاضلاب‌های خود را فقط تا حدی تصفیه کرده است که الزامات قانونی را برآورده ساخته و پسابی تولید شود که از نظر قانونی قابل دور ریز به طبیعت باشد. در حال حاضر تغییرات تدریجی از این راهبرد تصفیه فاضلاب به سمت تولید آلاینده کمتر در جریان است. روز به روز بر این باور افزوده می‌شود که روش‌های قدیمی همیشه به نفع محیط زیست نبوده و از نظر کسب و کاری نیز مقرون به صرفه نیستند.

توسعه و کاربرد تکنولوژی‌های پیشرفته جهت تصفیه آب با حداکثر کارایی و حداقل مصرف انرژی ضروری است. در مقیاس جهانی، بیماری‌های منتقله از آب<sup>۱</sup> در کشورهای در حال توسعه با محدودیت دستیابی به آب آشامیدنی سالم، همچنان به عنوان عامل اصلی مرگ و میر می‌باشند. کاربرد تکنولوژی نوین نانو می‌تواند راه‌حلی برای این مشکل باشد.

میزان مواد شیمیایی که به عمد یا غیر عمد به رودخانه‌ها و نهرها وارد می‌شوند، در حال افزایش است. امروزه جریان‌های آبی حاوی مقادیر کثیری مواد مصنوعی دست‌ساز

---

<sup>1</sup> WATER- BORNE DISEASES

بشر<sup>۱</sup> هستند که سیستم‌های تصفیه مرسوم اغلب قادر به حذف کامل آن‌ها به ویژه انواع مقاوم به تجزیه میکروبی نمی‌باشند. در نتیجه، بسیاری از این آلاینده‌ها در سرتاسر دنیا در ماتریس‌های آبی همچون پساب‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، آب‌های سطحی و زیرزمینی و آب آشامیدنی یافت می‌شوند.

استفاده مجدد از فاضلاب در حال تبدیل شدن به یک روش مورد قبول جهت برگشت اجزای مفید فاضلاب به منبع، می‌باشد. فاضلاب می‌تواند برای مصارف خانگی، صنعتی، کشاورزی، کشت آلی و اهداف تقسیم جریان طبیعی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به ارزش بالای آب شیرین سالم، استفاده مجدد یک گزینه کارآمد برای کنترل آلودگی است. استفاده از آب پاک برای مصارفی که به آب آشامیدنی نیاز ندارند، اسراف می‌باشد. فاضلاب نسبت به آب پاک مزایای بیشتری دارد؛ زیرا دارای مقادیر موادمغذی بالاتر است که می‌تواند محصولات کشاورزی را حفظ کند و یا راندمان فرایند کشت آبی را افزایش دهد. بهترین روش‌ها برای کنترل کیفیت آب شامل تصفیه در منبع یا در محل قبل از ترکیب شدن با جریان‌ات مختلف فاضلاب است. بعد از اختلاط، تصفیه اغلب هزینه بیشتری نیاز دارد و تأثیر کمتری دارد، به خصوص در فرایندهایی نظیر دباغی که فاضلاب آلوده شده به کروم را با جریان اصلی ترکیب می‌کنند. در این موارد استفاده از روش تولید پاک‌تر که تمام فرایندها را ارزیابی می‌کند و روش‌هایی را برای بازیافت فاضلاب قبل از فرایند بعدی بیان می‌دارد، ممکن است مورد نیاز باشد، چنین روش‌هایی، بازیافت فاضلاب را در خود صنعت فراهم می‌کند و لذا مصرف آب آشامیدنی را کاهش می‌دهد.

استفاده مجدد فاضلاب در کاهش آلودگی زیست‌محیطی موثر است، اما ممکن است در برخی موارد که سیستم استفاده مجدد به درستی طراحی نشده باشد، مشکلاتی را به همراه داشته باشد، این مشکل می‌تواند برای محیط‌های طبیعی که در برگیرنده‌ی فرایندهای خاک و آب می‌باشند، باشد؛ به عنوان مثال در صورتی که یک سیستم بازیابی کشاورزی طراحی شده، بار زیادی از مواد مغذی و آب را دریافت کند، منجر به آلودگی آب‌های زیرزمینی و آلودگی محیط‌های در برگیرنده‌ی آن می‌شود.

نوآوری‌ها در سیستم‌های در محل شامل سیستم‌های با فناوری پیشرفته، ارتقاء به فناوری‌های متعارف موجود و تکنیک‌های جداسازی در منبع می‌شود. در بیشتر این

---

<sup>1</sup> ANTHROPOGENIC SUBSTANCES

نوآوری‌ها، دو فاکتور اصلی مورد توجه قرار گرفته است که اثربخشی هزینه و استفاده مجدد از جریان زائدات ویژه، فاکتورهای مد نظر هستند.

شکل (۱-۱) اهمیت وجود آب سالم و کمبود آن در جهان را گوشزد می‌کند.

برای درک بهتر کاربردهای تکنولوژی نانو در آینده به زمینه‌های کاربردی فناوری نانو و جایگاه آن می‌پردازیم. در مجموع کاربردهای متعددی را می‌توان در زمینه استفاده از فن‌آوری نانو متصور بود که اهم آنها در ذیل آمده است:



شکل (۱-۱) اهمیت و کمبود آب در جهان

۱- استفاده از ذرات نانو ساختار در تصفیه آلاینده‌ها<sup>۱</sup>

۲- رنگ‌زدایی از آب آشامیدنی<sup>۲</sup> نمک‌زدایی از آب<sup>۳</sup>

۳- نانو پوششها<sup>۴</sup>

۴- نانو لوله‌های جاذب گازهای سمی<sup>۵</sup>

۵- نانو بسپارهای متخلخل<sup>۶</sup>

۶- استفاده از نانو ذرات در تصفیه پس آبها<sup>۷</sup>

۷- صافیهای نانو<sup>۸</sup>

۸- حذف آرسنیک موجود در آب با استفاده از فناوری نانو<sup>۹</sup>

استفاده از فناوری‌های نوین در دنیا برای فراهم کردن برخی از زیرساخت‌های توسعه پایدار است که ممکن است از طریق فناوری‌های قدیمی قابل دستیابی نباشد.

یکی از نمونه‌های این تغییر، توجه به فناوری‌های غیر متمرکز به جای فناوری‌های متمرکز است. در مقوله‌ی پایداری، سیستم‌های غیر متمرکز از لحاظ پتانسیل استفاده مجدد، مزایای بیشتری دارند، زیرا این سیستم‌ها فاضلاب را به یک نقطه هدایت نکرده و می‌توانند به گونه‌ای قرار گیرند که حجم عمده‌ای از جریان فاضلاب را به منطقه‌ای که پتانسیل استفاده مجدد بیشتری وجود دارد، هدایت کند. متمرکز شدن فاضلاب در یک نقطه با استفاده از سیستم‌های

<sup>1</sup> The use of nano particles in the filtration of pollutants

<sup>2</sup> Decolorization of drinking water

<sup>3</sup> Desalination

<sup>4</sup> Nano-coatings

<sup>5</sup> Nano tubes absorbing toxic gases

<sup>6</sup> The nano-porous polymers

<sup>7</sup> The use of nano particles in waste water treatment

<sup>8</sup> Nano Filter

<sup>9</sup> Removal of arsenic from water using nanotechnology



متمرکز باعث کاهش ظرفیت استفاده مجدد فاضلاب به محض تصفیه آن می‌شود که علت آن مربوط به کافی نبودن زمین مورد نیاز مثل فضای باز عمومی یا زمین کشاورزی است.

توسعه فناوری‌های ساده و کاربردی که بتواند بهسازی و مبانی کافی مورد نیاز برای ساکنین یک منطقه را فراهم کند یک مرحله مهم در این فرایند محسوب می‌شود. امروزه پتانسیل نانوذرات به عنوان نوع امید بخشی از مواد جدید کاملاً شناخته شده و تلاش‌های تحقیقاتی قابل توجه و هزینه‌های زیادی صرف انجام بررسی‌ها، توسعه و بهره‌برداری از این مواد نانو اندازه با ویژگی‌های منحصر به فرد شده است.

انسان تنها موجودی است که قادر است ابزار سازی کند تا علاوه بر رفع نیاز خویش، به وسیله این ابزار نفوذ خود را بر طبیعت اعمال نماید. از این رو می‌توان گفت که تاریخ اختراعات نیز با تاریخ بشریت منطبق است و هر اختراعی که در زندگی بشر رخ داده و می‌دهد، با یکی از ترقیات آدمی بر روی جاده هوش و فراست بستگی پیدا می‌کند.

در این پژوهش با توجه به بررسی میزان اثر رفع کدورت از پساب‌ها توسط صافی‌های رسی، و نیاز به حذف ذرات کلوئیدی جهت مطلوب شدن نتایج و همچنین با وجود امکان تهیه پساب بصورت پایلوت و آزمایشگاهی، اما امکان‌سنجی رس را در بحث کدورت پساب‌های واقعی، بررسی نمودیم که در این راستا از ۴ شرکت با هماهنگی و معرفی محیط‌زیست استان لرستان، نمونه‌برداری از خط ورودی تصفیه‌خانه در شرکت‌های مد نظر انجام گردید. و به صورت تصادفی از خط تولید محصول روز شرکت‌ها (مثلاً تولید رنگ سفید در رنگ خرم و تولید پنیر در فدک لبن) انجام شد. و این نمونه‌گیری به صورت تصادفی صورت پذیرفت.

پس از نمونه‌گیری، بررسی کارایی مواد بخصوص ذرات نانو در دستور کار قرار گرفت.

با استفاده از تحقیقات صورت گرفته پیش‌گفت در زمینه فن‌آوریهای متعدد نانو، در این تحقیق با بررسی راندمان تصفیه نانو ذرات رس و خاک‌های طبیعی رس، در راستای تصفیه پساب‌های صنعتی و ایجاد زمینه استفاده مجدد از آب‌ها تلاش می‌شود به کاربرد پالایشی این مواد در حل چالش‌های آب و مشکلات زیست‌محیطی گام‌هایی برداشته شده و کاربردهای مقابله‌ای با کمبود آب مصرفی خصوصاً برای صنایع و کشاورزی اقداماتی صورت پذیرد.

نمونه‌ای از موارد استفاده پساب‌ها پس از تصفیه در جدول (۱ - ۳) بیان شده است.

جدول شماره ( ۱ - ۳ ) نمونه‌ای از موارد استفاده پساب‌ها پس از تصفیه

ردیف	موارد استفاده
۱	مقابله با بحران‌های آبی و حفظ پایداری جوامع
۲	بهبود چرخه آب
۳	کاهش هزینه تولید آب
۴	کاهش اثرات اکولوژیکی EDC ها و حفظ سلامتی بشر
۵	کاربرد مفید برای صنایع پراکنده و دورافتاده از سیستم تصفیه‌خانه صنعتی
۶	ایجاد زمینه توسعه تأمین آب همگام با رشد جوامع
۷	حفظ محیط زیست
۸	فرایندی موثر با حداقل مصرف انرژی
۹	مبارزه با بیماریهای منتقله از آب
۱۰	ایجاد سطح مطلوب تصفیه پسابها برای مصارف مدنظر
۱۱	تصفیه در محل و منبع تولید
۱۲	بهره‌گیری از علم و فناوری نوظهور نانو تکنولوژی برای فرایند تصفیه
۱۳	تلاش در حفظ منابع ملی و مقابله با جنگ نرم

## ۱-۷ جنبه‌های نوآوری

با توجه به نوظهور بودن تکنولوژی نانو، ابتدا با انجام مطالعات میدانی و پژوهش در کتب و تالیفات و همچنین تحقیق در اینترنت به نو بودن پژوهش پی می‌بریم. مطالعات صورت گرفته در مورد نانو رس به صورت اختصاصی برای یک ماده خاص و با مش‌بندی

متناسب با یک آلاینده خاص صورت نگرفته است. (اطلاعات بیشتر در مورد تکنولوژی نانو در {پیوست ۱}، ضمیمه شده است).

تحقیقات صورت گرفته در مورد نانو رس به صورتی بوده است که با ترکیب با سایر مواد و ذرات نانو در تهیه پلیمرها و جاذبها استفاده شده است.

سپس با کسب استعلام از سایت ایران داک<sup>۱</sup> (پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات و مدارک علمی ایران) و دریافت عدم انجام تحقیق در این زمینه، به نوآوری این پژوهش پی می‌بریم.

## ۱-۸) فرضیات تحقیق

➤ به نظر می‌رسد که با استفاده از نانو رس و خاک‌های رس طبیعی می‌توان پساب‌های کارخانجات و فاضلاب‌های صنعتی را تصفیه کرد.

➤ به نظر می‌رسد که هزینه تمام شده این روش به مراتب پائین‌تر از روش‌های مرسوم خواهد بود.

➤ به نظر می‌رسد که نانو رس و خاک‌های رس طبیعی علاوه بر خواص جذبی، خاصیت لخته‌سازی هم دارد.

در این پژوهش به طور اختصاصی به بررسی فرضیه زیر پرداخته تا با حصول نتایج به فرضیات پیش‌رو پاسخ مناسبی داده شود:

✓ به نظر می‌رسد که نانو رس و خاک‌های رس طبیعی قابلیت حذف یا کاهش فراوانی از ذرات کلوئیدی، چربی‌ها، پیگمان‌های رنگی، کدورت و رنگ موجود در پساب‌ها را دارند.

---

<sup>1</sup> IRANDOC

## ۱-۹) پرسش‌های تحقیق

- آیا با استفاده از نانو رس و خاک‌های رس طبیعی می‌توان پساب‌های کارخانجات و فاضلاب‌های صنعتی را تصفیه کرد؟
- آیا هزینه تمام شده استفاده از خاک رس در ابعاد مختلف، پائین‌تر از روش‌های مرسوم خواهد بود؟
- آیا نانو رس و خاک‌های رس طبیعی علاوه بر خواص جذبی، خاصیت لخته‌سازی هم دارد؟
- آیا نانو رس و خاک‌های رس طبیعی؛ قابلیت حذف یا کاهش فراوانی از ذرات کلوئیدی، چربی‌ها، پیگمان‌های رنگی، کدورت و رنگ موجود در پساب‌ها را دارند؟
- تاثیر حذف یا کاهش کدورت، (با توجه به ابعاد ذرات رس) در صافی‌های رسی، چگونه است و کدام صافی کارایی بهتری دارد؟
- آیا ابعاد مختلف ذرات رس، برای هر نوع پساب، در میزان حذف کدورت، می‌بایست متناسب‌سازی شود؟

## **فصل دوم**

### **مروری بر پیشینه تحقیق**

## فصل ۲) پیشینه و ادبیات موضوع

به دلیل تنوع بالای صنعت تصفیه آب و طبیعت پراکنده بودن آن، یافتن مطالعاتی جامع، بسیار دشوار است.

این واقعیت که بسیاری از شرکت‌های فعال در این حوزه نوظهور (نانو تکنولوژی)؛ شرکت‌های تازه تأسیس و یا مشتق شده از شرکت‌های دیگر هستند، جمع‌آوری این اطلاعات را دشوارتر ساخته است.

فناوری نوظهور در دنیا عبارتند از غشاهای مورد استفاده در اُسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون؛ فیلترهای ساخته شده از نانوالیاف، نانولوله‌های کربنی و نانوذرات.

کاربردهای تحلیل شده این فناوری‌ها شامل: تصفیه آب آشامیدنی در مناطق شهری و مسکونی، تصفیه فاضلاب‌های شهری و محلی، و رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی است.

انتظار می‌رود که با توسعه بیشتر فناوری نانو، کارایی روش‌های مختلف تصفیه و فیلتراسیون آب و فاضلاب، همچون خالص‌سازی، نمک‌زدایی، ضدعفونی کردن و پالایش بهبود یابد.

همچنین انتظار بر این است که استفاده از محصولات مبتنی بر فناوری نانو هزینه تصفیه آب را کاهش دهد؛ به علاوه پیش‌بینی می‌شود که استفاده از این فناوری عملکردهای جدیدی به مواد موجود بیافزاید. با درک بهتر شیمی سطحی نانو ساختارها، امکان کنترل واکنش‌ها با استفاده از نانومواد به منظور کاهش تولید ضایعات نیز به وجود خواهد آمد.

در حال حاضر کشورهای پیشرفته‌ای همچون آمریکا، آلمان و ژاپن محل اصلی توسعه فناوری نانو به شمار می‌روند. با این حال پژوهشگران اقتصادهای نوظهور نیز در کنار محققان کشورهای توسعه‌یافته در زمینه تحقیق و توسعه فناوری نانو فعال هستند.

همکاری‌های بین‌المللی زیادی در این حوزه شکل گرفته و دانشگاه‌ها و بنگاه‌های اقتصادی مختلف با اهداف مشترک را از تمام جهان با یکدیگر متحد نموده است. در زمینه کاربرد نیز بازار فناوری‌های نانو محدود به کشورهای ثروتمند نبوده و می‌تواند برای مصرف‌کنندگان و همچنین محیط‌زیست کشورهای نوظهور بسیار مفید باشند. کشورهای در حال توسعه می‌توانند با بهره‌گیری از فناوری نانو در زمینه تصفیه آب جهش بزرگی در این زمینه داشته و با حرکت به سمت فناوری‌های پیشرفته، استفاده از فناوری‌های قدیمی نامرغوب، ناکارآمد، گران و آلاینده را کنار بگذارند.

اصلی‌ترین کاری که فناوری نانو می‌تواند در زمینه رفع مشکلات آب انجام دهد، حل مشکلات فنی مربوط به حذف آلاینده‌هایی همچون باکتری‌ها، ویروس‌ها، فلزات سنگین و نمک است. در نمایی بزرگ‌تر، از آنجایی که فراهم نمودن آب تمیز برای سلامت فیزیکی و اقتصادی کشورها ضروری است، توسعه فناوری نانو می‌تواند با امنیت ملی گره بخورد. از همین منظر کمبود این منبع حیاتی می‌تواند به منازعات بین‌المللی منجر شود.

بسیاری از محصولات هنوز در مقیاس آزمایشگاهی بوده و برای رسیدن به سطح صنعتی باید مقیاس تولید آنها افزایش یابد؛ اصلی‌ترین مشکل برای این محصولات کاهش هزینه تولید است. به علاوه، مبنای توسعه تمامی فناوری‌های پیشنهاد شده برای استفاده در تصفیه آب و فاضلاب، ابزارها و فرایندهای موجود هستند.

بنابراین پیشرفت صنعتی در این حوزه تکاملی خواهد بود و نه انقلابی.

علاوه بر نیاز به کاهش هزینه محصولات مبتنی بر فناوری نانو از طریق تولید انبوه، فناوری‌های نانو باید بر چالش پذیرفته‌شدن توسط مردم و صنعت نیز غلبه کنند. برای نشان دادن اطمینان‌پذیری بسیاری از این محصولات و فرایندهای نوظهور باید بررسی‌های بیشتری صورت پذیرد. پس از تجاری شدن نیز صنایع برای به روز رسانی تجهیزات خود به سرمایه‌گذاری بیشتر، و برای آموزش نیروی انسانی جهت کار با سامانه‌های جدید، به هزینه عملیاتی نیاز خواهند داشت.

برخی موانع بالقوه نیز در مسیر به کارگیری فناوری نانو در تصفیه آب وجود دارند.

ارزیابی خطر نانوذرات و نانومواد دیگر برای توسعه پیوسته فناوری نانو ضروری است. ایمنی نانومواد جدید باید قبل از وارد شدن به بازار و فروش در مقیاس وسیع ثابت شود. هر چقدر هم محصولات مبتنی بر فناوری نانو نوید بخش باشند، تا زمانی که واحدهای اقتصادی مستقر از پذیرش آنها سر باز زنند، منافع استفاده از آنها به واقعیت نخواهد پیوست.

هدف اصلی صاف کردن آب؛ جدا کردن مواد معلق (برحسب کدورت اندازه‌گیری می‌شود) است. مواد معلق شامل ذرات تشکیل یافته در عمل انعقاد، تجمع ذرات و ته‌نشینی میکروارگانیزم‌ها، رسوباتی مانند کربنات کلسیم که بعد از سبک کردن آب‌های سطحی یا زیرزمینی با آهک یا آهک-کربنات سدیم در آب باقی می‌ماند و رسوبات آهن و منگنز از منابع آب‌های زیر زمینی می‌شود.

این مواد معلق هنگام عبور آب از بستر صافی که معمولاً از شن یا مخلوطی از شن، ذغال آنتراسیت و لعل ریز<sup>۱</sup>، یا مواد مصنوعی مشابه که مخصوص تصفیه آب است، از آب جدا می‌شوند. معمولاً در تصفیه‌خانه؛ صاف کردن بعد از انعقاد، تجمع ذرات و ته‌نشینی انجام می‌گیرد.

کاهش کدورت آب در حفظ سلامتی و بهداشت مردم و جلوگیری از مشکلات و مسائل سیستم توزیع آب مهم است (۹).

با استفاده از خاک رس در تصفیه پساب‌های صنایع مقواسازی با داشتن آلاینده‌ها و ترکیبات رنگ‌زای مختلف؛ تحقیقی در دانشگاه علوم پزشکی مشهد در بهار سال ۹۴ توسط آقای محمد پذیرا، و استفاده از مواد شیمیایی برای تثبیت PH در عدد ۸، انعقاد و لخته‌سازی توسط رس به ثبت رسیده است و بهبود نسبی کیفیت فاضلاب را جهت ورود به تصفیه‌بیولوژیکی فراهم نمود (۱۰). اما در این تحقیق از رس طبیعی استفاده شده بود و بررسی کارایی نانو رس، انجام نگرفته بود.

اینک در این تحقیق از ذرات نانو رس و همچنین خاک‌های رس طبیعی؛ به عنوان بستر صافی برای تصفیه پساب صنایع استفاده گردید.

چندین نوع نانوماده را می‌توان به نام نانوذره شناخت: نانورس، زئولیت‌های نانوبلوری، پلیمرهای زیستی تنظیم‌پذیر، درخت‌سآنها، SAMMS، کاتالیزورهای نوری

---

<sup>1</sup> GARNET



نانومقیاس، نانوذرات تک آنزیمی، ذرات آهن با ظرفیت صفر و ذرات دوفلزی. برخی از این مواد را می‌توان بر حسب اندازه به ذره و پودر تقسیم‌بندی کرد؛ در این گزارش اصطلاح نانوذره به هر دو ماده اطلاق می‌شود.

نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم و اکسیدهای آهن در حال حاضر در بازار وجود داشته و در بسیاری از محصولات مصرفی از جمله افزودنی‌های غذایی، رنگ‌ها، و محصولات آرایشی بهداشتی به کار می‌روند.

نسل جدید نانوذرات مهندسی شده هنوز در مرحله توسعه قرار دارد.

نانورس که به طور طبیعی در بخش رسی خاک یافت می‌شود، به نانوذرات لایه‌ای سیلیکات با ساختار خاص اطلاق می‌شود که دارای مورفولوژی صفحه‌ای هستند. این صفحات کوچک به استثنای ضخامتشان که در حدود ۱ نانومتر است، دارای ابعاد زیرمیکرونی هستند.

نانوذرات رس بسته به ترکیب شیمیایی و مورفولوژی به چند دسته از جمله آتاپولگیت<sup>۱</sup>، مونت موریلونیت<sup>۲</sup>، بنتونیت<sup>۳</sup> (شکل سدیمی مونت موریلونیت)، کائولینیت<sup>۴</sup>، هکتوریت<sup>۵</sup> و هالویسیت<sup>۶</sup> تقسیم می‌شوند.

مساحت هر یک از صفحات کوچک حدود چندصد نانومتر مربع و ضخامت آنها یک نانومتر است. این سامانه میکروسکوپی دارای حفراتی در محدوده چند نانومتر بوده و تنها چند لایه مولکولی از آب می‌تواند به صورت فشرده میان این سطوح صفحه‌ای قرار گیرد. مونت موریلونیت که یکی از اجزای بنتونیت محسوب می‌شود، یک نانوذره رسی بازی و بسیار فعال است که مورفولوژی شبیه کورن فلکس دارد. بنتونیت سدیمی می‌تواند چند برابر وزن خشک خود آب را جذب نماید و بنابراین می‌توان در جذب درجای آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی و خاک مفید واقع شود.

چالش‌هایی که در زمینه استفاده از نانورس در رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی وجود دارد عبارتند از:

---

<sup>1</sup> ATTAPULGITE

<sup>2</sup> MONTMORILLONITE

<sup>3</sup> BENTONITE

<sup>4</sup> KAOLINITE

<sup>5</sup> HECTORITE

<sup>6</sup> HALLOYSITE

- استقرار فرایندهای مناسب برای تزریق و بازیابی این ذرات؛
- ایجاد جاذب‌های شیمیایی مختص آلاینده‌های مورد نظر روی سطح نانوذرات رس (شاید بتوان از طریق کپسوله کردن نانوذرات رس درون پلیمرهای تخریب‌پذیری که به عنوان جاذب‌کننده آلاینده عمل می‌کنند، به این هدف دست یافت)؛
- جداسازی آلاینده‌ها از نانورس پس از جذب آلاینده‌ها و بازیابی نانوذرات؛
- امکان استفاده مجدد از نانوذرات رس؛
- امکان تثبیت فیزیکی آلاینده‌ها به صورت درجا و به دلیل افزایش اندازه نانوذرات رس پس از انجام فرایند جذب.

نانوذرات رس تغییر یافته با ترکیبات آلی (آرگانوکلی)

رس تغییر یافته با ترکیبات آلی یا همان آرگانوکلی‌ها که با وارد کردن کاتیون‌های آمونیوم چهارتایی میان لایه‌های صفحات رس شکل می‌گیرند، مدت‌های مدیدی است که به عنوان تغییر دهنده‌های رئولوژی، افزودنی رنگ‌ها، جوهرها و لوازم آرایشی بهداشتی، و به عنوان سامانه‌های رسانشی در رهایش کنترل شده داروها به کار می‌روند.

در سال‌های اخیر از این ماده به شکل وسیعی در تولید نانوکامپوزیت‌های رس- پلیمر استفاده شده است؛ این نانوکامپوزیت‌ها مواد هیبریدی آلی- معدنی با ویژگی‌های مکانیکی، حرارتی، و انسدادی (در برابر گاز) بسیار عالی به شمار می‌روند.

انتظار می‌رود این مواد در کنترل آلودگی و تصفیه آب مفید واقع شوند. تغییر نانوذرات رس با ترکیبات آلی در سطح مولکولی امکان جذب محدوده وسیعی از آلاینده‌های آلی را از آب‌های سطحی و زیرزمینی فراهم می‌آورد.

در این مواد یون‌های فلزی، روی تمام سطوح درونی ساختار بلوری رس با یون‌های آلی بزرگتر (همچون یون‌های آلکیل آمونیوم و مواد فعال سطحی دیگر) جایگزین شده‌اند. این تغییر موجب ایجاد تمایل به ترکیبات آلی در نانوذرات معدنی رس شده و جاذبه قوی میان این ذرات و مولکول‌های آلی به وجود می‌آید.

محققان آزمایشگاه ملی آرگون، یک روش مقرون به صرفه برای تولید نانوکامپوزیت‌های پلیمر-رس (PCN ها) ابداع کرده‌اند که با استفاده از آن می‌توان تقریباً هر نوع پلیمر تجاری غیرقطبی همچون پلی‌اولفین‌ها، الاستومرها، و یونومرها را به کامپوزیت تبدیل کرد. این کامپوزیت‌های خود فعال‌شونده به منظور کنترل ویژگی‌های مکانیکی و جریانی پلیمرها تولید شده‌اند.

چون این نانوکامپوزیت‌ها نیازی به استفاده از کوپلیمرها یا عوامل پخش‌کننده گران ندارند، در نتیجه با وجود هزینه پایین عملکرد خوبی از خود نشان می‌دهند. با استفاده از فناوری آرگون ذرات رس با مقیاس نانومتری تولید می‌شوند که هنگام اضافه شدن به یک بستر پلیمری، به طور کامل در آن پخش می‌گردند.

افزودن رس به یک پلیمر می‌تواند بدون آنکه موجب کاهش زیاد در مقاومت ضربه‌ای یا افزایش محسوس در چگالی پلیمر شود، پایداری حرارتی، سفتی، استحکام و ویژگی‌انسدادی آن در برابر گازها را بهبود بخشد. همچنین ارگانوکی‌های تولید شده در آزمایشگاه ملی آرگون موجب بهبود عملکرد فراوان در بسیاری از کاربردهای تصفیه‌ای می‌شود. از جمله این کاربردها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- حذف روغن، گریس، فلزات سنگین و بی‌فنیل‌های پلی‌کلره؛
- حذف ترکیبات آلی همچون هیومیک اسید و فولویک اسید؛
- زدودن ترکیبات آروماتیک چند هسته‌ای و چند حلقه‌ای؛
- حذف ترکیبات آلی آب‌گریز و کلردار که به مقدار بسیار کمی در آب حل می‌شوند؛
- حذف رادیو نوکلئوتیدهایی همچون پرتکتات<sup>۱</sup> (تکتات VII) از آب.

نانورس سنتزی

محققان سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی استرالیا<sup>۲</sup> نوعی نانورس سنتزی ارزان (هیدروتالسیت) تولید کرده‌اند. این محققان نشان داده‌اند که هیدروتالسیت می‌تواند آرسنیک را از آب آشامیدنی حذف نماید. این نانورس سنتزی را می‌توان به صورت کیسه‌ای

<sup>۱</sup> PERTECHNETATE

<sup>۲</sup> CSIRO

(شیشه چای کیسه‌ای) به مدت ۱۵ دقیقه درون آب غوطه‌ور ساخته و سپس آب را مصرف کرد. این محصول برای جوامع کم درآمد بسیار مناسب است.

کیسه‌های کوچک مصرف‌شده را می‌توان دوباره به مسئولین هر منطقه فروخت تا مورد بازیافت قرار گرفته و از رهايش آرسنیک تغلیظ شده در طبیعت جلوگیری شود.

جاذب‌ها به طور گسترده به عنوان فیلتر جداکننده در تصفیه آب و برای حذف آلاینده‌های معدنی و آلی از آب آلوده مورد استفاده قرار می‌گیرند. نانوذرات دارای دو ویژگی کلیدی هستند که استفاده از آنها را به عنوان جاذب جاذب می‌سازد. آنها دارای نواحی سطحی بسیار وسیعتری از ذرات توده هستند.

همچنین نانوذرات می‌توانند با گروه‌های شیمیایی مختلف برای افزایش میل به حذف ترکیبات هدف ترکیب شوند. چندین گروه تحقیقاتی در حال جستجو برای تعیین خواص منحصر به فرد نانوذرات به منظور توسعه جاذب‌های با ظرفیت بالا و انتخابی برای یونهای فلزی و آنیون‌ها می‌باشند. لی و همکاران (Li & et al.) (۱۱).

اندازه نانومقیاس یا نانو ساختار مواد رسی مزیت‌هایی در این کاربردها ایجاد می‌کند. نسبت بالای سطح به حجم ( $S/V$ ) این مواد، واکنش‌پذیری نانوذرات با آلاینده‌ها را افزایش می‌دهد. چون بسیاری از اتم‌های این ماده روی سطح نانوذرات یا نزدیک آن قرار دارند، بسیاری از گروه‌های آن در معرض آلاینده‌ها قرار داشته و این ذرات از بار سطحی بالایی برخوردارند. این ویژگی‌ها واکنش نانوذرات رس با مولکول‌ها و یون‌ها هدف را با استفاده از چندین مکانیسم افزایش می‌دهند: تبادل یون، جذب سطحی، واکنش مبادله لیگاند، و ترسیب.

همچنین می‌توان از نانورس طبیعی و تغییر یافته در حذف کودهای نیتروژن دار و فسفردار از آب استفاده کرد، مشکلی که در بسیاری از نقاط جهان وجود دارد.

بررسی‌ها نشان داده‌اند که نانورس در حذف فسفر بسیار خوب عمل می‌کند. به علاوه، این ذرات ارزان بوده و یک تصفیه عاری از مواد شیمیایی را امکان‌پذیر می‌سازند. تجمع نیترات‌ها و فسفات‌ها در سامانه‌های آب آشامیدنی (از طریق فاضلاب یا آب‌های کشاورزی حاوی کود شیمیایی) می‌تواند منجر به پدیده انباشت آب<sup>۱</sup> یا افزایش بسیار زیاد

---

<sup>1</sup> EUTROPHICATION

فیتوپلانکتون‌ها در منابع آبی شود. «شکوفایی» فیتوپلانکتون‌ها منجر به کمبود اکسیژن در آب شده و جمعیت ماهی‌ها و حیوانات آبی دیگر را به شدت کاهش می‌دهد.

انباشت آب اولین بار در دهه ۱۹۶۰ به عنوان یک مشکل در اروپا و آمریکای شمالی شناسایی شد. از آن زمان به بعد این پدیده گسترش بسیار زیادی یافته است. مطالعات نشان می‌دهند در آسیا ۵۴، در اروپا ۵۳ درصد، در آمریکای شمالی ۴۸ درصد، در آمریکای جنوبی ۴۱ درصد و در آفریقا ۲۸ درصد دریاچه‌ها دچار این پدیده هستند.

در نقاط کمتر توسعه‌یافته دنیا که دارای منابع طبیعی رس هستند، علاقه خاصی به نانورس و کامپوزیت‌های نانورسی وجود خواهد داشت.

نانوذرات فتوکاتالیستی

مطالعه بر روی نانوذرات فتوکاتالیستی فراوان، ارزان و با سمیت پایین  $\text{TiO}_2$  و  $\text{ZnO}$  ادامه دارد تا قابلیت آنها در حذف آلاینده‌های آلی از محیط‌های مختلف بررسی شود. به طور خاص نشان داده شده است که نانوذرات  $\text{ZnO}$  می‌توانند به عنوان یک فتوکاتالیزور فنول‌های کلردار را به خوبی تصفیه کنند. محققان در تلاشند تا با تغییر سطح این نانوذرات با مواد رنگی آلی و معدنی پاسخ نوری این ذرات را از نور ماورای بنفش به نور مرئی گسترش دهند. از آنجایی که نور ماورای بنفش تنها ۵ درصد از طیف نوری را تشکیل می‌دهد. این کار می‌تواند کارایی نانوذرات  $\text{ZnO}$  را به عنوان فتوکاتالیزور در رفع آلاینده‌های زیست‌محیطی افزایش دهد. به احتمال زیاد یکی از اولین کاربردهای نانو  $\text{TiO}_2$  در حذف آرسنیک از آب‌های آشامیدنی خواهد بود.

بررسیهای آزمایشگاهی نشان داده‌اند که تبدیل فتوکاتالیستی آرسنیت به آرسنات با استفاده از نانوذرات دی‌اکسیدتیتانیوم با موفقیت همراه است؛ لازم به ذکر است که به دلیل پایین‌تر بودن حلالیت آرسنات در شرایط معمول آب‌های آشامیدنی، جداسازی آن از آب آسان‌تر از جداسازی آرسنیت انجام می‌شود.

با این حال هیچ‌کدام از این دو نوع دی‌اکسیدتیتانیوم (معمولی و نانومقیاس) در مراکز بزرگ تصفیه آب آشامیدنی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند؛ تاکنون این مواد در مراکز پالوت تصفیه آب به کار رفته‌اند که نشان می‌دهد تجاری‌سازی آنها خیلی دور نیست. از نانوذرات همچنین می‌توان در تولید پادزیست‌های عاری از کلر بهره برد.

نانوذراتی که می‌توانند در تصفیه آب به عنوان عوامل ضد میکروبی عمل کنند عبارتند از نانوذرات فلزی و اکسید فلزی (مخصوصاً نقره) و کاتالیزورهای  $\text{TiO}_2$  برای ضد عفونی سازی فتوکاتالیستی. پیشران این بازار نیاز به حذف عوامل بیماری‌زای آبی به خصوص در جوامع در حال توسعه است.

حرکت جهانی به سمت شهرنشینی بدون وجود زیرساخت‌های لازم برای تولید آب آشامیدنی سالم و همچنین ظهور آلاینده‌های جدید و میکروب‌های بیماری‌زای مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها، این مسئله را تشدید می‌کند.

با این حال شیوع بیماری‌های آبی در جوامع توسعه یافته نشان می‌دهد انتقال عوامل بیماری‌زا از طریق آب آشامیدنی همچنین یک مشکل بزرگ است. از نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم همچنین می‌توان در ضد عفونی کردن آب و یا رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی و فاضلاب‌های حاوی آلاینده‌های آلی و معدنی بهره برد. نانوذرات تغییر یافته  $\text{TiO}_2$  توجه محققان را در زمینه خالص سازی پساب جلب کرده‌اند. اگر این ذرات به مرحله تجاری سازی برسند، می‌توانند با بهره‌گیری از تجهیزات موجود و با کمترین دشواری و بار مالی در مراکز تصفیه فاضلاب مورد استفاده قرار بگیرند. همچنین از این نانوذرات می‌توان در تصفیه برخی فاضلاب‌های صنعتی نیز بهره برد. از حوزه‌های صنعتی نوید بخش می‌توان به رنگرزی منسوجات، پالایشگاه‌ها، معادن و چرم‌سازی‌ها اشاره کرد. به علاوه، مطالعاتی روی نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم عامل‌دار برای حذف آنیون‌های رادیواکتیو پرتکتات از آب‌های زیرزمینی انجام شده است. تغییر این ذرات با فلزاتی نجیبی چون طلا فعالیت فتوکاتالیستی آنها را افزایش می‌دهد.

به دلیل نیاز به مقادیر پایین طلا در این نانوذرات، استفاده از آنها در مقیاس وسیع مقرون به صرفه است. برای سال ۲۰۱۰ حجم تولید نانوذرات دی‌اکسید تیتانیوم و ارزش بازار آن به ترتیب ۵۰۰۰ تن و ۱۴۰ میلیون دلار تخمین زده شده است (تولید کلی دی‌اکسید تیتانیوم بیش از ۴/۵ میلیون تن بوده و ارزش بازار آن حدود ۹ میلیارد دلار است). حدود ۶۵ درصد از این مقدار در کرم‌های ضد آفتاب و مواد آرایشی به کار رفته و بیشترین مقدار ۳۵ درصد باقی‌مانده در کاربردهای صنعتی همچون پلاستیک‌ها، کاتالیزورها و سرامیک‌ها به کار رفته است.

## نانوذرات مبتنی بر آهن

بازار نانوذرات مبتنی بر آهن در سال ۲۰۱۰ حدود ۱۸ میلیون دلار بوده و با نرخ رشد ترکیبی سالیانه ۱۹/۶ درصد در حال افزایش است.

در بررسی‌های آزمایشگاهی و میدانی نشان داده شده است که ذرات فلزی نانومقیاس و به خصوص نانوذرات مبتنی بر آهن از قابلیت‌کاهندگی خوبی برای بسیاری از آلاینده‌ها برخوردارند. این ذرات در حذف هیدروکربن‌های مختلف و بسیاری از آلاینده‌های مقاوم دیگر از جمله آنیون‌هایی مثل پرکلرات، نیتрат و دی‌کرومات، فلزات سنگین و رادیونوکلیدها مفید هستند. هزینه پایین، راحتی استفاده و ظرفیت حذف آلاینده‌ها بدون استفاده از مواد شیمیایی از دیگر جذابیت‌های این نانوذرات به شمار می‌رود.

انتظار می‌رود رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی اصلی‌ترین کاربرد بسیاری از نانوذراتی باشد که در مرحله توسعه قرار دارند. تخمین زده می‌شود پاک‌سازی آب‌های زیرزمینی آلوده تنها در آمریکا در ۳۰ سال آینده حدود ۷۵۰ میلیارد دلار هزینه داشته باشد. پیش‌بینی می‌شود استفاده از نانوذرات آهن به همراه ۱/۰ درصد از کاتالیزور پالادیوم حداقل ۱۰۰ میلیارد دلار از این هزینه را کاهش دهد.

نانوذرات مبتنی بر آهن می‌توانند در تصفیه آب‌های زیرزمینی آلوده به حلال‌های سرطان‌زا که از صنایع مختلف و خشک‌شویی‌ها به این منابع آبی نشت می‌کنند، به کار روند؛ این ذرات حلال‌های سرطان‌زا را به ترکیبات هیدروکربنی غیرسمی و کلریدها تبدیل می‌کنند. همچنین می‌توان از این نانوذرات حداقل در تجزیه جزئی اجزای زباله‌های هسته‌ای بهره برد. به علاوه، در تصفیه درجای منابع آبی نیز این ذرات انعطاف‌پذیری بسیار بالایی از خود نشان می‌دهند. می‌توان از آنها در راکتورهای دوغابی در خارج از منابع آبی استفاده کرده و یا اینکه این نانوذرات را به یک بستر جامد مثل کربن یا یک غشاء متصل نموده و تصفیه آب یا فاضلاب را بهبود بخشید.

در تمام دنیا منابع آبی زیرزمینی که نیاز به تصفیه دارند، یافت می‌شوند. یکی از منابع آلودگی که اخیراً شناسایی شده است، مایعات حاوی EDC ها هستند که از مراکز دفن زباله به منابع نفوذ نشت می‌کنند. این مایعات حاوی ترکیباتی هستند که تصفیه آنها با روش‌های معمول بسیار دشوار است.

تحقیقات نشان داده است که استفاده از نانوذرات آهن، نانوفتوکاتالیزورها و نانوذرات پلیمری در تصفیه این آب‌های آلوده نویدبخش است. روش‌های تصفیه‌ای مبتنی بر نانوذرات مختلف به دلیل مصرف انرژی پایین و نشر کم CO<sub>2</sub> راهکارهای تصفیه‌ای پایداری به شمار می‌روند.

## SAMMS

تخمین زده می‌شود بازار مواد سامس در سال ۲۰۱۰ حدود ۱ میلیون دلار بوده و با نرخ رشد ترکیبی سالیانه ۳۲ درصد در حال افزایش باشد. اولین محصول تجاری مبتنی بر سامس که برای حذف جیوه از آب تولید شده است، از سال ۲۰۰۸ در بازار موجود است. بازار هدف اولیه برای این نانوماده تصفیه خروجی دودکش نیروگاه‌های زغال سنگی، صنایع فراوری و مراکز شهری بود. پس از مدت کوتاهی تصفیه آب آشامیدنی نیز جزء کاربردهای این ماده قرار گرفت.

جیوه یکی از شایع‌ترین آلاینده‌های آب در سراسر جهان به شمار می‌رود. در ۵۰ سال گذشته مقدار جیوه در آب‌های مختلف چنان افزایش یافته است که امروزه شاهد وجود غلظت بالایی از این فلز در ماهی‌ها هستیم. در آمریکا از سامس برای حذف جیوه از آب چاه استفاده شده است و کاربرد این ماده در حذف جیوه از زباله‌های اتمی در حال بررسی است. در بسیاری از کشورها استاندارد برای غلظت جیوه در آب وجود دارد.

در آمریکا روش‌های دفع جیوه محدود شده است و با اجرای قانون فدرال جدید که صادرات جیوه به کشورهای دیگر را از اول ژانویه ۲۰۱۳ ممنوع می‌کند، محدودتر خواهد شد. ژاپن، فیلیپین و بخش‌هایی از هند نقاطی هستند که در اثر فعالیت صنایع و یا معدن‌کاری، غلظت بالایی از جیوه وارد آب‌های زیرزمینی شده‌اند. سامس می‌تواند غلظت جیوه در آب را تا زیر ۵ ppm کاهش دهد. چندین نسخه دیگر از سامس در مرحله توسعه قرار دارند. احتمال اینکه برخی از این مواد جدید در طول دوره زمانی مورد بررسی در این گزارش تجاری شوند، وجود دارد. یون‌های سرب، کروم، کادمیوم و آکتینید آلاینده‌های هدفی هستند که می‌توانند با استفاده از محصولات جدید سامس جداسازی شوند. به خصوص انتظار می‌رود ترکیبات سامس که می‌توانند به آرسنیک پیوند یابند، بسیار مفید باشند، زیرا به صورت طبیعی حجم بسیار بالایی از این آلاینده در برخی کشورها وجود



دارد. به عنوان مثال در بنگلادش دهها هزار نفر از آرسنیکوزیس<sup>۱</sup> مزمن می‌میرند، زیرا هیچ منبع آبی دیگری در اختیار ندارند.

### نانوذرات دیگر

نانوذرات دیگری غیر از آنهایی که توضیح داده شدند، در مرحله توسعه قرار دارند و بنابراین هنوز هیچ بازاری برای آنها وجود ندارد. با این فرض که فروش تجاری برخی از این نانومواد تا پایان دوره مورد بررسی آغاز خواهد شد، ارزش ترکیبی ۲ میلیون دلار برای آنها پیش‌بینی می‌شود. همانند پیشرفت‌های دیگر فناوری نانو، این احتمال وجود دارد که برخی از نانوذرات مهندسی‌شده به طبیعت راه یابند. در حال حاضر فاکتورهای ریسک این مواد برای انسان و محیط‌زیست شناخته شده نیستند. به باور برخی محققان احتیاط این است که قبل از استفاده وسیع از این مواد در تصفیه آب، در زمینه سمیت آنها به نتایجی دست یابیم.

### بازار نانو تکنولوژی در مناطق مختلف جهان

آمریکا بر اساس سرمایه‌گذاری روی تحقیقات، تعداد کلی مقالات چاپ شده در مجلات عملی معتبر و مهم، اختراعات درخواست‌شده و ثبت‌شده، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی روی توسعه شرکت‌های جدید و موجود که روی فناوری نانو کار می‌کنند، و میزان فروش محصولات مبتنی بر فناوری نانو، رهبر جهانی تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی این فناوری به شمار می‌رود. با این حال رقبای دیگری همچون چین، کره جنوبی، آلمان و ژاپن به پیشرفت‌های بزرگی در این حوزه‌ها دست یافته‌اند. تخمین می‌شود که سرمایه‌گذاری دولتی در زمینه فناوری نانو در سال ۲۰۰۹ حدود ۹/۸ میلیون دلار بوده باشد؛ این مقدار با نرخ رشد ترکیبی سالیانه ۱۰ تا ۱۵ درصد تا سال ۲۰۱۵ افزایش خواهد یافت.

در مقایسه با سال‌های اخیر که میزان سرمایه‌گذاری با نرخ بالاتری افزایش یافت، کاهش سرمایه‌گذاری نشان‌دهنده تغییر راهبرد صنعت از تحقیقات خالص به سمت تولید محصولات تجاری است.

برای بسیاری از تحقیقاتی که توسط دولت‌ها پشتیبانی مالی می‌شوند، این تغییر ابزاری برای بهبود رفاه ملی و تسریع توسعه اقتصادی به شمار می‌رود.

---

<sup>1</sup> ARSENICOSIS

## چالش‌های پیش‌رو در تصفیه آب توسط نانومواد

مشکل اصلی در استفاده از فناوری نانو برای تصفیه آب، در دسترس بودن تامین‌کنندگانی است که بتوانند مقادیر فراوانی از نانومواد با قیمت مناسب را تامین نمایند. به تازگی گروه فریدونیا<sup>۱</sup> مطالعه‌ای را در مورد صنعت نانومواد انجام داده‌اند. این مطالعه اطلاعاتی مربوط به تقاضا برای نانومواد در ایالات متحده آمریکا برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۳ را ارائه می‌نماید. همچنین شامل پیش‌بینی مقادیر تقاضا برای گروهی از مواد دیگر در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۰ (نظیر اکسیدفلز، خاک‌رس، فلزات، پلیمرها و مواد شیمیایی، نانولوله‌ها، پلیمرهای دندریمر و غیره) و کاربردهایی (نظیر مواد ساینده، پوشش‌ها، فیلم‌های نازک، بیوسایدها، پرکننده‌ها و تقویت‌کننده‌های دارویی، کاتالیست‌ها، مواد ساختمانی و غیره) نیز می‌گردد.

پیش‌بینی‌ها حاکی از این است که اکثر نانومواد در مقیاس نانو به صورت محصولاتی مانند سیلیس، دی‌اکسیدتیتانیم، خاک‌رس، پودر فلزات، پلیمرها و مواد شیمیایی در دهه آینده خواهند بود. مقادیر بیشتری از نانولوله‌های کربنی، کربن طبیعی فولرنز<sup>۲</sup> و پلیمرهای دندریمر نیز در دسترس خواهند بود.

زیرا این نانومواد به مولفه‌های کلیدی نظیر محصولات الکترونیکی، سیستم‌های انتقال مواد، باتری‌ها، سلولهای سوختی و غیره تبدیل خواهند شد (۱۲).

ملاحظات عمومی مورد بحث در انتخاب فرایندهای تصفیه آب عبارتند از:

- کیفیت منبع آب
- کیفیت آب تصفیه شده مورد نیاز
- طرح تولید و اهداف بهره‌برداری
- بهترین فن‌آوری در دسترس و قوانین تصفیه
- دستورالعمل‌های کمیته راهنمایی کننده
- مرحله‌بندی گزینه‌های عملیاتی

---

<sup>1</sup> Freedonia

<sup>2</sup> fullerenes

- دستیابی به قوانین شناخته شده

- متعادل کردن برنامه‌ریزی‌ها برای دستیابی به مقررات آینده

بحث درباره خواص مکانیکی ذرات نانومتری منفرد بسیار دشوار است. زیرا روش‌های اندازه‌گیری این خواص بسیار محدود است و هر کدام از این روش‌ها نیز با مشکلاتی همراه‌اند. بیشتر مطالب منتشر شده در این زمینه حالت نظری دارد و محققان بیشتر از روش‌های شبیه‌سازی استفاده می‌کنند. می‌دانیم که خواص مکانیکی مواد مجموعه‌ای از مشخصات آنهاست که تحت اعمال نیرو مشخص می‌شوند. استحکام، سختی، چقرمگی، انعطاف‌پذیری، چکش‌خواری، مقاومت‌خستگی، خزش و غیره؛ جزو مشخصات مکانیکی موادند که تمام آنها را نمی‌توان برای نانو ذرات اندازه‌گیری کرد. تاکنون غالب پژوهش‌ها در زمینه مطالعه استحکام تسلیم (مقاومت جسم در مقابل آغاز تغییر شکل موسان) و مدول الاستیسیته (مقاومت در برابر تغییر شکل کشسان) نانو ذرات منفرد متمرکز بوده است. البته فعالیت‌های زیادی نیز بر روی لوله‌ها، سیم‌ها و لوله‌های نانومتری انجام شده است. به هر حال باور بر این است که مقاومت ذرات نانومتری با کاهش اندازه آنها افزایش می‌یابد (۱۳).

از آنجا که اندازه، توزیع، مورفولوژی، خلوص و درجه کریستالی بودن نانو ذرات به روش تولید آنها بسیار وابسته است، بنابراین روش فراوری این مواد از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در چند دهه گذشته تکنیک‌های مختلفی برای تولید این ذرات ابداع و توسعه داده شده‌اند. تنوع روش‌های تولید به همراه استفاده از منابع انرژی مختلف، مواد اولیه متفاوت و شرایط فراوری به گونه‌ای است که به سختی می‌توان کلیه فرایندها را با ذکر جزئیات تشریح کرد. با وجود این، بسیاری از این تکنیک‌ها مشابه‌اند. ضمناً دسته‌ای از روش‌ها دارای مزیت‌های ویژه‌ای هستند که کاربرد آنها را گسترده کرده است.

بدیهی است که در تمام این تکنیک‌ها، علم شیمی نقش بسزایی دارد به طوری که با کنترل شرایط فراوری می‌توان موادی با خواص ویژه و دلخواه را تولید کرد. مزیت اصلی این روش‌ها در امکان دستیابی به همگنی شیمیایی بسیار زیاد است، زیرا فراوری شیمیایی مواد موجب همگنی ترکیب شیمیایی در سطح مولکولی می‌شود. البته معایبی نظیر سمی بودن، آلودگی محصول، احتمال به هم چسبیدن ذرات و مشکل تولید در مقیاس بزرگ وجود دارند که با تدابیر ویژه‌ای می‌توان تا حدود زیادی آنها را مرتفع نمود.

از آنجا که تنوع فرایندها بسیار زیاد است، نمی‌توان در قالب یک کتاب تمام روش‌های موجود را مورد مطالعه قرار داد (۱۳).

یکی از ویژگی‌های مهم نانوتکنولوژی، جنبه چند رشته‌ای بودن آن است. مفهوم چند رشته‌ای در نانوتکنولوژی بدان معناست که نیروی کاری نانوتکنولوژی باید دارای بینش وسیعی از مفاهیم زیست‌شناسی، فیزیک، شیمی، اصول مهندسی و کنترل‌فرایند باشد.

با توجه به اهمیت فناوری نانو می‌توان گفت که این تکنولوژی منجر به انقلاب فناوری در هزاره جدید شده و کاربردهای آن پتانسیل عظیمی برای تأثیر در جهان خواهد داشت. به بیانی ساده نانوتکنولوژی تقریباً تمامی جنبه‌های زندگی بشر از کالاهای مصرفی گرفته تا الکترونیک، فناوری اطلاعات، بیوتکنولوژی، صنایع هوا فضا، محیط‌زیست و حتی تمام بخش‌های اقتصادی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. (به نقل از:

<http://www.chimistry.wustl.edu> و

(Zhou w. stud surf sci catal 2000;130 : 525-535) (۱۴).

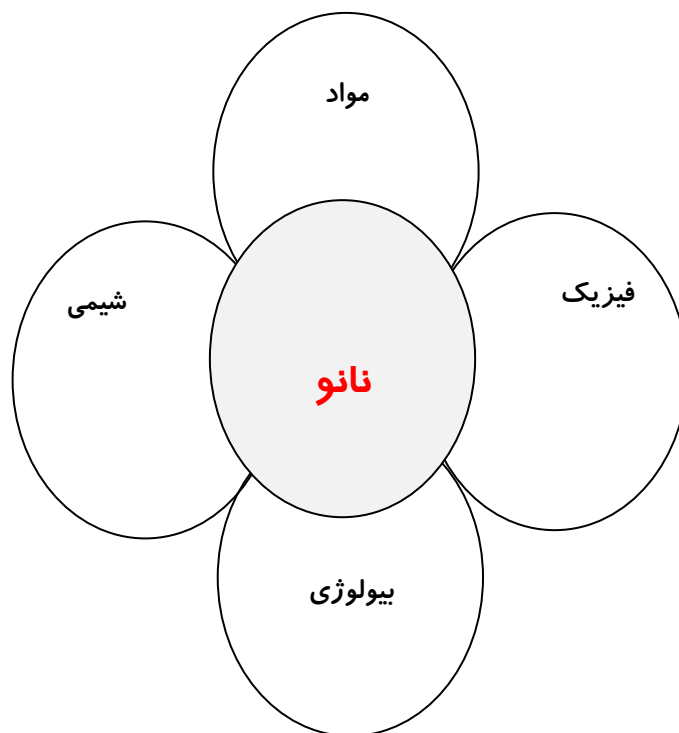
برای فهم خواص و رفتار نانو مواد به درک مقدماتی از فیزیک، شیمی و علم مواد نیاز است. به دلیل آنکه بسیاری از کاربردها با بیولوژی و پزشکی در ارتباطند، به اطلاعاتی در این زمینه‌ها هم نیاز می‌باشد (۱۵).

برای درک بهتری از علم نانو؛ شکل (۲ - ۱) ارتباط نانو را با سایر علوم نمایان می‌کند.

کسب دانش در حیطه‌های مختلف، و انجام آزمایش‌های هدف‌دار، مرزهای دانش را گسترش می‌دهد و این امر می‌تواند راهگشای حل مشکلات باشد.

فیزیک و شیمی بنیادی، هنگامی که ابعاد در یک جامد با یک یا چند تا از این اندازه‌های شاخص، که بسیاری از آنها در حد نانو متر می‌باشند، قابل مقایسه گردد، تغییر می‌کند (۱۶).

خواص ذرات نانومتری را می‌توان در سه گروه فیزیکی، شیمیایی و مکانیکی مطالعه کرد (۱۳).



شکل (۲ - ۱) ارتباط نانو با سایر علوم

(منبع: کتاب نانو مواد؛ مقدمه‌ای بر تولید، خواص و کاربردها)

تولید و ساخت نانو ذرات در محدوده ۱ تا ۱۰۰ نانومتر، علمی جدید و به سرعت در حال رشد است. در زمان حاضر حداقل ۴۴ عنصر جدول تناوبی به صورت تجاری در مقیاس نانو قابل دسترس هستند و انتظار افزایش بیشتر آنها در آینده نزدیک در این زمینه وجود دارد (۱۷).

در مورد زیر بنای نانوفناوری و علوم باید دانست که:

اصولاً خواص مواد به وسیله اثرات جمعی تعداد زیادی از ذرات کنترل می‌شود. دقت کنید که بسیاری از خواص فیزیکی سطح مواد ممکن است کاملاً متفاوت با خواص همان ماده در حالت توده باشد. از آنجا که در این مواد تعداد اتم‌ها و مولکول‌های سطحی در مقایسه با اتم‌های حجم اندک است، بنابراین خواص، کمتر تحت تأثیر ویژگی‌های سطحی قرار می‌گیرد. بر خلاف آن، این نسبت در نانو ذرات به عکس است، یعنی درصد اتم‌های سطحی در مقایسه با حجم بسیار زیاد می‌باشد.

بنابراین تحت این شرایط، همه تعاریف فیزیکی و شیمی کلاسیک در مقیاس نانو؛ قابل تبیین و اعمال نیستند، زیرا ابعاد در مقیاس مولکولی و اتمی قرار دارد. بنابراین در علوم و فناوری نانو، اهمیت برهم کنش شیمیایی میان ذرات در مقایسه با قوانین کلاسیک بسیار بیشتر است.

حوزه‌ها و کاربرد نانو فناوری عبارتند از:

معمولاً از دو روش برای طبقه‌بندی حیطه نانوفناوری استفاده می‌شود:

(۱) بر اساس فناوری یعنی نوع محصول تولیدی

(۲) بر اساس کاربرد یعنی محل مصرف محصولات تولیدی

دسته‌بندی نانوفناوری از جهت کاربردی متداول‌تر است. بر اساس گروه‌های اصلی زیر پیشنهاد شده‌اند:

- ابزار
- مواد
- دستگاه‌ها
- الکترونیک و فناوری اطلاعات
- علوم زیستی
- انرژی و فراآوری مواد

هر کدام از این گروه‌ها نیز، دارای زیر گروه‌های متعددی هستند (۱۳).

تاریخچه کاربرد فرایندهای غشایی به صورت زیر بیان می‌گردد:

سابقه استفاده از صاف‌سازی به اوایل قرن بیستم باز می‌گردد. در دهه سوم قرن بیستم غشاهایی برای جداسازی، خالص‌سازی و یا تغلیظ محلول‌ها؛ بویژه سیال‌های حاوی میکروارگانیسم‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

اولین کاربرد غشاهای میکرو پروس<sup>۱</sup> در دهه ۱۹۲۰ ثبت شده است و تا دهه ۱۹۵۰ در آزمایشگاه به صورت محدود استفاده می‌شد. از آنها عمدتاً برای حذف باکتری‌ها،

---

<sup>۱</sup> Microporous Memberane

میکروارگانسیم‌ها و ذرات از گازها و مایعات، جداسازی و تعیین اندازه اجزاء مولکول‌های بزرگ نظیر پروتئین‌ها و مطالعات پخش و انتشار<sup>۱</sup> به کار می‌رفت.

اداره بهداشت عمومی آمریکا در سال ۱۹۵۷ صاف‌سازی غشایی را به عنوان یک روش برای تشخیص باکتری‌های کلیفرم پذیرفت. اکنون NF اولین فرایند غشایی است که بیشترین کاربرد را بدین منظور دارد. علیرغم این کاربرد فناوری غشایی برای تصفیه آب، هنوز نیاز به تحقیق و مطالعات پایلوتی دارد.

در مورد غشاء و فرایندهای غشایی باید دانست که:

فرایندهای غشایی به شیوه‌های جداسازی فیزیکوشیمیایی املاح مختلف از حلال با استفاده از غشاءهای نیمه تراوا<sup>۲</sup> اطلاق می‌شود.

غشاء عبارتست از لایه نازکی<sup>۳</sup> که دو فاز را از هم جدا می‌نماید و به عنوان یک مانع انتخابی<sup>۴</sup> در انتقال مواد عمل می‌کند. این تعریف در برگیرنده غشاء با نفوذپذیری انتخابی می‌باشد و بیانگر آن است که یک اختلاف پتانسیل شیمیایی بین دو فاز وجود دارد.

باید توجه داشت که غشاء به عنوان یک ماده منفعل، تعریف نمی‌شود بلکه بهتر است به عنوان یک ماده عاملی تعریف شود. به عبارتی اگرچه غشاء بر اساس ساختارشان مشخص می‌شوند. اما عملکردشان بر حسب فلاکس<sup>۵</sup> و گزینش پذیریشان عمدتاً به نوع موادی که در دو فاز وجود دارند و نیروی اعمال شده بستگی دارد. تعریف دیگر غشاء، به ماده‌ای اطلاق می‌گردد که از یک دیواره نازک تشکیل شده است و قادر به ایجاد مقاومت انتخابی در برابر انتقال ترکیبات مختلف یک سیال می‌باشد که با این عمل سبب جداسازی بعضی از مواد محلول یا معلق از سیال می‌گردد.

انواع فرایندهای غشایی بر اساس نیروی محرکه جداسازی عبارتند از:

- فشار

- پتانسیل الکتریکی

---

<sup>1</sup> Diffusion

<sup>2</sup> Semipermeable

<sup>3</sup> Thin Film

<sup>4</sup> Selective Barrier

<sup>5</sup> Flux

- درجه حرارت

- اختلاف غلظت

- ترکیبی از دو یا چند عامل فوق (۱۸).

به دنبال فرایند نیاز به آب آشامیدنی سالم؛ طراحی، ساخت و بهره‌برداری تجهیزات تصفیه آب آغاز می‌گردد.

طراحی اولیه بر اساس اطلاعات و مباحث کیفیت آب، ملاحظات قانونی، نگرانی‌های مصرف‌کنندگان، چالش‌های ساختاری، محدودیت‌های بهره‌برداری، فن‌آوری‌های تصفیه آب، و امکان سنجی اقتصادی صورت می‌گیرد. این موارد همواره با خلاقیت انسان به منظور توسعه طراحی تصفیه‌خانه‌ها به کار گرفته می‌شود. طراحی از طریق فرایندهای ساخت و به کارگیری تجهیزات عملیاتی تصفیه به تأسیسات زیر بنایی تبدیل می‌شود. ملاحظات عمومی توسعه سیستم‌های تصفیه آب شامل موارد زیر می‌باشد:

- انتخاب فرایند

- ایجاد فرایندهای تصفیه آب سطحی و زیرزمینی

- فرایندهای تصفیه مدیریت پسماند

- درجه‌بندی زنجیره فرایندهای تصفیه و تجهیزات کمکی

- اجرای مطالعات پایلوت

مفهوم موانع چندگانه به عنوان یک مفهوم کاربردی در طراحی سیستم‌های تصفیه آب به کار برده می‌شود (۱۷).

ادغام نانومواد با سیستم‌های تصفیه آب موجود از دیگر چالش‌های کلیدی است. فرایندهای غشاء نظیر اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون و اولترافیلتراسیون در حال تبدیل شدن به فن‌آوری‌های تصفیه آب "استاندارد" برای خدمات عمومی و صنعتی هستند زیرا آنها انعطاف‌پذیر، مقیاس‌پذیر و مدولار بوده و بهره‌برداری و نگهداری از آنها نسبتاً آسان است.



فرآیند اولترافیلتراسیون دندریمر افزایشی می‌باشد، عوامل کی لیتی<sup>۱</sup> در ابعاد نانو شاخه‌ای را با غشاءهای اولترافیلتراسیون تجاری موجود ترکیب می‌کند. بنابراین می‌توان آن را به آسانی با سیستم‌های تصفیه آب یا فرایندهای موجود ادغام نمود تا کی لیت شاخه‌ای مناسب و مقرون به صرفه انتخاب و یا تولید شود. با این حال به تحقیقات آزمایشگاهی و آزمایش در مقیاس پایلوت مورد نیاز خواهد بود تا بتوان غشاءهای نانو ساختاری جدید و واکنشی را با سیستم‌های تصفیه آب موجود ادغام نمود.

محققان بر این باورند که نانو جاذب‌های (نانوکریستال‌های معدنی، نانوذرات کربن‌دار و زئولیت‌ها)، نانوذرات فعال ردوکس (آهن صفر ظرفیتی و دوظرفیتی) و نانوذرات فعال زیستی (دی‌اکسید منیزیم و نقره) می‌توانند به آسانی با تصفیه‌خانه‌های آب موجود ادغام شوند. اما چالش بزرگ، توسعه فیلترهای جداکننده و واکنشی قابل قبول‌تر، مقرون به صرفه‌تر و سازگارتر با محیط زیست است که می‌تواند در راکتورهای با بستر چیدمان شده<sup>۲</sup> کامپوزیتی تعبیه شوند و برای تصفیه آب‌های آلوده به مخلوطی از یونهای فلزی، املاح آلی و باکتری‌ها مورد استفاده قرار گیرند.

سرنوشت زیست محیطی و سمی بودن مواد، مسائل مهم در انتخاب مواد برای تصفیه آب هستند. تحقیقات زیادی در مورد سرنوشت زیست محیطی، حمل و نقل و سمی بودن نانومواد انجام نشده است (۱۹ و ۲۰).

همچنین هیچگونه تحقیقات سیستماتیک در مورد ثبات هیدرولیتی، اکسیدان، نوری شیمیایی و بیولوژیکی نانومواد (به عنوان مثال پلیمرهای دندریمر، نانوذرات حاوی کربن، اکسیدهای فلزی، و غیره) در مقالات منتشر نشده است. اندازه‌گیری‌هایی در محیط آزمایشگاهی و محیط طبیعی بر روی میزان سمی بودن و بيو توزیع<sup>۳</sup> نانو مواد انجام شده‌اند (۲۱ و ۲۲) که بر استفاده از پلیمرهای دندریمر به عنوان واکنشگر و حامل دی. ان. ای. (DNA) **transfection reagents** تاکید دارند (۲۳).

این مطالعات پیشنهاد می‌کند که پلیمرهای دندریمر غیرسمی و تجزیه پذیر زیستی می‌تواند از طریق انتخاب حساب شده بلوک‌های ساختمانی پلیمر دندریمر تولید شود. به عبارت دیگر طراحی و تولید نانولوله‌های کربنی سازگار با محیط زیست و کربن طبیعی فولرنز

<sup>1</sup> chelating

<sup>2</sup> Packed-Bed Reactors

<sup>3</sup> biodistribution

بحث برانگیز می‌باشد. فقط تعدادی کمی از مطالعات در مورد سمی بودن نانولوله‌های کربنی سازگار با محیط‌زیست و کربن طبیعی فولرنز منتشر شده است (۲۴ و ۲۵).

این مطالعات نشان می‌دهد که نانولوله‌های کربنی سازگار با محیط‌زیست و کربن طبیعی فولرنز تمایل دارند تا در آب نامحلول و سمی باشند.

با این حال در برخی موارد می‌توان آنها را با چندین گروه دیگر (نظیر هیدروکسیل‌ها، کربوکسیل‌ها، آمین‌ها و غیره) برای افزایش قابلیت انحلال آنها در آب و سازگاری با محیط‌زیست ترکیب کرده و به مواد کاربردی‌تر تبدیل نمود (۲۶).

بنابراین چالش کلیدی در پذیرش نظام‌مند و عمومی استفاده از نانومواد برای تصفیه آب، ویژگی سمی بودن و اثرات زیست‌محیطی ناشناخته آنها می‌باشد. با وجود چالش‌های پیش‌روی صنایع، جدول شماره (۲ - ۱) سهم بازار محصولات نهایی توانمند شده با فناوری نانو را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۲ - ۱) سهم بازار محصولات نهایی توانمند شده با فناوری نانو

(منبع: گزارش دفتر نانو تکنولوژی ریاست جمهوری)

در صد	بخش صنعت
۵۵	مواد و ساخت (که از قطعات نانوفناورانه‌ای همچون روکش‌ها، کامپوزیت‌ها، و قطعات الکترونیکی بهره مند شده‌اند)
۳۲	الکترونیک و فناوری اطلاعات
۱۲	بهداشت و علوم‌زیستی و مخصوصاً سامانه‌های دارورسانی
۱	انرژی و محیط‌زیست (فیلترها و باتری‌های توانمند شده با فناوری نانو)
۱۰۰	مجموع

- در سال ۲۰۱۰ موسسه LUX RESEARCH مقاله‌ای منتشر کرده و در آن رتبه کشورها را در فناوری نانو تعیین کرد. در این مقاله آمده است که «سطوح مختلف حمایت دولتی، علاقه شرکت‌ها و قدرت اقتصادی موجب تسریع و یا ممانعت از کاربرد فناوری نانو

در تصفیه آب ۷۶ توسعه و تجاری‌سازی فناوری نانو می‌شود». پس از بیان این نکته نویسنده با استفاده از میزان فعالیت در حوزه فناوری نانو که نشان‌دهنده مقدار مطلق توسعه فناوری نانو است، و قدرت توسعه فناوری که نشانگر شجاعت تجاری‌سازی فناوری است، به بررسی و رده‌بندی کشورهای مختلف پرداخته است.

میزان فعالیت در حوزه فناوری نانو با استفاده از هشت شاخص مربوط به فناوری نانو محاسبه شده و بر اساس یک مبنای مطلق با یکدیگر مقایسه شدند، به این معنا که کشورهای کوچک‌تر در رده پایین‌تری قرار گرفتند.

این هشت شاخص عبارت بودند از نوآوری‌ها، مراکز، سرمایه‌گذاری دولتی، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی، سرمایه‌خطرپذیر، انتشارات، اختراعات، و شرکت‌های فعال.

قدرت توسعه فناوری که به معنای توانایی یک کشور در ایجاد رشد اقتصادی با بهره‌گیری از نوآوری‌های فناورانه است، با استفاده از ۶ شاخص تعیین شد: ساخت با استفاده از فناوری‌های بالا یا فناوری‌های بالا - متوسط، هزینه تحقیق و توسعه، سرمایه فکری (مالکیت فکری)، نیروی پیشران علم و فناوری، مهاجرت دانش، و زیر ساخت‌ها. کشورها با بهره‌گیری از این چارچوب در ۴ گروه قرار گرفتند:

- کشورهای «غالب»:

این کشورها هم از فعالیت بالا در حوزه فناوری نانو، و هم از قدرت توسعه فناوری خوبی برای تجاری‌سازی این فناوری برخوردارند؛

- کشورهای «برج عاج» (محل دنج و آرام، گوشه خلوت)<sup>۱</sup>:

دارای فعالیت بالایی در حوزه فناوری نانو هستند، اما احتمال اینکه بتوانند با استفاده از این فناوری به توسعه اقتصادی دست یابند پایین است، زیرا قدرت توسعه فناوری پایینی دارند.

---

<sup>1</sup> IVORY TOWER

- کشورهای طاقچه‌ای<sup>۱</sup>:

این کشورها از قدرت توسعه فناوری بالایی برخوردارند، اما توانایی حمایت از فعالیت‌های نانوفناورانه را در سطح بین‌المللی که بسیار رقابتی است، دارا نیستند. شاید این کشورها روی توانایی‌های خود در حوزه‌های خاص متمرکز شوند.

- کشورهای لیگ دسته دو<sup>۲</sup>:

این کشورها نه فعالیت بالایی در حوزه فناوری نانو دارند و نه از قدرت توسعه فناوری خوبی برخوردارند. چنین کشورهایی جایی در توسعه و تجاری‌سازی جهانی فناوری نانو ندارند. بنا بر گفته موسسه LUX RESEARCH آمریکا در سال ۲۰۰۹ از مرز کشورهای برج عاج رد شد. این کشور در زمینه فعالیت‌های مرتبط با فناوری نانو در دنیا پیشرو است، اما قدرت توسعه فناوری آن در حد پایین‌تر از متوسط قرار دارد.

تعداد افرادی که در آمریکا در زمینه علم و فناوری دارای تحصیلات دانشگاهی هستند، کم است و این امر در بلندمدت قدرت توسعه فناوری این کشور را بیش از پیش ضعیف خواهد کرد.

سرانه افراد تحصیل کرده دانشگاهی در آمریکا کمتر از نصف این مقدار در تایوان، کره جنوبی و سنگاپور و کمتر از یک سوم سرانه روسیه است. سطح فعالیت‌های مرتبط با فناوری نانو در ژاپن کمتر از آمریکا است، اما این کشور توانسته است از همین فعالیت کمتر سود بیشتری ببرد، زیرا ژاپن از نظر قدرت توسعه فناوری در بین بهترین کشورهای دنیا قرار دارد. وابستگی ژاپن به توسعه اقتصادی با بهره‌گیری از نوآوری‌های فناورانه بسیار زیاد است؛ صنعت ساخت این کشور حدود ۲۰ درصد از تولید ناخالص ملی GDP<sup>۳</sup> آن را تشکیل می‌دهد که نشان‌دهنده موقعیت خوب ژاپن برای تجاری‌سازی فناوری نانو است. بنابراین مقاله با وجودی که چین فاصله زیادی تا رسیدن به کشورهای غالب دارد، اما توانایی آن به عنوان یک قدرت در حوزه فناوری نانو به سرعت در حال افزایش است. در بسیاری از برنامه‌های ملی چین، تمرکز خاصی روی فناوری نانو وجود دارد و سرمایه‌گذاری دولتی و خصوصی در این حوزه در حال افزایش است.

---

<sup>۱</sup> NICHE

<sup>۲</sup> MINOR LEAGUE

<sup>۳</sup> GROSS DOMESTIC PRODUCT

اکنون بسیاری از شرکت‌های نانوفناورانه چینی به تولید نانومواد عمومی می‌پردازند؛ تحقیقات چینی فناوری‌های اختصاصی کمی که دارای حق مالکیت فکری باشند، تولید کرده‌اند و محصولات کمی نیز بر اساس این فناوری‌ها به بازار عرضه شده است. اعضای اتحادیه اروپا از یک وضعیت ترکیبی برخوردارند.

آلمان یک کشور است، انگلیس جزء کشورهای برج عاج طبقه‌بندی می‌شود، و سوئد و سوئیس کشورهای طاقچه‌ای محسوب می‌شوند. بسیاری از کشورهای اتحادیه اروپا هنوز جزء کشورهای لیگ دسته دو به شمار می‌روند. با وجود سرمایه‌گذاری دولتی زیاد در روسیه، این کشور نیز همچنان در لیگ دسته دو جای می‌گیرد.

از آنجایی که اقتصاد روسیه وابستگی بسیار زیادی به سود حاصل از فروش نفت دارد، به شکلی تاریخی نوآوری‌های مبتنی بر فناوری از اهمیت بالایی برخوردار نیستند. به علاوه، با وجودی که روسیه از محققان و دانشمندان زیادی برخوردار است، اما استفاده موثری از استعداد این افراد به عمل نمی‌آید. بسیاری از افراد تحصیل‌کرده روسیه به کشورهای دیگر مهاجرت کرده‌اند.

علاوه بر عوامل فناورانه‌ای که در بالا توضیح داده شدند، تغییر الگوی موفقیت اقتصادی نیز بر بازار فناوری نانو در سطوح صنعتی، شهری و مصرف‌کننده تأثیر می‌گذارد. با وجودی که آمریکای شمالی و اروپای غربی همچنان بیشترین سهم بازار را به خود اختصاص می‌دهند، صنعتی شدن سریع و افزایش درآمد چین، هند و کشورهای آسیایی دیگر بازار جهانی را با سرعت بالاتری به پیش می‌رانند.

بازارهای نوظهور در سایر نقاط جهان، اقتصاد رو به رشد برزیل، و کشورهای نفت‌خیز خاورمیانه نیز به رشد بازار کمک می‌کنند. جدول شماره (۲ - ۲) سهم هر یک از مناطق جغرافیایی جهان از بازار محصولات تصفیه آب مبتنی بر فناوری نانو در سال ۲۰۱۰ میلادی را نشان می‌دهد.

جدول شماره (۲-۲): سهم هر یک از مناطق جغرافیایی جهان از بازار محصولات تصفیه آب مبتنی بر فناوری نانو / در سال ۲۰۱۰، درصد (منبع: BCC RESEARCH)

ناحیه	درصد
آمریکای شمالی	۳۴
اروپا	۱۶
آسیا و اقیانوسیه	۳۲
خاورمیانه/آفریقا	۱۲
آمریکای لاتین/ منطقه کارائیب	۶
مجموع	۱۰۰

در ادامه به بررسی وضعیت تعدادی از پیشگامان عرصه نانو در دنیا می‌پردازیم:

#### بررسی فناوری نانو در آمریکا:

نوآوری ملی فناوری نانو (NNI) یک برنامه دولتی است که فعالیت‌های تحقیق و توسعه فدرال در زمینه علم، مهندسی و فناوری نانو و تلاش‌های مرتبط با یکدیگر در سازمان‌های مشارکت‌کننده را هماهنگ می‌کند. NNI که در سال ۲۰۰۱ با بودجه اولیه ۵۰۰ میلیون دلار آغاز به کار کرد، طی ده سال بعدی ۱۲ میلیارد دلار به خود اختصاص داده است. امروزه NNI یک نوآوری چند سازمانی شامل ۲۵ آژانس فدرال است که ۱۵ تای آنها در سال مالی ۲۰۱۱ بودجه تحقیق و توسعه نانوفناوری اختصاصی خود را داشتند. این سازمان نقشی اساسی در قرار دادن آمریکا به عنوان پیشرو تحقیق و توسعه و تجاری‌سازی فناوری نانو در دنیا ایفا کرده است. بر اساس گزارش سومین ارزیابی نوآوری ملی نانوفناوری که به رئیس جمهور و کنگره ارائه شده است، آمریکا بر اساس سرمایه‌گذاری روی تحقیق، تعداد کلی مقالات چاپ‌شده در مهمترین مجلات علمی دنیا، اختراعات درخواست‌شده و ثبت‌شده، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی روی شرکت‌های قدیمی یا تازه‌تأسیس که به توسعه فناوری نانو اشتغال دارند، و میزان فروش محصولات مبتنی بر فناوری نانو بی‌شک رهبر جهانی نانوفناوری به شمار می‌رود. تمرکز اصلی NNI در زمان آغاز به کار در سال

۲۰۰۱ متحول کردن توسعه میکرو الکترونیک و فناوری‌های جدید ساخت بود، حوزه‌ای که موفقیت چشمگیری داشته است. از آن زمان در حوزه‌هایی که ۱۰ سال پیش بسیار خام بوده و یا پیش‌بینی نمی‌شدند، فرصت‌های جدیدی ایجاد شده‌اند. برخی از این فرصت‌ها که در درخواست بودجه سال ۲۰۱۱ گنجانده شده‌اند، می‌توانند تا ۱۰ سال بعد NNI را به پیش ببرند و مرکز تمرکز «نوآوری‌های شاخص» باشند. از جمله این حوزه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نانوپزشکی (به عنوان مثال تصویربرداری، تشخیص و درمان)؛
- ذخیره، تولید و تبدیل انرژی؛
- تشخیص آلاینده‌های زیست‌محیطی و پاک‌سازی آنها؛
- نانوکامپوزیت‌های ساختاری و چندکاره؛
- امنیت ملی (مثل تشخیص و پایش عوامل شیمیایی و زیستی)؛
- تولید محصولات مبتنی بر فناوری نانو

تمرکز اصلی این کاربردها روی حوزه انرژی و محیط‌زیست است.

۲۹ درصد از سرمایه‌گذاری‌های فدرال، ۱۴ درصد از سرمایه‌گذاری شرکت‌ها، ۴۱ درصد از سرمایه‌گذاری خطرپذیر، ۲۱ درصد از انتشارات و ۵۹ درصد از اختراعات فناوری نانو به این حوزه‌ها مربوط است.

### بررسی فناوری نانو در کانادا:

موسسه ملی نانوفناوری کانادا (NINT) که در سال ۲۰۰۱ تأسیس شده است، یک موسسه میان رشته‌ای است که به تحقیق در زمینه فیزیک، شیمی، مهندسی، زیست‌شناسی، انفورماتیک و پزشکی اختصاص دارد. این موسسه به عنوان مرکز مشارکت میان انجمن ملی تحقیقات و دانشگاه آلبرتا عمل کرده و هزینه آن به صورت مشترک توسط دولت کانادا، دولت ایالتی آلبرتا و خود دانشگاه تأمین می‌شود. تحقیقات NINT روی هشت حوزه پژوهشی میان رشته‌ای متمرکز است:

- ابزارها و حسگرها؛
- مواد مهندسی شده برای حوزه انرژی؛
- مواد و شیمی سطوح تماس؛
- ابزارهای مقیاس مولکولی؛
- علوم زیستی نانومقیاس؛
- آرایش ابرمولکولی نانومقیاس؛
- میکروسکوپی الکترونی؛
- تئوری و مدل سازی

### بررسی فناوری نانو در چین:

تحقیقات نانوفناوری چین به طور معمول با پیشرفت های جهانی هماهنگ است. در سال های اخیر این کشور به مراحل بالایی از پیشرفت در حوزه هایی همچون نانومواد دست یافته است. تصفیه آب با استفاده از فناوری نانو یک بازار بزرگ و روبه رشد در چین است. امروزه تهیه آب آشامیدنی تمیز و سالم برای مردم یکی از بزرگترین چالش های زیست محیطی و توسعه ای رهبران چین به شمار می رود.

چین با دارا بودن ۲۰ درصد جمعیت جهان، از نظر مجموع منابع آبی در رتبه ۱۰۰ دنیا قرار دارد. آب آشامیدنی برای مصرف انسان تنها بخشی از نیازهای آبی چین را تشکیل می دهد. دولت چین به عنوان جاده پیشرفت و در مسیر چین برای به دست آوردن نقش جهانی مناسب، صنعتی شدن کشور را شاهد است. برای رسیدن به این هدف چین باید منابع آب صنعتی تمیز، پیوسته و مناسبی داشته باشد.

در سال ۲۰۰۵ اداره کل امور دریایی چین یک برنامه برای استفاده از آب دریا آغاز کردند که شامل حمایت دولت مرکزی از نمک زدایی از آب می شد. شاید بخشی از انگیزه اجرای این برنامه ممنوعیت ایجاد چاه و استفاده از آب های زیرزمینی توسط نیروگاه ها در مناطق کم آب بود که در سال ۲۰۰۴ اجرا شد و از آن تاریخ به بعد به صنایع دیگر نیز بسط



یافته است. کمیسیون توسعه و اصلاحات ایالتی چین استفاده از نمک‌زدایی را تحت یازدهمین برنامه ۵ ساله چین (۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱) سرعت بخشیده است.

### بررسی فناوری نانو در هند:

در سال ۲۰۰۷ هند آغاز یک نوآوری نانوفناورانه را با بودجه ۲۵۰ میلیون دلار برای ۵ سال اعلام کرد؛ این بودجه توسط دولت فدرال تأمین شده است. این برنامه شامل تأسیس سه موسسه ملی علوم نانو (دو موسسه در بنگلور و یک موسسه در بمبئی) بود. مشکل اصلی در هند تأمین آب مناسب برای مصارف شهری و صنعتی است. این کشور ۱۶ درصد از جمعیت جهان را در خود جای داده است، در حالی که تنها ۲/۵ درصد از خشکی‌ها و ۴ درصد از منابع آبی دنیا را در اختیار دارد. با افزایش تقاضا، منابع آبی محدود در این کشور به سرعت رو به اتمام است.

حمایت دولتی از نمک‌زدایی در هند بسیار بالاست. هدف نهایی هند تأسیس مراکز نمک‌زدایی از آب در تمام جزایر و نقاط ساحلی این کشور است. پیش‌بینی می‌شود مصرف آب نمک‌زدایی شده در هند سالانه ۱۵ درصد افزایش یابد.

### بررسی فناوری نانو در اندونزی:

در سال ۲۰۰۵ اولین سمینار نانوفناوری در اندونزی برگزار شده که یک آماده‌سازی غیررسمی برای آغاز برنامه‌نوآوری این کشور بود. در سال ۲۰۰۹ با کمک انجمن نانوفناوری اندونزی که نقشه راه فناوری نانو و پیشنهادات مربوط به این فناوری را تهیه می‌کند، یک برنامه نانوفناوری دولتی آغاز شد.

در همان سال دولت اندونزی مبلغ ۲۶ میلیون دلار برای تحقیق و توسعه فناوری نانو تا سال ۲۰۱۰ اختصاص داد. این بودجه برای بیش از ۶۰ پروژه تحقیقاتی نانوفناورانه که روی کاربردهای فناوری نانو در صنعت اختصاص دارند، هزینه می‌شود. سرمایه‌ها، نساجی، صنایع غذایی، انرژی، ارتباطات و فناوری اطلاعات بخش‌های صنعتی اصلی را در این کشور تشکیل می‌دهند.

رشد اقتصادی بالا و شهری‌سازی در این کشور که در دو دهه اخیر تشدید شده است، فشار زیست‌محیطی زیادی بر این کشور وارد کرده است.

## بررسی فناوری نانو در ژاپن:

ژاپن اولین کشور دنیاست که یک برنامه مهم در زمینه نانوفناوری به نام برنامه فناوری اتم را در سال ۱۹۹۲ آغاز کرد.

تا سال ۲۰۰۳ نوآوری ۱۰ ساله ۲۵۰ میلیون دلاری این کشور بزرگ‌ترین سرمایه‌گذاری دولتی در زمینه تحقیق و توسعه فناوری نانو به شمار می‌رفت. دولت ژاپن ابتدا تحت دومین نقشه بنیادی علم و فناوری (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۵) یک سیاست‌گذاری نانوفناورانه برای خود انجام داد. این کشور در سومین نقشه بنیادی، فناوری نانو را به عنوان یکی از چهار اولویت تحقیقاتی خود انتخاب نمود. در کشور ژاپن سیزده وزارتخانه و تعداد زیادی موسسه تحقیقاتی در زمینه توسعه فناوری نانو فعال هستند. انجمن توسعه علمی ژاپن و دانشگاه‌های مختلف این کشور تحت حمایت وزارت آموزش، فرهنگ، ورزش، علم و فناوری در زمینه تحقیقات بنیادی این فناوری مشغول به کار هستند. از سوی دیگر آژانس علم و فناوری ژاپن روی توسعه کاربردهای صنعتی بلندمدت فناوری نانو تمرکز دارد.

موسسه ملی علوم مواد (NIMS) و موسسه فناوری RIKEN نیز روی فن‌آوری‌های عمومی کار می‌کنند. همچنین سازمان توسعه فناوری‌های صنعتی و انرژی‌های نو و موسسه ملی علوم و فناوری‌های پیشرفته (تحت نظارت وزارت اقتصاد، بازرگانی و صنایع) به تحقیق و توسعه فناوری نانو می‌پردازند.

این گروه‌ها با سازمان خصوصی «نوآوری ایجاد کسب و کار نانوفناورانه» همکاری می‌کنند تا بتوانند نانومواد و محصولات مبتنی بر فناوری نانو را از طریق همکاری میان صنعت، دانشگاه و دولت به مرحله تجاری سازی برسانند. با وجود تعهد دولت مبنی بر حمایت از فناوری نانو، بودجه فدرال برای صنعت از سال ۲۰۰۱ تغییر کمی داشته است.

در ژاپن از منظر نیاز به آب سطح بارندگی بسیار بالاست. با این حال به دلیل پراکندگی زمانی و مکانی بارندگی‌ها و تفاوت‌های توپوگرافی مشخص، این کشور به صورت مکرر کمبود آب را تجربه می‌کند.

خشکسالی‌های شدید نیز این وضعیت را تشدید می‌کند. حجم آب تولیدشده با استفاده از مراکز نمک‌زدایی نصب شده توسط ژاپن ۱/۳ میلیارد متر مکعب در روز است که در رده نهم دنیا قرار دارد. این کشور دارای صنعت نمک‌زدایی پیشرفته‌ای بوده و تخصص خود را به تمام دنیا صادر می‌کند.

تولیدکنندگان ژاپنی غشاها (TOYOBO و NITTO DENKO, TORAY) بازیگران اصلی بازار هستند. ظرفیت نمک‌زدایی نصب شده در این کشور برای تأمین نیازهای خود نزدیک ۱۳۵۰۰۰۰ متر مکعب است.

ژاپن اخیراً یک بودجه ۳۳ میلیون دلاری برای پروژه تحقیقاتی «سامانه‌های آب<sup>۱</sup>» اختصاص داده است که هدف از آن کاهش هزینه نصب مراکز نمک‌زدایی بزرگ (با ظرفیت بیش از یک میلیون متر مکعب آب در روز) تا ۵۰ درصد است.

فعالیت‌های نانوفناورانه همان‌گونه که در بررسی کشورها بیان شد، فعالیت‌های نانوفناورانه در این منطقه از کشوری به کشور دیگر متفاوت است. اما احتمال تجاری‌سازی محصولات نانوفناورانه برای تصفیه آب در کشورهای ژاپن، چین و هند بیشتر از سایر کشورهاست.

در جدول شماره (۲ - ۳) میزان اختراعات ثبت شده با استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب در بازه زمانی پنج ساله بین سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ میلادی درج شده است.

جدول شماره (۲ - ۳): اختراعات ثبت شده (PATENTS) با استفاده از فناوری نانو در تصفیه آب

در سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ م

سال (میلادی)	تعداد
۲۰۰۵	۶
۲۰۰۶	۱۰
۲۰۰۷	۱۶
۲۰۰۸	۱۷
۲۰۰۹	۲۴
۲۰۱۰	۲۶
مجموع	۹۹

<sup>۱</sup> MEGA-TON

## بررسی فناوری نانو در جمهوری اسلامی ایران:

ایران در سال ۲۰۰۹ از نظر تعداد مقالات مرتبط با فناوری نانو در رده ۱۵ دنیا قرار داشت. بیشتر این مقالات در حوزه نانوذرات، نانوکامپوزیت‌ها، نانوبلورها و نانولوله‌ها منتشر شده‌اند.

دانشگاه تهران، دانشگاه شریف، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه کاشان، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشگاه بوعلی سینا، دانشگاه صنعتی اصفهان و مرکز تحقیقات مواد و انرژی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر فعال‌ترین مراکز ایران از نظر تولید مقاله بودند. در ایران بیش از ۴۰ شرکت دارای محصولات تجاری مبتنی بر فناوری نانو هستند. یکی از این شرکت‌ها آوین پالایش‌نیرو است که در زمینه تجهیزات خالص‌سازی آب با استفاده از نانوفیلتراسیون کار می‌کند. محققان ایرانی در چندین پروژه مشترک با محققان الجزایری در زمینه کاربردهای زیست‌محیطی و مدیریت آب درگیر هستند. بخش عمده این تحقیقات هنوز اجرایی نشده‌اند که تا حدی به دلیل کمبود منابع مالی است. اتحادیه اروپا خالص‌سازی و ضدعفونی کردن آب را به عنوان حوزه همکاری‌های تحقیقاتی اولویت‌دار با محققان اروپایی در آینده پیشنهاد داده است.

از سال ۲۰۰۵ خالص‌سازی آب جزء اولویت‌های نوآوری ملی ۱۰ ساله نانوفناوری ایران قرار داشته است. با این حال تحلیل اخیری که در ارزیابی این برنامه صورت گرفته است نشان می‌دهد بسیاری از حوزه‌های علم و فناوری نانو، از جمله تصفیه آب مورد غفلت قرار گرفته‌اند (۲۶).

در بررسی‌های صورت‌گرفته با موضوع «تصفیه پساب صنایع با استفاده از نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی» در سایت ایران داک، اقدامی ثبت نشده است.

در مواردی از فعالیت‌های صورت‌گرفته در دنیا که از رس و نانورس به عنوان تصفیه‌گر استفاده شده است به صورت پراکنده برای رفع یک آلاینده خاص یا به صورت ترکیبی از رس و نانورس با مواد و یا پلیمر و یا نانو پارتیکل‌های دیگری برای افزایش راندمان آن مواد یا نانو پارتیکل‌ها استفاده شده است.

حال ضرورت دارد برای پیشرفت کشور و بهره‌گیری از این زمینه‌های نوظهور علمی و ارتقای نانو فن‌آوری در ایران و همچنین مقابله با بحران‌های آب؛ اقداماتی در راستای رفع نیازها صورت پذیرد.

## **فصل سوم**

### **مواد و روش اجرای تحقیق**

### **فصل ۳) مواد و روش اجرایی تحقیق**

طرح پژوهشی تصفیه پساب صنایع با استفاده از نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی، یک تحقیق توسعه‌ای کاربردی می‌باشد که جهت بررسی آن نیاز به انجام فرایندهای آزمایشگاهی می‌باشد.

روشها و فنون اجرایی این طرح به صورت زیر است.

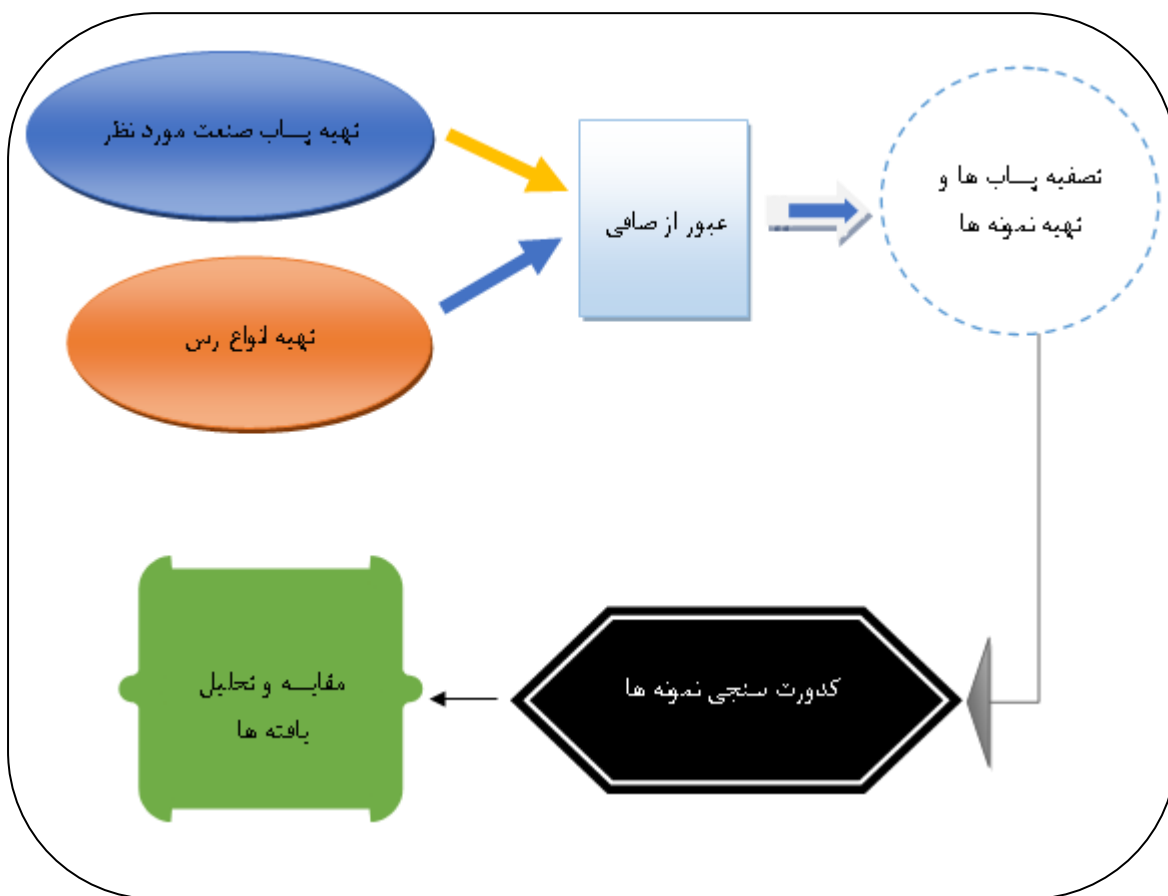
- بررسی تئوری طرح و مطالعه میدانی
- طراحی و ساخت دستگاه و شرایط انجام آزمایشات لازم
- تهیه پساب صنایع مورد نظر
- تهیه نانو رس و خاک رس طبیعی
- انجام آزمایشات لازم و به دست آوردن نتایج تجربی
- بحث و نتیجه‌گیری کلی
- تهیه و ارائه گزارش

### **(۳-۱) طرحواره تحقیق**

اقدامات انجام شده در تصفیه پساب به صورت طرح اولیه، برنامه‌ریزی و تهیه شد.

در این طرحواره تهیه نانو ذرات و پساب صنایع از مقدمات کار می‌باشند و با تهیه سیستم تصفیه و عبور پساب از آنها، عمل کدورت‌زایی صورت می‌پذیرد.

طرحواره تحقیق در شکل شماره (۳ - ۱) بیان شده است.



شکل شماره (۳ - ۱) نمای طرحواره تحقیق

### (۲-۳) ملزومات طرح پژوهشی

در اجرای هر برنامه پژوهشی نیازمند امکانات و تجهیزاتی هستیم. این تحقیق نیز برای به ثمر رسیدن، به مواد و لوازمی نیاز دارد که جدول شماره (۳ - ۱) فهرست مواد اولیه و لوازم عمده مصرفی مورد نیاز در طرح را بیان می‌کند:

جدول شماره (۳ - ۱) فهرست مواد اولیه و لوازم عمده مصرفی مورد نیاز در طرح

۵۰۰۰۰۰	جمع کل	اعتبار مورد نیاز	
		ارزی	ریال
۵۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰		۱۰۰۰۰۰۰
۵۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰۰		۳۰۰۰۰۰۰
۵۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰۰		۱۰۰۰۰۰۰
حداقل ۴ صنعت	یک دستگاه با ۳ صافی		
۲ - ۳	۲ - ۲		
۳	۲		
جمهوری اسلامی ایران	جمهوری اسلامی ایران		
صنایع لرستان	جوشکاران فنی		
پساب صنایع	سیستم تصفیه آزمایشگاهی		
۶	۲		

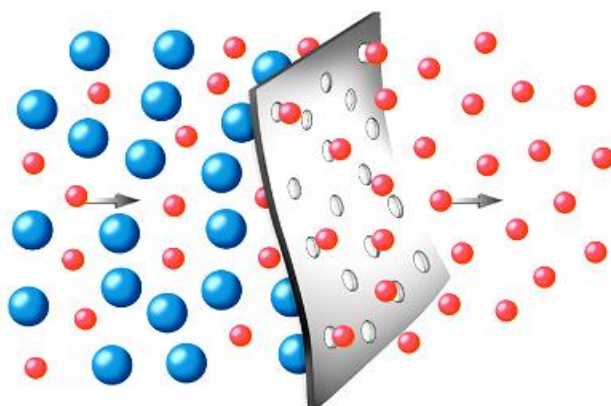


### (۳-۳) نانو فیلتراسیون و سنجش کدورت پساب‌ها

نانو فیلتراسیون:

غشاهای NF دارای منافذ با اندازه کوچکتر از ۲ نانومتر (میکروپور)<sup>۱</sup> می‌باشند و قابلیت حذف مواد با اندازه ۰/۰۱ تا ۰/۰۰۱ میکرون را دارند و مکانیسم جداسازی آنها غربال‌شدن، پخش محلول و رانش می‌باشد (۱۸).

در شکل (۳-۲) نمایی از عمل تصفیه توسط نانو فیلترها نشان داده شده است



شکل (۳-۲) نمایی از عمل تصفیه توسط نانو فیلترها

عبور مواد از صافی‌ها، یک نوع جداسازی محسوب می‌شود. زیرا ذرات و مواد کوچکتر از منافذ صافی، فرایند عبور را انجام داده و مواد درشت‌تر از منافذ صافی، اجازه عبور نمی‌یابند.

در این پژوهش با تعبیه تعداد ۱۵ عدد سوراخ ریز هم اندازه در قسمت قرارگیری رس‌ها و همچنین استفاده از صافی پارچه‌ای در زیر رس‌های قرار داده شده در محل ایجاد بستر صافی، زمینه عبور ذرات ریزتر از منافذ ایجاد شده و ذرات کلوئیدی و سایر عوامل ایجاد کننده کدورت را تا حدودی متناسب با اندازه نانو ذرات رس، از پساب‌ها جدا نموده‌ایم. پساب‌های مورد استفاده در این پژوهش، از چهار شرکت منتخب با دریافت معرفی‌نامه از سازمان محیط‌زیست و در استان لرستان، تهیه شده است. جهت آشنایی مختصر با محل‌های تهیه نمونه‌های پساب از جدول (۳-۲) بهره برداری شده است.

<sup>1</sup> MICROPORES

جدول (۳ - ۲) مشخصات محل‌های تهیه پساب‌ها

جهت کسب اطلاعاتی در زمینه خصوصیات پساب‌های تهیه شده از جدول (۳ - ۳) استفاده می‌نمائیم:

مشخصات محل‌های تهیه پساب، جهت اندازه‌گیری میزان کدورت و عبور از صافی‌های رسی				
ردیف	نام	تاسیس (شمسی)	موقعیت	ملاحظات
۱	مجمع پرورش طیور و کشتارگاه فدک	۱۳۷۰	خرم آباد - سراب یاس، جاده جنوب شرقی خرم آباد، کیلومتر ۱ / ۵	پرورش و کشتار مرغ گوشتی، صورت می‌پذیرد.
۲	شرکت رنگ خرم	۱۳۷۰	خرم آباد - سراب یاس، جاده جنوب شرقی خرم آباد، کیلومتر ۱	تولید انواع رنگ ساختمانی و صنعتی، صورت می‌پذیرد.
۳	شرکت فدک لبن	۱۳۸۵	خرم آباد - کیلومتر ۳ جاده کوه‌دشت - منطقه گیلوران	ظرفیت اسمی تولید در حال حاضر ۲۵ هزار تن در سال می‌باشد و محصولات آن با نام تجاری میشهان به بازار عرضه می‌گردد.
۴	نساجی بروجرد	۱۳۶۱	بروجرد - دو راهی خرم آباد - اراک، ابتدای جاده کمربندی - کارخانجات نساجی بروجرد	تولید نخ و پارچه، صورت می‌پذیرد.
نکته: واحدهای فوق، با هماهنگی و معرفی مرکز تحقیقات زیست محیطی لرستان انتخاب شده‌اند.				

جدول (۳ - ۳) ویژگی پساب‌های تهیه شده،

ویژگی‌های پساب‌های تهیه شده، جهت اندازه‌گیری میزان کدورت و عبور از صافی‌های رسی								
ملاحظات	سیستم تصفیه موجود در محل تولید پساب	COD	BOD <sub>5</sub>	دمای پساب خروجی (سلسیوس)		رنگ پساب	نام محل تهیه پساب	ردیف
				دمای محیط	دمای پساب			
محتویات: ریزه پر، خون، و احشاء	چاه جذبی با بستر شن	۲۸۰ - ۳۰۰	۳۳۰ - ۳۵۰	۳۰	۵۵ - ۶۵	قرمز متمایل به تیره	مجتمع پرورش طیور و کشتارگاه	۱
سری تولید مربوط به رنگ سفید	چاه جذبی با بستر شن	۱۸۰۰ - ۱۸۵۰	۷۵۰ - ۸۰۰	۳۵	۳۲ - ۳۸	سفید شیری	شرکت رنگ خرم	۲
پساب بعد از تولید پنیر	چاه جذبی با بستر شن	۶۰ - ۹۰	۱۰۰ - ۱۳۰	۳۳	۳۲ - ۳۷	سفید شیری رنگ	شرکت فدک لبن	۳
سری تولید پارچه‌های رنگی	سیستم تصفیه بتنی و پکیج‌های فلزی با فرایندهای فیزیکی و شیمیایی	۷۵۰ - ۸۰۰	۱۰۰ - ۱۵۰	۳۶	۲۲ - ۵۰	بنفش متمایل به تیره	نساجی بروجرد	۴
زمان انجام نمونه برداری در ماه تیر می باشد، و اطلاعات بیان شده مربوط به این ماه است.								

در این پژوهش به بررسی شاخص‌هایی از پساب‌ها پرداخته‌ایم که یکی از آنها شاخص کدورت<sup>۱</sup> است.

در تعریف شاخص کدورت داریم:

ذرات ریز معلق در آب با معیارهایی چون کدورت و مواد خیلی ریز کلوئیدی با واحد رنگ تعریف می‌شوند.

کدورت در استاندارد چنین تعریف می‌شود: «یک خاصیت فیزیکی نمونه مایع که باعث می‌شود نور تابیده شده به نمونه به جای عبور مستقیم، متفرق و یا جذب شود.»

در آب بدون کدورت، نور تابیده شده، نه متفرق و نه جذب می‌شود. اما در آب کدر، قسمتی از نور تابیده شده متفرق و یا جذب می‌شود. بنابراین برای اندازه‌گیری کدورت، نیاز به یک منبع نور و دستگاهی برای اندازه‌گیری نور متفرق و یا جذب شده است که به آن اسپکتروفتومتر گویند.

در ابتدا شخصی به نام جکسون با استفاده از شمع استاندارد، درجه کدورت را مشخص کرد. از این رو یکی از واحدهای کدورت، واحد کدورت جکسون (JTU) است که معرف نور متفرق و جذب شده از نمونه است.

امروزه بیشتر از واحد (NTU) استفاده می‌کنند. در واقع JTU معرف نور متفرق و جذب شده از نمونه است که البته یک واحد استاندارد قدیمی است ولی واحد NTU معرف فقط نور متفرق شده است. این دو واحد کدورت رابطه‌ای با هم ندارند.

یکی دیگر از واحدهای معمول سنجش کدورت FTU است که معرف واحد کدورت فرمازین بوده و بیشتر برای استاندارد سازی و کالیبراسیون کدورت‌سنج‌ها به کار می‌رود که باید حتی هفتگی انجام گردد، هر چند که اغلب غفلت می‌شود.

بعضی از نارسایی‌های کدورت‌سنجی عبارتند از:

➤ کدورت‌سنج نمی‌تواند وجود بعضی از ذرات کلوئیدی چون کربن فعال را تشخیص دهد، زیرا کربن فعال نمی‌تواند نور را منعکس کند.

---

<sup>1</sup>TURBIDITY

➤ کدورت سنج نمی‌تواند مواد آلی یا بیولوژیکی که ضریب شکست مساوی با آب دارند را تشخیص دهد.

➤ کدورت سنج نمی‌تواند اندازه و یا نوع ذرات کلوئیدی را تشخیص دهد.

➤ ذرات رنگی چون نور را جذب می‌کنند، بنابراین نور کمتری به آشکار ساز می‌رسد و در نتیجه کدورت کمتری را نشان می‌دهد.

➤ حباب‌های موجود در نمونه، باعث خطای اندازه گیری می‌شوند.

حد بالای کدورت برای آب خام قابل قبول تصفیه‌خانه‌های آب شرب ۲۰۰۰ NTU است و اگر کدورت بیشتر باشد آخرین چاره برای حفاظت از واحدهای مختلف، تعطیلی تصفیه‌خانه است. حد مجاز کدورت آب شرب نباید از پنج بیشتر باشد هر چند که حد مطلوب آن حداکثر یک است.

هم کدورت (NTU) که معرف تفرق نور است و هم غلظت ذرات معلق (TSS) که معرف وزن ذرات معلق در واحد حجم است، بستگی به تعداد ذرات معلق دارند.

رابطه بین کدورت و غلظت ذرات معلق آب و یا فاضلاب بستگی به نوع نمونه دارد

یکی دیگر از شاخص‌های فاضلاب، شاخص رنگ است.

اصطلاح رنگ در واقع به رنگ باقیمانده در آب پس از حذف کدورت اطلاق می‌شود، هر چند که اصطلاح رنگ ظاهری به رنگ آب قبل از فیلتراسیون گفته می‌شود.

رنگ آب بیشتر ناشی از مواد آلی طبیعی (NOM) است.

برای اندازه‌گیری رنگ آب یا پساب، روش ساده استفاده از دستگاه رنگ‌سنجی مقایسه‌ای است.

در روش دقیق‌تر کالری‌متری، از مقایسه از مقیاس رنگ‌نمونه با رنگ استاندارد یک نمک کمپلکس پلاتین و کبالت استفاده می‌شود که به آن CU یا واحد رنگ می‌گویند.

برخی از نکات مورد توجه در رنگ‌سنجی عبارتند از:

➤ با روش نوری می‌توان غلظت ذرات معلق در آب و فاضلاب را به صورت برخط اندازه‌گیری کرد. البته این روش محدود به محدوده‌ی غلظت‌های بالاست و تا اندازه‌ای به رنگ و حباب‌های داخل مایع بستگی دارد.

➤ با استفاده از امواج ماورای صوت در فاضلاب‌ها غلظت ذرات معلق را اندازه‌گیری و معین می‌کنند. در این روش دقت اندازه‌گیری به رنگ مایع بستگی ندارد ولی تا اندازه‌ای به غلظت املاح آب و نیز خیلی زیاد به تعداد حباب‌ها بستگی دارد (پنجاه تا هشتاد درصد اشتباه در اندازه‌گیری ذرات معلق، ناشی از حباب‌های گازی است).

➤ با استفاده از امواج ماکروویو می‌توان دانسیته‌ی فاضلاب‌ها را اندازه‌گیری کرد که این روش به رنگ فاضلاب بستگی نداشته ولی به حجم ذرات بستگی دارد.

➤ استفاده از امواج مادون‌قرمز باعث می‌شود که حساسیت روش نسبت به رنگ کاهش یابد (۲۷).

یکی دیگر از شاخص‌های مورد بررسی در پساب‌ها، شفافیت<sup>۱</sup> می‌باشد.

کیفیت فیزیکی آب (ظاهر، وضوح و شفافیت) می‌باشد که به وسیله تست‌های بینایی مشخص می‌شد (۲۸).

از بین شاخص‌های پیشگفت و با هماهنگی آزمایشگاه محیط زیست لرستان، امکان کدورت‌سنجی میسر گردید و لذا نمونه‌های تهیه‌شده با دستگاه کدورت‌سنج، اندازه‌گیری شده و برای بررسی و تحلیل آماری، داده‌ها در برنامه SPSS ver 17.0 مورد بررسی قرار گرفت. سپس آزمون آماری F برای مقایسه نتایج سنجش کدورت (به صورت اعداد نرمال و بر حسب درصد کدورت‌زایی) جهت تعیین وضعیت اثبات فرضیه تحقیق، انجام شد.

در این تحقیق استفاده از یک سیستم تصفیه متناسب با اهداف تعیین شده، باعث شد که طراحی اولیه صورت گرفته و سیستم تصفیه‌ای ساخته شود. شکل (۳ - ۳) تصویر سیستم تصفیه تهیه شده را نمایش می‌دهد.

---

<sup>1</sup>CLARITY



شکل (۳-۳) تصویر سیستم تصفیه تهیه شده جهت تصفیه پساب‌ها

### (۴-۳) مشخصات سیستم تصفیه

مشخصات سیستم تصفیه به کار رفته در این پژوهش عبارت است از اینکه:

دستگاه تصفیه ساخته شده به ارتفاع ۵۰ سانتی متر و با قرارگیری سه محفظه جهت پالایش پساب‌ها (شکل ۳-۳) ایجاد شده است.

این سیستم دارای قسمت‌های قابل تنظیم جهت نگهدارنده ظروف خروجی پساب‌ها (شکل ۴-۳)، پس از عمل تصفیه و قسمت متحرک و قابل تنظیم (شکل ۳-۵) می‌باشد.



(شکل ۳-۴) تصویر قسمت نگهدارنده ظروف در سیستم تصفیه پساب

نحوه عملکرد سیستم می تواند به دو صورت باشد:

- اگر در قسمت صافی های سیستم یک نوع رس ریخته شود، می تواند بررسی کارایی سیستم را برای سه نوع پساب انجام دهد.
- اگر در هر قسمت صافی نوعی مختلف از رس ریخته شود می توان همزمان یک نوع پساب را مورد بررسی قرار داد.



(شکل ۳-۵) تصویر قسمت متحرک و قابل تنظیم سیستم تصفیه پساب



### (۳-۵) مشخصات نانورس استفاده شده در سیستم تصفیه

معرفی نوع رس به کار رفته در این پژوهش، حاوی اطلاعات مفیدی است، زیرا رس موجود در طبیعت دارای انواع متفاوتی است و انجام این تحقیق با انواع دیگر، امکان کسب نتایج دیگری را ایجاد می‌نماید. رس به کار گرفته شده در این پژوهش دارای هویت زیر است:

مشخصات نانو بتونیت: مونتمریلونیت نانو کلویسیت 30B:

ضخامت صفحات نانو رس: 1 - 5 نانومتر

برای سایر ابعاد ذرات رس نیز از این نوع کانی رسی، استفاده شده است.

### (۳-۶) روش کار در سیستم تصفیه مورد آزمایش

با توجه به سیستم پایلوت تهیه شده (محفظه‌هایی با ظرفیت پالایش نیم لیتر) و حجم پساب تهیه شده (۲۰ لیتر از هر نوع پساب) برای این تحقیق، و ایجاد تعداد ۱۵ سوراخ ریز هم‌اندازه، عمل عبور پساب از صافی‌ها انجام می‌گیرد. در این تحقیق سرعت عبور پساب از هر نوع صافی با توجه به نوع پساب و ابعاد رس موجود در صافی رسی به کار گرفته شده در هر محفظه، متفاوت است.

محفظه بستر رس‌ها، استوانه‌ای شکل و با ابعاد؛ قطر ۵ و ارتفاع ۵ سانتی متر از سائزبندی‌های متفاوت رس (نانو، میکرو، میلی، و معمولی) پر شده است.

پساب‌ها به ترتیب و به وسیله قیف، در قسمت مرکزی سطح استوانه‌ای شکل بستر صافی ایجاد شده، تزریق می‌شوند و با دقت فراوان، در تشکیل حباب و یا ایجاد مسیر انحرافی برای عبور پساب از بستر صافی‌ها جلوگیری می‌گردد.

هر بار مقدار نیم لیتر از پساب‌های تهیه شده به سیستم تزریق می‌گردد.

با تعبیه ۱۵ سوراخ ریز ذکر شده در این سیستم، عمل فیلتراسیون در فیلترها، زمان‌های متفاوتی را نشان می‌دهد.

به طور میانگین؛ در صافی نانو ۵ دقیقه، صافی میکرو ۴ دقیقه، صافی معمولی ۳ دقیقه و صافی میلی ۲ دقیقه، عمل فیلتراسیون انجام می‌شود.

وجود ذرات و مواد جامد در پساب‌ها، در افزایش زمان عبور پساب از بستر صافی‌ها، موثر است، چون باعث گرفتگی منافذ و مسیرهای عبور پساب از تخلخل موجود در بین ذرات رس، خواهد شد.

با تغییر در تعداد سوراخ‌های ریز و همچنین تغییر در گستردگی بستر صافی‌ها، می‌توان زمان عبور پساب از صافی‌ها و همچنین میزان حجم پساب مورد تصفیه را کنترل نمود.

### ۳-۷) زمان بندی

زمان عامل مهمی برای اجرای طرح‌های پژوهشی می‌باشد. برخی از پژوهش‌ها می‌بایست در یک زمان خاص یا در یک فصل خاصی از سال انجام بگیرند. برخی از پژوهش‌ها نیز برای به ثمر رسیدن بیش از زمان مورد نظر به وقت نیازمند هستند. این طرح نیز برای اجرا و به ثمر رسیدن مستلزم زمان می‌باشد.

ترکیبات پساب تولیدی در برخی از صنایع با عامل زمان در حال تغییرات فراوانی است.

در این پژوهش؛ با هماهنگی‌های انجام شده، نمونه برداری پساب‌ها در ماه تیر سال ۱۳۹۵ صورت گرفته است و تا شهریور ماه ۱۳۹۵، مراحل تصفیه و سنجش کدورت و بحث و نتیجه گیری، انجام شده است.

با توجه به اهمیت عامل زمان در آزمایشات، جدول شماره (۳-۴) زمان‌بندی اجرای این پژوهش را به تفصیل بیان می‌نماید.

جدول شماره ( ۳ - ۴ ) مراحل اجرا و زمان بندی طرح (زمان بر حسب ماه)

مراحل اجرا	میزان اعتبار (ریال)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
مطالعه و بررسی	۸۵۰۰۰۰۰	→											
ساخت سیستم تصفیه و تهیه نانو ذرات و خاک رس طبیعی	۵۰۰۰۰۰۰		→										
تهیه پساب صنایع	۱۲۰۰۰۰۰		→										
انجام آزمایشات	۲۷۰۵۰۰۰			→									
بحث و نتیجه گیری	-				→								
تنظیم گزارش	۳۰۰۰۰۰۰				→	→							

همانطور که در جدول فوق مشاهده می گردد ، مراحل زمان بندی انجام این تحقیق، به تفکیک بیان شده است. بدین صورت که، پس از تصویب پروپوزال در ماه بهمن سال ۱۳۹۴ ، تلاش برای اجرای پژوهش، آغاز گردید.

این تلاش با مطالعات و ترجمه متون خارجی؛ در راستای یافتن بستری از تحقیقات گذشته و آشنایی بیشتر با فرایندهای تصفیه و همچنین نانوفیلتراسیون و فرایندهای نانو صورت گرفت.

با آغاز سال ۱۳۹۵ و یافتن آگاهی لازم برای اجرای پروژه، اقدام برای تهیه مواد لازم صورت یافته و در تیر ماه ۱۳۹۵ و در طی هماهنگی صورت گرفته با اداره محیط زیست لرستان (محل سکونت محقق)، نمونه گیری از پساب شرکتهای منتخب، انجام شد و پس از کدورت سنجی، داده ها مورد تحلیل و تجزیه قرار گرفت.

### ۳-۸) هزینه‌ها

برای انجام پژوهش و تحقیق علمی علاوه بر وقت لازم، صرف هزینه مادی نیز ضرورت دارد. برخی از هزینه‌ها به صورت مشهود می‌باشند و برخی نامعلوم.

هزینه‌های مشهود انجام این طرح در جدول شماره (۳-۵) بیان شده است:

جدول شماره (۳-۵) هزینه‌های طرح

جمع	سال جاری (۱۳۹۵)		سال قبل (۱۳۹۴)		نیازهای اجرایی طرح
	ارزی	ریالی	ارزی	ریالی	
۱۰۰۰۰۰۰	-	۱۰۰۰۰۰۰	-	-	۱- ماشین‌آلات و تجهیزات
۴۰۰۰۰۰۰	-	۴۰۰۰۰۰۰	-	-	۲- مواد اولیه
-	-	-	-	-	۳- پرسنلی
۵۰۰۰۰۰۰	-	۵۰۰۰۰۰۰	-	-	
۲۲۰۵۰۰۰	-	۲۲۰۵۰۰۰	-	-	۴- خدمات قراردادی
۳۰۰۰۰۰۰	-	۳۰۰۰۰۰۰	-	-	۵- چاپ و تکثیر
۱۲۰۰۰۰۰	-	۱۲۰۰۰۰۰	-	-	۶- حمل و نقل و مسافرت
۸۵۰۰۰۰۰	-	۷۵۰۰۰۰۰	-	۱۰۰۰۰۰۰	۷- کتب و نشریات
-	-	-	-	-	۸- محل اجرای طرح
-	-	-	-	-	۹- سایر
-	-	-	-	-	۱۰- پشتیبانی (بالاسری)
۲۰۴۰۵۰۰۰	-	۱۹۴۰۵۰۰	-	۱۰۰۰۰۰۰	جمع اعتبارات

با استفاده از تحقیقات صورت گرفته پیش‌گفت در زمینه فن‌آوریهای متعدد نانو، در این پژوهش با استفاده از صنعت نانو تکنولوژی و سنجش کارایی نانو ذرات رس و خاک‌های رس‌طبیعی، کارایی این مواد با توجه به انواع آلاینده‌های موجود در پساب‌های صنایع گوناگون صورت گرفته و ایجاد رابطه‌هایی برای کسب بهره‌وری بهتر با تعیین مش مناسب نانو پارتیکل‌ها و ذرات رس با هر نوع آلاینده در هر صنعت مشخص می‌شود و برای تصفیه و استفاده مجدد از پساب‌های تصفیه‌شده در حل مشکلات به وجود آمده در رابطه با بحران‌ها و چالش‌های بین‌المللی در مورد آب، ارائه راهکار صورت می‌پذیرد.

کاربرد سیستم‌های تصفیه مبتنی بر نانوذرات رس و خاک‌های رس‌طبیعی، در زمینه تصفیه فاضلاب‌های خانگی و آب‌های سطحی آلوده نیز مفید بوده و کارایی خواهد داشت.

این فرایند به عنوان یک تصفیه اولیه پس از نمونه‌گیری و آشغالگیری، با عبور پساب از صافی‌های تعبیه شده در سیستم تصفیه انجام شده است.

### ۳-۹) جدول شرح فعالیت‌ها

مراحل انجام یک تحقیق عبارتند از:

مشاهدات اولیه	¶
فرضیه تحقیق	¶
بررسی پیشینه پژوهش	¶
نظریه	¶
صحت سنجی	¶

در جهت اجرای یک تحقیق یک سری برنامه‌ها جهت کسب نتایج صحیح و دقیق، طرح‌ریزی و اجرا می‌شود.

روشها و فنون اجرایی در این طرح پژوهشی به شرح ذکر شده در جدول شماره (۴-۱) بیان شده است.

جدول (۴ - ۱) شرح فعالیت‌ها

شرح فعالیت	هدف از انجام	انتظارات
بررسی تئوری طرح و مطالعه میدانی	کسب پیشینه طرح	به صورت جامع، کاری صورت نگرفته است
طراحی و ساخت دستگاه و ایجاد شرایط انجام آزمایشات لازم	برای بررسی عملی طرح	ساخت دستگاهی برای سیستم تصفیه صورت پذیرد
تهیه پساب صنایع مورد نظر	برای بررسی عمل تصفیه	پساب صنایع مختلف با آلودگی‌های متنوعی مواجه است
تهیه نانو رس و خاک رس طبیعی	تهیه سیستم تصفیه	برای عمل فیلتراسیون از این مواد می‌توان استفاده کرد
انجام آزمایشات لازم و به دست آوردن نتایج تجربی	اجرا کردن بررسی عملی طرح و مشاهده عملکرد سیستم تصفیه	عمل تصفیه پساب صورت پذیرفته و نتایج مشاهدات ثبت گردد.
بحث و نتیجه‌گیری کلی	کسب نتایج	نتایج مفیدی کسب می‌شود
تهیه و ارائه گزارش	ثبت و مستندسازی یافته‌ها	ارائه راهکار و پیشرفت در نانو تکنولوژی کشور رخ می‌دهد

جدول فوق با بیان شرح فعالیت‌های این پژوهش؛ اهداف و انتظارات اجرای هر کدام از فعالیت‌ها را به تفکیک بیان می‌نماید.

## **فصل چهارم**

### **تجزیه و تحلیل نتایج**

## فصل ۴) تجزیه و تحلیل نتایج

پس از انجام مطالعه میدانی و تحقیق در کتب، نشریات و سایت‌های علمی و پژوهشی؛ اقدام به تهیه مواد و انجام آزمایشات مربوطه، مطابق با شیوه اجرایی بیان شده، صورت گرفت. این آزمایشات، یافته‌هایی را در بر داشت که در این فصل به تجزیه و تحلیل این یافته‌ها خواهیم پرداخت.

هدف کلی از این تحقیق؛ بررسی کارایی نانو ذرات رس و خاک‌های رس طبیعی در تصفیه پساب صنایع است.

با به کارگیری نانو ذرات رس و خاک رس طبیعی در سیستم تصفیه پساب صنایع، انتظار می‌رود که با توسعه بیشتر فناوری نانو، کارایی روش‌های مختلف تصفیه و فیلتراسیون آب و فاضلاب، همچون خالص‌سازی، نمک‌زدایی، ضدعفونی کردن و پالایش بهبود یابد.

همچنین انتظار بر این است که استفاده از محصولات مبتنی بر فناوری نانو هزینه تصفیه آب را کاهش داده؛ به علاوه پیش‌بینی می‌شود که استفاده از این فناوری عملکردهای جدیدی به مواد موجود بیافزاید. با درک بهتر شیمی سطحی نانو ذرات و نانوساختارها، امکان کنترل واکنش‌ها با استفاده از نانومواد به منظور کاهش تولید ضایعات نیز به وجود خواهد آمد.

انتظار می‌رود که امکان استفاده مجدد پساب‌های صنایع مورد تصفیه در چرخه استفاده مجدد برای صنایع و زراعت به کار رود.

انتظار می‌رود که با توجه به انواع آلاینده‌های موجود در پساب صنایع، مش‌بندی متفاوتی از ذرات رس برای بهبود کارایی تصفیه متناسب با هر نوع آلاینده نیاز است.



## ۴-۱) نوآوری تحقیق

با توجه به نوظهور بودن تکنولوژی نانو و انجام این تحقیق؛

- از نانو ذرات بی ضرر برای محیط زیست و در دسترس و ارزان (خاک رس) برای تصفیه پساب ها استفاده می شود.
- با امکان استفاده مجدد از آب تصفیه شده پساب ها، مقابله با بحران و چالش های مربوط به آب صورت می پذیرد.
- صنعت نانو تکنولوژی کشور با بهره گیری از این سیستم، باعث رونق صنایع و زراعت خواهد شد.
- عمل تصفیه و فیلتراسیون آلاینده های موجود در پساب ها به صورت تخصصی و تفکیکی؛ مناسب با اندازه ذرات رس برای هر آلاینده تعیین می شود.

## ۴-۲) نتایج حاصله از آزمایشات

پس از آنالیز نمونه های پساب؛ نتایج حاصله به صورت مجزا بیان می گردد:

۴-۲-۱) نتایج تصفیه پساب شرکت رنگ خرم:

۴-۲-۲) نتایج تصفیه پساب کارخانجات نساجی بروجرد:

۴-۲-۳) نتایج تصفیه پساب مجتمع فدک طیور:

۴-۲-۴) نتایج تصفیه پساب شرکت فدک لبن:

#### ۴-۲-۱) نتایج تصفیه پساب شرکت رنگ خرم:

با هماهنگی‌های انجام شده پساب شرکت تولیدی رنگ خرم، در سری تولید رنگ سفید، نمونه‌برداری گردید. شکل (۴-۱) مقداری از نمونه تهیه شده از این شرکت را نشان می‌دهد. (کدورت سنجش شده نمونه اولیه برابر با ۳۷۴ NTU می‌باشد)



شکل (۴-۱) نمونه پساب رنگ خرم

با انجام آزمایشات تصفیه، نمونه عبور یافته پساب شرکت رنگ خرم از صافی‌ها، که شکل (۴-۲) آنها را نمایش می‌دهد، برای آزمایشات کدورت‌سنجی استفاده گردید.



شکل (۴-۲) نمونه تصفیه ایجاد شده توسط صافی‌های رسی برای پساب رنگ خرم

امکانات آزمایشگاه محیط زیست لرستان، کدورت سنجی پساب شرکت رنگ خرم، صورت گرفته و نتایج حاصله در جدول (۴ - ۱) ذکر شده است.

نکاتی برای وضوح مطالب ارائه شده لازم است مورد توجه قرار گیرد:

نکته ۱) منظور از صافی، در این پژوهش؛ بستر ایجاد شده از لایه‌های رس با ابعاد گوناگون ذکر شده می‌باشد.

نکته ۲) اعداد ذکر شده در این جداول نتایج آزمایشگاهی سنجش کدورت، بر حسب واحد NTU می‌باشند.

جدول (۴ - ۱) نتایج کدورت سنجی پساب رنگ خرم

محل تهیه پساب	صافی معمولی	صافی میلی	صافی میکرو	صافی نانو
شرکت رنگ خرم	۲۹ / ۲	۲۲	۱۵ / ۷	۷ / ۴۹

#### ۴ - ۲ - ۲) نتایج تصفیه پساب کارخانجات نساجی بروجرد:

با هماهنگی‌های انجام شده پساب کارخانجات نساجی بروجرد، در سری تولید پارچه‌های رنگی، نمونه‌برداری گردید. شکل (۴ - ۳) مقداری از نمونه تهیه شده از این کارخانه را نشان می‌دهد. (کدورت سنجش شده نمونه اولیه برابر با NTU ۳۴ / ۵ می‌باشد)



شکل (۴ - ۳) نمونه پساب تهیه شده از نساجی بروجرد

با انجام آزمایشات تصفیه، نمونه عبور یافته پساب کارخانه نساجی بروجرد از صافی‌ها، که شکل (۴-۴) آنها را نمایش می‌دهد، برای آزمایشات کدورت سنجی استفاده گردید.



شکی (۴-۴) نمونه تصفیه ایجاد شده توسط صافی‌های رسی برای پساب شرکت نساجی بروجرد

با استفاده از امکانات آزمایشگاه محیط زیست لرستان، کدورت‌سنجی پساب کارخانه نساجی بروجرد، صورت گرفته و نتایج حاصله در جدول (۴-۲) ذکر شده است.

جدول (۴-۲) نتایج کدورت‌سنجی پساب نساجی

محل تهیه پساب	صافی معمولی	صافی میلی	صافی میکرو	صافی نانو
کارخانه نساجی بروجرد	۲۱ / ۳	۲۸ / ۴	۳۲ / ۲	۲۴ / ۵

#### ۴-۲-۳) نتایج تصفیه پساب مجتمع فدک طیور:

با هماهنگی‌های انجام شده پساب مجتمع فدک طیور، در سری تولید مرغ گوشتی، نمونه‌برداری گردید. شکل (۵-۵) مقداری از نمونه تهیه شده از این کارخانه را نشان می‌دهد. (کدورت سنجش شده نمونه اولیه برابر با ۶۴۵ NTU می‌باشد)



شکل (۴ - ۵) نمونه پساب فدک طیور

با انجام آزمایشات تصفیه، نمونه عبور یافته پساب مجتمع فدک طیور از صافی‌ها، که شکل (۴ - ۶) آنها را نمایش می‌دهد، برای آزمایشات کدورت‌سنجی استفاده گردید.



شکل (۴ - ۶) نمونه تصفیه ایجاد شده توسط صافی‌های رسی برای پساب شرکت فدک طیور

با استفاده از امکانات آزمایشگاه محیط زیست لرستان، کدورت‌سنجی پساب مجتمع، صورت گرفته و نتایج حاصله در جدول (۴ - ۳) ذکر شده است.

جدول (۴ - ۳) نتایج کدورت‌سنجی پساب فدک طیور

صافی نانو	صافی میکرو	صافی میلی	صافی معمولی	محل تهیه پساب
۲۵ / ۳	۶۶ / ۴	۶۰ / ۵	۸۳ / ۹	مجتمع فدک طیور

#### ۴-۲-۴) نتایج تصفیه پساب شرکت فدک لبن:

با هماهنگی‌های انجام شده پساب شرکت فدک لبن، در سری تولید پنیر، نمونه‌برداری گردید. شکل (۴-۷) مقداری از نمونه تهیه شده از این کارخانه را نشان می‌دهد. (کدورت سنجش شده نمونه اولیه برابر با ۲۹۰ NTU می‌باشد)



شکل (۴-۷) نمونه پساب فدک لبن

با انجام آزمایشات تصفیه، نمونه عبور یافته پساب مجتمع فدک لبن از صافی‌ها، که شکل (۴-۸) آنها را نمایش می‌دهد، برای آزمایشات کدورت‌سنجی استفاده گردید.



شکل (۴-۸) نمونه‌های پساب فدک لبن

با استفاده از امکانات آزمایشگاه محیط زیست لرستان، کدورت سنجی پساب شرکت فدک لبن، صورت گرفته و نتایج حاصله در جدول (۴ - ۴) ذکر شده است.

جدول (۴ - ۴) نتایج کدورت سنجی فدک لبن

محل تهیه پساب	صافی معمولی	صافی میلی	صافی میکرو	صافی نانو
شرکت فدک لبن	۳۴ / ۵	۳۷ / ۳	۸۲ / ۳	۷۴

در کنار مشکل کمبود آب این واقعیت قرار دارد که حدود ۷۰ درصد از آب دنیا توسط کشاورزی مصرف می شود، در حالی که آبیاری ضعیف و مدیریت نامناسب دامداری مقادیر بسیاری زیادی از این منبع با ارزش را از بین می برند. ساخت و تولید صنعتی نیز آب بسیاری زیادی هدر می دهند. برای تولید هر بشکه نفت خام بیش از ۸ تن آب لازم است. همچنین برای ساخت یک خودرو بیش از ۱۷۷ تن، یک تن فولاد حدود ۲۸۲ تن و یک نیمه رسانا بیش از ۱۳ تن آب مصرف می شود. در سرتاسر جهان دسترسی تعداد بسیار زیادی از مردم فقیر به آب تمیز در حال تبدیل شدن به موضوعی بحرانی تر از دسترسی آنها به بهداشت، آموزش یا حتی غذا است. مردم فقیر به آب به عنوان ورودی تولید (کشاورزی یا ساخت)، ابزاری برای زنده ماندن، حفظ سلامت و آسایش فیزیکی و اطمینان از یکپارچگی اکوسیستم (برای جنگلداری، ماهیگیری، چراندن احشام) تکیه دارند.

کمبود آب؛ سلامت اقتصادی تعداد بسیار زیادی از مردم جهان و به خصوص فقیرترها را تهدید می کند. اطمینان از دسترسی جوامع فقیر به آب تمیز و سیستم بهداشتی جمع آوری فاضلاب، همان گونه که در اهداف توسعه هزاره سازمان ملل اعلام شده است، معادل با اطمینان یافتن از دسترسی مردم فقیر به نیازهای اولیه است.

از آنجایی که وجود آب برای بقا ضروری است، کمبود این ماده حیاتی آسایش و برابری اجتماعی را از بین می برد. به خصوص در کشورهای در حال توسعه، ارزش ها و رسوم اجتماعی قدیمی و جا افتاده به دلیل تغییرات فناورانه سریع تر از قبل تحت فشار قرار گرفته اند. نابرابری های حاصل از این تغییر می تواند بافت اجتماعی جوامع را از بین برده و تنازع بر روی منابع کمیاب آبی را بدتر سازد.

برای تمام انواع روش‌های تصفیه آب سه عامل اصلی روی بازار تأثیر دارند: کیفیت آب، مقدار آب، فرسوده شدن یا فقدان زیرساخت‌های آبی. امروزه تکنولوژیهای غشایی از جایگاه و کاربرد وسیعی در صنایع مختلف برخوردارند.

از دهه ۱۹۶۰ این علم از آزمایشگاه به صنعت و پزشکی راه یافت و با پیشرفتهای چشمگیری مواجهه شد، به گونه‌ای که انتظار می‌رود غشاها در آینده نقش مهمی را در علوم مختلف به ویژه علم پزشکی ایفا کنند. از تکنولوژیهای غشایی اولین بار برای فیلتراسیون آب آشامیدنی ارتش آلمان استفاده شد.

تحقیقات برای استفاده گسترده از این تکنولوژی توسط کشور آمریکا مورد حمایت قرار گرفت و نهایتاً توسط شرکت میلی پور، اولین و بزرگترین تولیدکننده میکروفیلتر، مورد بهره‌برداری قرار گرفت (۲۹).

با کسب نتایج حاصله از آزمایشات صورت گرفته در این پژوهش، فرصت تحلیل و بررسی یافته‌ها ایجاد گردید. و مشاهده شد که بکارگیری رس در ابعاد مختلف، نتایج متفاوتی برای هر نوع پساب در بر داشته است.

از تحلیل اعداد و ارقام حاصله، نتیجه گردید که متناسب سازی ابعاد ذرات رس، برای بهره‌وری بیشتر در فرایند تصفیه، یک امر ضروری به نظر می‌رسد. نتایج حاصل از این تحقیق به تفصیل در فصل بعد، بیان می‌گردد.



## **فصل پنجم**

### **نتیجه گیری و پیشنهادات**

## فصل ۵- نتیجه گیری و پیشنهادات

بحث و نتیجه گیری از یک پژوهش، از جذاب ترین بخش های یک تحقیق است. در بیان اهمیت مساله مورد پژوهش باید گفت که: آب شیرین و قابل شرب برای مصرف انسان تنها ۳ درصد از کل آب های روی کره زمین را تشکیل می دهد. ۹۷ درصد بقیه درون دریاها بوده، در یخ های قطبی مسدود شده، در یخچالها قرار داشته، به صورت برف بوده و یا درون اتمسفر یا خاک پخش شده است. چالش آب در قرن ۲۱ میلادی واضح و مبرهن است.

در میان صاحب نظران نیز توافق رو به رشدی وجود دارد که جمعیت جهان با بحران آب رو به رو است. در گزارش وضعیت آینده پروژه میلیونوم سازمان ملل آمده است که بیش از ۷۰۰ میلیون نفر در سراسر جهان از کمبود آب رنج می برند و اگر کاری در این زمینه صورت نگیرد، این مقدار تا سال ۲۰۲۵ به ۳ میلیارد نفر افزایش پیدا خواهد کرد. تخمین زده می شود که مصرف آب در جهان هر ۲۰ سال دو برابر می شود؛ با این حال افزایش میزان تولید آب به اندازه ای نیست که این افزایش تقاضا را پاسخ دهد.

بنا بر گزارش سازمان ملل حداقل ۱/۱ میلیارد نفر در دنیا از دسترسی به آب سالم محروم بوده و ۲/۶ میلیارد نفر نیز از سیستم ابتدایی جمع آوری و تصفیه فاضلاب استفاده نمی کنند. بیش از نیمی از بیمارانی که در کل دنیا در بیمارستان ها بستری هستند، از بیماری هایی که از طریق آب منتقل می شوند، رنج می برند. روزانه هزاران کودک در اثر ابتلا به بیماری های مرتبط با آب از بین می روند. در برخی مناطق جهان وجود مواد سمی همچون آرسنیک و فلوئور در آب های زیرزمینی یک تهدید فزاینده به شمار می رود.

## ۵ - ۱) نتیجه گیری کلی تصفیه پساب‌ها:

با جمع‌آوری داده‌های حاصله از آزمایشات کدورت‌سنجی نمونه پساب‌های تهیه شده، اقدام جهت تحلیل آماری صورت پذیرفت. اجتماع داده‌های حاصله در جداول شماره (۵ - ۱) و (۵ - ۲) بیان شده است. ترتیب تناسب کارایی صافی‌ها هم در جدول (۵ - ۳) آمده است.

جدول (۵ - ۱) نتایج حاصله از سنجش کدورت پساب‌های تهیه شده

ردیف	محل	میزان کدورت اندازه‌گیری شده بر حسب NTU
۱	مجتمع پرورش طیور و کشتارگاه فدک / خرم آباد	۶۴۵
۲	شرکت رنگ خرم / خرم آباد	۳۷۴
۳	شرکت فدک لبن / خرم آباد	۲۹۰
۴	نساجی بروجرد / بروجرد	۳۴ / ۵

نکته: اعداد موجود در جدول (۵ - ۱) با توجه به نوع و سری تولید محصولات، بیان شده‌اند و در نمونه‌برداری‌ها برای سایر محصولات شرکت‌ها؛ می‌تواند اعداد متفاوتی را نشان دهد.

جدول (۵ - ۲) نتایج حاصله از سنجش کدورت پساب‌ها با عبور از صافی‌های رسی

ردیف	محل	میزان کدورت اندازه‌گیری شده بر حسب NTU			
		خاک رس طبیعی	میلی رس	میکرو رس	نانو رس
۱	مجتمع پرورش طیور و کشتارگاه فدک / خرم‌آباد	۸۳ / ۹	۶۰ / ۵	۶۶ / ۴	۲۵ / ۳
۲	شرکت رنگ خرم / خرم‌آباد	۲۹ / ۲	۲۲	۱۵ / ۷	۷ / ۴۹
۳	شرکت فدک لبن / خرم‌آباد	۳۴ / ۵	۳۷ / ۳	۸۲ / ۳	۷۴
۴	نساجی بروجرد / بروجرد	۲۱ / ۳	۲۸ / ۴	۳۲ / ۲	۲۴ / ۵

جدول (۵ - ۳) ترتیب تناسب کارایی بهتر صافی‌ها برای هر نوع پساب

<p>ترتیب تناسب کارایی بهتر صافی‌ها</p> <p>با استفاده از آنالیز نتایج سنجش کدورت پساب‌های خروجی با عبور از صافی‌های رسی</p>					
ردیف	محل	رتبه‌بندی کیفیت صافی‌ها			
		رتبه اول	رتبه دوم	رتبه سوم	رتبه چهارم
۱	مجتمع پرورش طیور و کشتارگاه فدک / خرم‌آباد	نانو رس	میلی رس	میکرو رس	خاک رس طبیعی
۲	شرکت رنگ خرم / خرم‌آباد	نانو رس	میکرو رس	میلی رس	خاک رس طبیعی
۳	شرکت فدک لبن / خرم‌آباد	خاک رس طبیعی	میلی رس	نانو رس	میکرو رس
۴	نساجی بروجرد / بروجرد	خاک رس طبیعی	نانو رس	میلی رس	میکرو رس

با مرتب‌سازی راندمان صافی‌ها به جدول (۵ - ۳) خواهیم رسید. این جدول جایگاه رتبه صافی مناسب با هر نوع پساب را نشان می‌دهد.

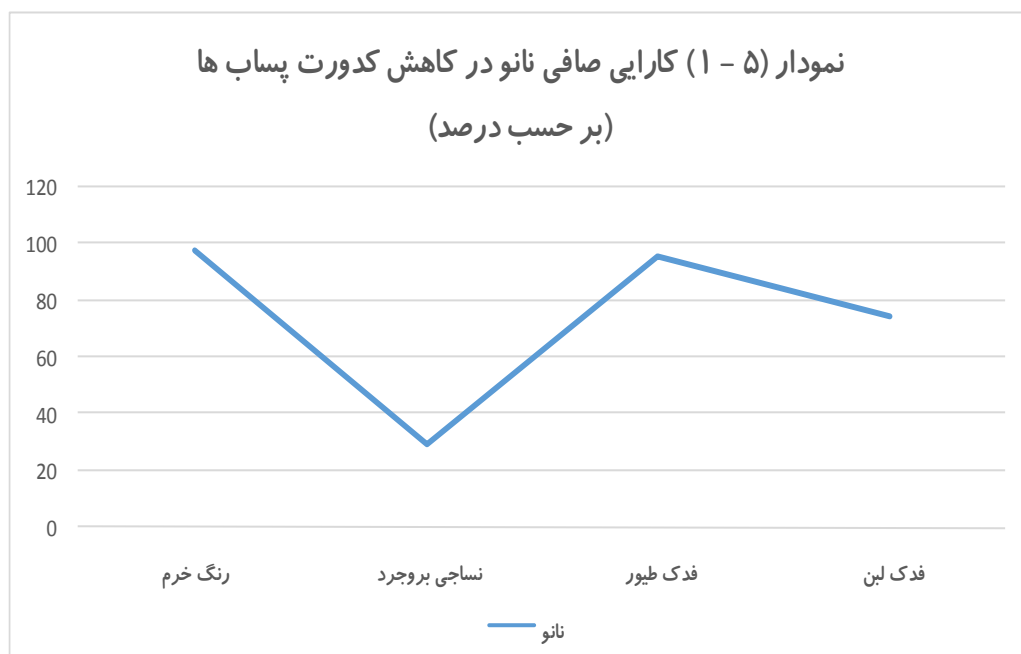
با جمع‌یافتن آزمایشگاهی در جداول فوق‌الذکر، نیاز به بررسی فرضیه این پژوهش، و همچنین ایجاد تناسب بین داده‌ها و امکان مقایسه کارایی صافی‌ها، سبب شد تا جدول یکسان‌سازی بر حسب درصد رفع کدورت برای صافی‌ها، ایجاد شود. جدول (۵ - ۴) گویای این موضوع است.

جدول (۵ - ۴) یکسان سازی کارایی صافی ها در کاهش کدورت (بر حسب درصد)

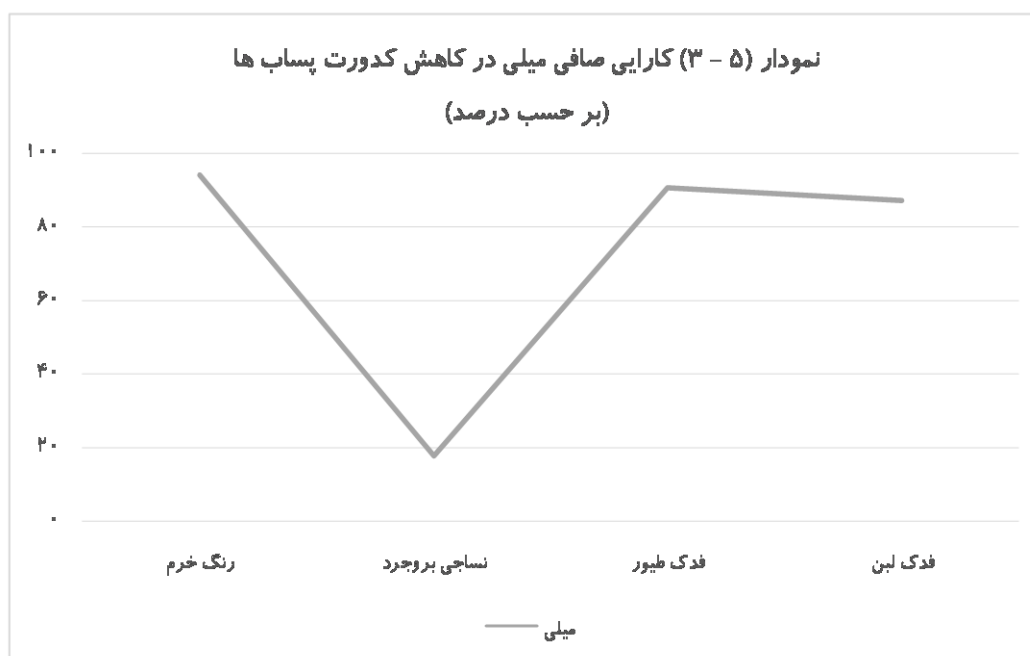
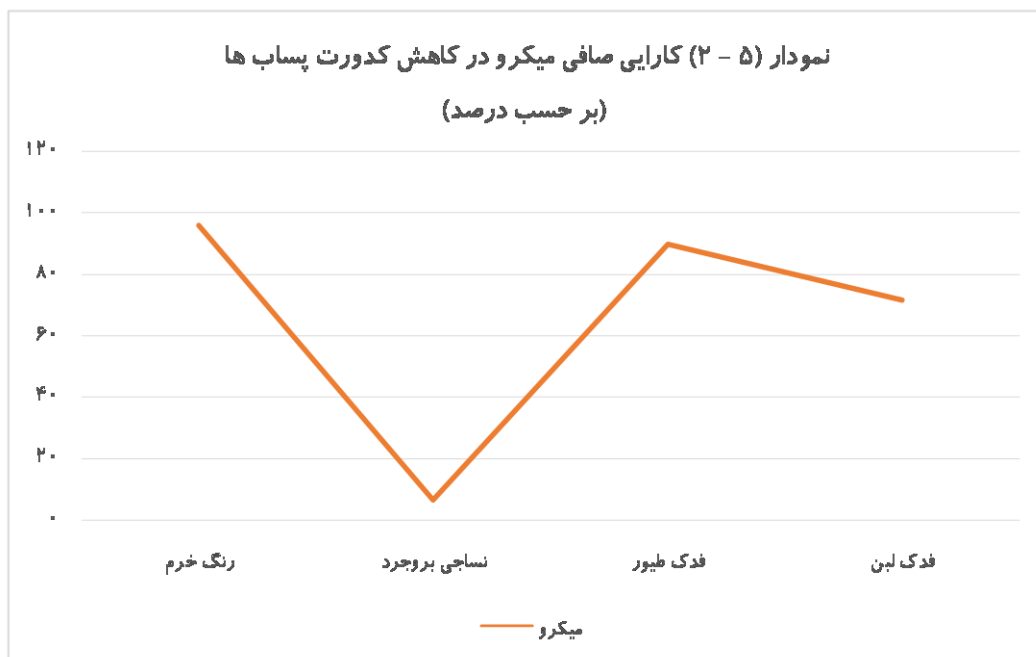
نتایج حاصله از سنجش کدورت پساب های خروجی با عبور از صافی های رسی					
ردیف	محل	میزان کدورت کاهش یافته بر حسب درصد توسط صافی ها			
		خاک رس طبیعی	میلی رس	میکرو رس	نانو رس
۱	مجتمع پرورش طیور و کشتارگاه فدک / خرم آباد	۸۷	۹۰ / ۶	۸۹ / ۷	۹۶ / ۱
۲	شرکت رنگ خرم / خرم آباد	۹۲ / ۲	۹۴ / ۱	۹۵ / ۸	۹۸
۳	شرکت فدک لبن / خرم آباد	۸۸ / ۱	۸۷ / ۱	۷۱ / ۶	۷۴ / ۵
۴	نساجی بروجرد / بروجرد	۳۸ / ۲	۱۷ / ۷	۶ / ۷	۲۹

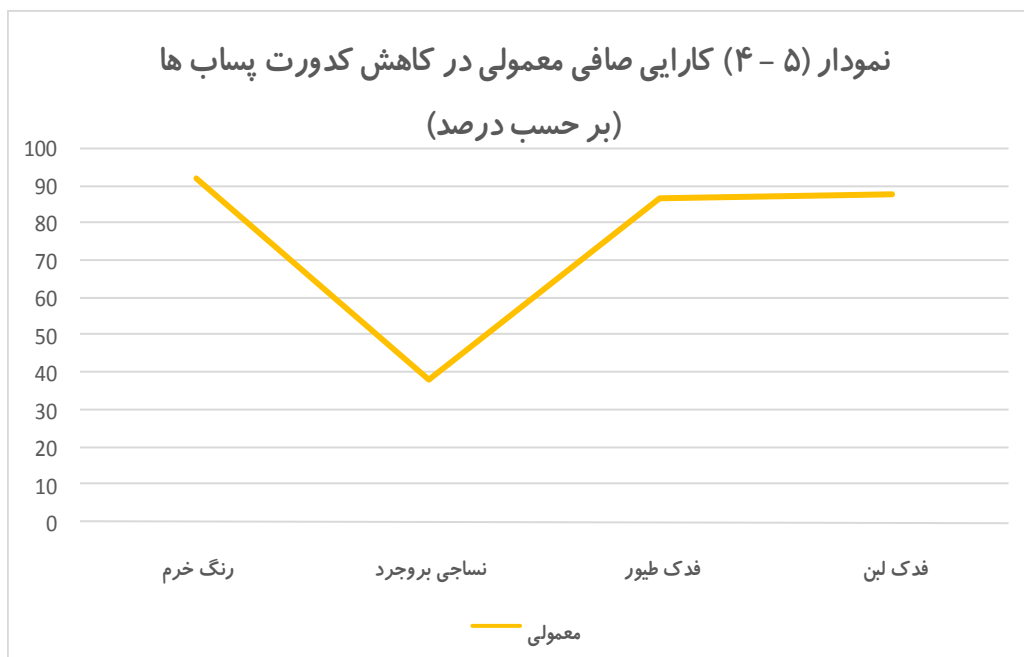
با رسم نمودارهایی؛ کارایی صافی ها را برای کاهش کدورت پساب های تهیه شده، بررسی می نمائیم.

نمودار شماره (۵ - ۱) کارایی صافی نانو را برای تصفیه پساب ها نشان می دهد.



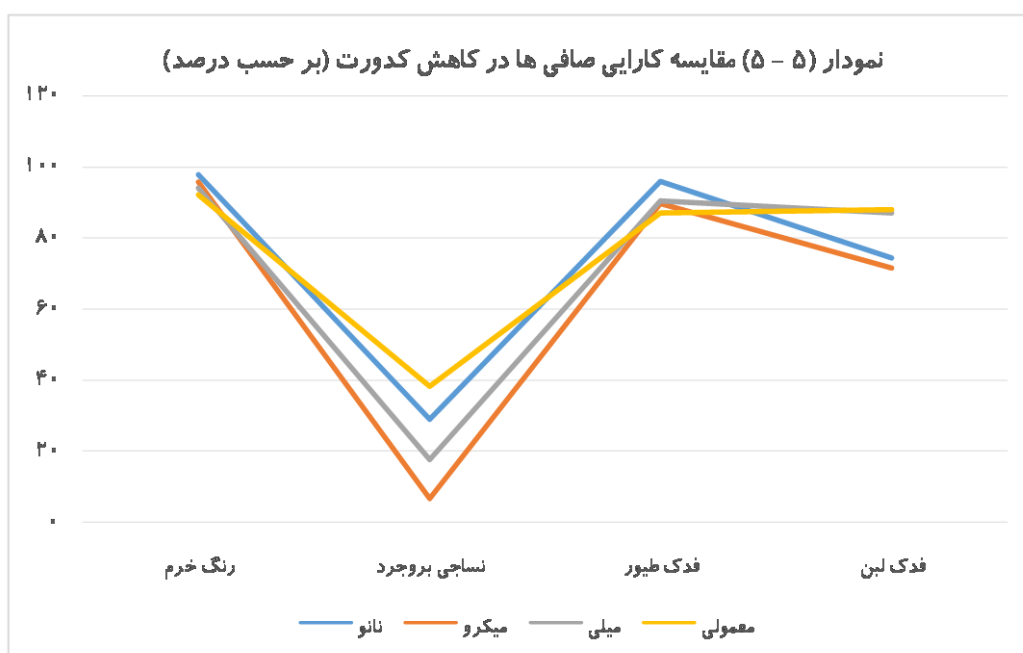
سایر نمودارها نیز به ترتیب اندازه در زیر بیان می‌شوند:





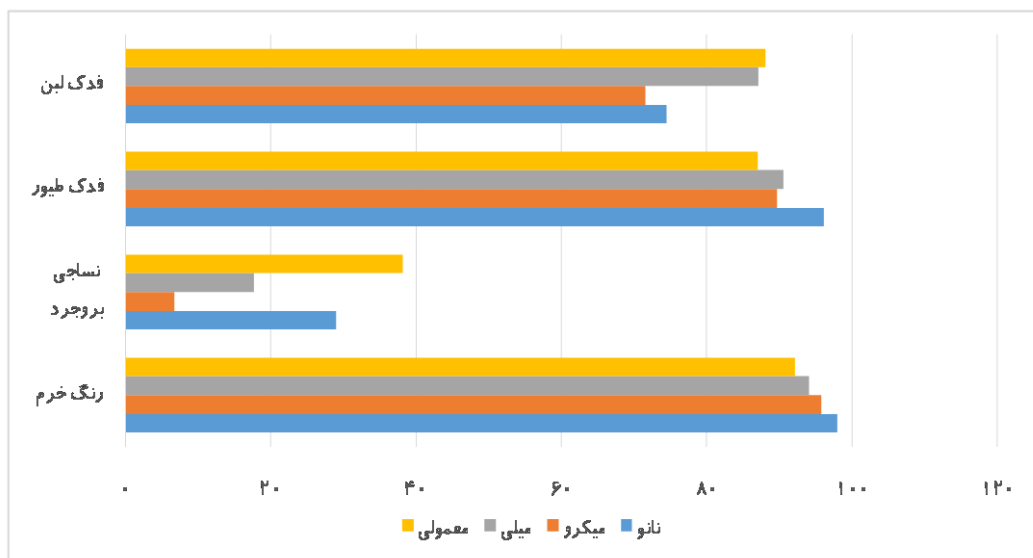
کارایی صافی ها در سیستم تصفیه با نمودار<sup>۱</sup> مشخص شده است.

مقایسه بین این کارایی ها در نمودار (۵ - ۵) صورت گرفته است



<sup>۱</sup> DIAGRAM = CHART

نمودار میله‌ای (۵ - ۶) نیز مقایسه بین کارایی صافی‌ها را به نحوی دیگر نمایش می‌نماید.



نمودار (۵ - ۶) مقایسه بین کارایی صافی‌ها در کاهش کدورت (بر حسب درصد)

در بررسی این نمودارها می‌فهمیم که نانو رس بهترین تصفیه‌گر پساب برای رنگ خرم و فدک‌طیور است. اما کارایی نانو رس و در کل ماده رس برای کاهش کدورت نساچی بروجرد در سطح پائینی قرار دارد. و این احتمالاً می‌تواند ناشی از ماهیت مواد شیمیایی به کار رفته در آن باشد. البته برای کاهش کدورت پساب فدک لبن نیز، نانو ذرات رس، کارایی مناسب و مورد انتظار را نداشتند.

در کل اثرات کاهش کدورت ذرات رس (اعم از نانو، میکرو، میلی و معمولی)، برای پساب‌های مورد آزمایش در جدول (۵ - ۵) به صورت زیر بیان می‌شود:

جدول (۵ - ۵) بررسی کارایی کلی صافی‌های رسی در کاهش کدورت

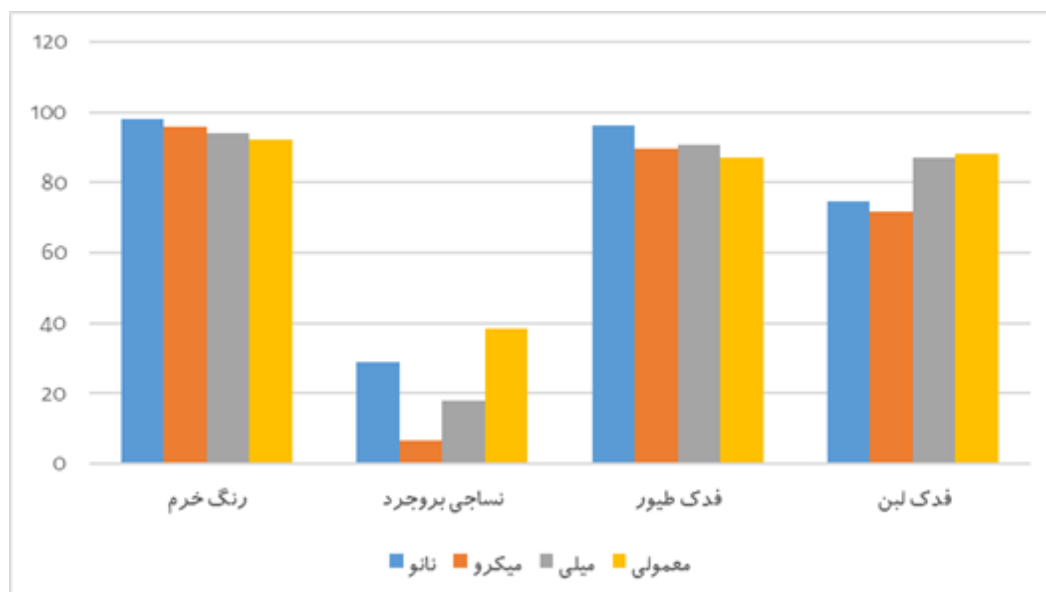
میانگین مجموع	پساب فدک‌طیور	پساب فدک لبن	پساب نساچی	پساب رنگ خرم	کارایی کلی فیلترها در کاهش کدورت
۲۸۹ / ۱	۳۶۳ / ۴	۳۲۱ / ۳	۲۲۲	۳۸۰ / ۱	مقدار کاهش کدورت برای ۴ نوع فیلتر استفاده شده
۷۲ / ۲۷۵	۹۰ / ۸۵	۸۰ / ۳۲۵	۵۵ / ۵	۹۵ / ۰۲۵	میانگین کارایی برای کل صافی‌ها (بر حسب درصد)



ذرات رس به صورت میانگین و بر حسب درصد بیش از ۷۲٪ عواملی که ایجاد کدورت نموده‌اند را حذف نموده است و این عملکرد خوبی، برای این نوع از صافی‌ها محسوب می‌شود.

حذف یا کاهش عوامل ایجاد کننده کدورت (در این نوع از پساب‌ها؛ شامل ذرات چربی، پیگمان‌های رنگی، ذرات کلوئیدی و رنگ)، توسط رس‌های آزمایش شده، نوعی تناسب بین اندازه ذرات رس و نوع ذرات ایجاد کننده کدورت را نمایان می‌کند.

مثلاً برای حذف پیگمان‌های رنگی در پساب شرکت رنگ خرم، ذرات رس در حد ابعاد نانو، بیشترین راندمان را داشته‌اند و این به معنی تخصصی‌کردن نوع فیلتر تصفیه‌ای برای حذف یا کاهش پیگمان‌های رنگی با ذرات رس در ابعاد نانو می‌باشد. همانگونه که در نمودار (۵ - ۷) مشاهده می‌نمائیم در کاهش کدورت شرکت‌های رنگ خرم و فدک طیور توازن و تناسب خاصی بین میزان کاهش کدورت و ابعاد ذرات رس، برقرار است و با کاهش اندازه بیشتر شدن راندمان کیفیت تصفیه را داریم. اما این امر برای نساجی بروجرد و فدک لبن، صادق نیست.



نمودار (۵ - ۷) بررسی مقایسه‌ای بین کاهش کدورت پساب و ابعاد ذرات رس (بر حسب درصد)

میزان تاثیر صافی نانو در کاهش کدورت پساب‌ها در مقایسه با سایر صافی‌های رسی در نمودار (۵ - ۸) نمایش داده شده است.



نمودار (۵ - ۸) مقایسه کارایی صافی نانو با کارایی سایر صافی‌ها

استفاده از روش تصفیه پساب صنایع با به کارگیری نانوذرات رس و خاک‌های رس طبیعی در جهت دستیابی به اهداف مد نظر این پروژه دارای دستاوردهای مفیدی بوده است.

نمودار (۵ - ۹) به کارگیری ذرات رس با ابعاد مختلف در کاهش کدورت پساب‌ها



همانگونه که در نمودار شماره (۵ - ۹) مشاهده می‌گردد با به کارگیری ذرات رس در ابعاد مختلف برای کاهش کدورت پساب‌ها، راندمان بالای ۷۰٪ داشتیم و به کارگیری آب پالایش شده با این روش در مصارف صنعتی و زراعی مقدور است. اما آب مصرفی برای شرب باید میزان کدورت کمتر از ۵ NTU داشته باشد که با استفاده از میزان رس مصرفی بیشتر و افزایش قطر صافی‌ها و همچنین به کارگیری مواد شیمیایی مؤثر در تصفیه پساب‌ها برای ایجاد انعقاد و ... می‌توان راندمان نتایج را افزایش داده و در مسیر بالا بردن کیفیت تا رسیدن به استانداردهای آب شرب تلاش نمود. البته نوع محصول تولیدی و همچنین شیب‌دار نمودن بستر صافی‌های رسی نیز می‌تواند در راندمان کیفیت تصفیه مؤثر باشد.

چون این نوع تصفیه پیش‌رو در شرایط آزمایشگاهی و با سیستم تصفیه ساخته شده صورت پذیرفته است، نهایت سعی در حفظ شرایط تصفیه مشابه شرایط واقعی صورت گرفته است. مثلاً در هنگام تخلیه پساب‌ها بر روی صافی‌ها برای جلوگیری از خطای ایجاد مسیر عبور پساب از دیواره‌های ظرف بستر صافی‌ها، پساب را به وسط رس از لایه سطحی بالا و با دقت، تخلیه کرده‌ایم.

زمان عبور پساب از بستر صافی‌ها متفاوت است و در راستای داشتن زمانی معقول در ته‌ظرف بستر صافی‌ها ۱۵ سوراخ ریز یکسان تعبیه شده بود. استفاده از صافی‌هایی از جنس PVC می‌تواند بستری مناسب و تا حدودی با دوام برای صافی‌ها ایجاد نماید.

در کل از ۴ نوع صافی به کارگیری شده در تصفیه ۴ نوع پساب به کار برده شده رتبه‌بندی بین نوع صافی مورد استفاده در جایگاه بیشترین کارایی، رتبه‌بندی زیر گویای نتایج است. این رتبه‌بندی در جدول (۵ - ۶) بیان شده است.

جدول (۵ - ۶) جایگاه نوع صافی‌های مناسب در فرایند تصفیه صورت گرفته

رتبه اول	مرتبۀ	رتبه دوم	مرتبۀ	رتبه سوم	مرتبۀ	رتبه چهارم	مرتبۀ
نانو رس	۲	میلی رس	۲	میلی رس	۲	خاک رس طبیعی	۲
خاک رس طبیعی	۲	میکرو رس	۱	میکرو رس	۱	میکرو رس	۲
-	-	نانو رس	۱	نانو رس	۱	-	-

## ۵-۲) تحلیل آماری

نتایج به دست آمده، در نرم افزار SPSS (Ver 17) وارد شده و تحلیل‌های آماری استخراج گردید. در بحث روایی و پایایی مطالب این تحقیق به بررسی و تحلیل یافته‌ها می‌پردازیم.

با توجه به اینکه بیش از ۲ گروه داده آماری داریم (۴ گروه داده داریم)، از آزمون فیشر که برای مقایسه بیش از دو گروه است، استفاده می‌شود.

ANOVA = F = Fisher Test = آزمون مقایسه‌ای داده‌های مستقل رده‌ای (تجزیه واریانس) است و در این پژوهش به کمک از این آزمون، نتایج تحلیل داده‌ها به صورت زیر بیان می‌شود:

❖ اگر فرض  $H_0$  ادعای ما برای اینکه نانو رس تصفیه کننده برای پساب است باشد، ضابطه زیر را بررسی می‌کنیم:

$$\begin{cases} H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_k \\ H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_k \end{cases}$$

- با آماره  $F = 0.0698$  با درجه خطای ۵٪ (سطح اطمینان ۹۵٪)، و درجه آزادی (df) ۳ و ۱۲ که نقطه بحرانی ( $F_{\alpha}$  برابر ۳/۴۹) می‌شود، کمتر از مقدار بحرانی است، لذا فرض  $H_0$  رد نمی‌شود.

- با سطح اطمینان ۹۹٪ نیز با توجه به رابطه زیر: چون آماره  $F$  کمتر از مقدار بحرانی است، پس فرض  $H_0$  رد نمی‌شود و در نتیجه ادعای فوق با ضریب خطای ۱٪ هم مورد پذیرش است. و داریم:

$$F_{1\%} (df= 3 \text{ و } 12) = 5.95$$

و چون آماره  $F = 0.0698$  با درجه خطای ۱٪ هم از نقطه بحرانی کمتر است پس ادعا ثابت می‌شود.

❖ اگر داده‌های آماری را به دو دسته تقسیم کنیم یعنی مقایسه بین داده‌های نانورس و میانگین داده‌های سه نوع فیلتر دیگر صورت پذیرد می‌توان از آزمون T استفاده کرد.

طبق این تست، رابطه زیر را داریم:

$$\begin{cases} H_0: \mu_x \leq \mu_0 \\ H_1: \mu_x > \mu_0 \end{cases}$$

فرض یا ادعای ما این است که نانو رس بهترین کارایی را نسبت به سایر صافی‌ها دارد.

حال با فرض نرمال بودن و پذیرش تساوی واریانس‌ها و در سطح خطاهای ۱٪ و ۵٪ موضوع فرضیه را بررسی می‌کنیم.

با ورود داده‌ها به نرم افزار (SPSS (Ver 17 و تجزیه و تحلیل آنها داریم:

$t = 0.112$  و برای سطح اطمینان‌های خواسته شده داریم:

$$\begin{cases} T_{\alpha, df 1\%, 6} = 3.143 \\ T_{\alpha, df 5\%, 6} = 1.943 \end{cases}$$

- چون آماره  $t$  کمتر از نقطه بحرانی است پس فرض  $H_0$  رد نمی‌شود و در نتیجه ادعای فوق با ضریب خطای ۵٪ و حتی ۱٪ هم مورد پذیرش است. و داریم: کارایی نانوذرات رس نسبت به کارایی تمام صافی‌ها (با فرض میانگین کارایی آنها) بهتر بوده است.

❖ اگر بخواهیم فرض را تغییر داده و کارایی نانوذرات رس را با سایر صافی‌ها به صورت تک تک بسنجیم، به جزء صافی معمولی (که خود ترکیبی از تمام صافی‌ها و حتی نانوذرات است)، کارایی نانوذرات بیشتر و بهتر خواهد بود.

- در نتیجه‌گیری کلی کارایی ذرات رس طبیعی و نانوذرات بیشتر از سایر صافی‌ها سودمند هستند، البته بایستی مد نظر قرار گیرد که برخی از پساب‌ها توسط نانوذرات بهتر تصفیه می‌شوند و همانگونه که مشاهده شد بهبود کیفیت برخی پساب‌ها، با اندازه ذرات رس به کار رفته شده وابسته است. ولی کارایی نانوذرات رس در بهبود کیفیت رفع کدورت پساب صنعت پارچه و رنگری، اندک است.

با توجه به نتایج آزمایشات و تحلیل آزمون‌های صورت گرفته، پیشنهاد می‌گردد که از ذرات رس و کارایی خوب آنها در تصفیه پساب‌ها، به صورت تخصصی‌تر در صنعت تصفیه آب و پساب، استفاده گردد. و در بهره‌گیری از نانوذرات رس اقدامات بیشتری انجام شود.

### ۵-۳) ارائه پیشنهادات:

- پیشنهاد می‌شود، در راستای تخصصی کردن مواد و حتی سایز آنها، در حذف و یا کاهش آلوده کننده‌های آب و پساب تلاش صورت پذیرد.
- پیشنهاد می‌شود، در راستای تصفیه آب و پساب، از نانوذرات دوستدار طبیعت (مثل نانوذرات رس) استفاده شود.
- پیشنهاد می‌شود، در پژوهش‌های آتی؛ در صورت دسترسی به آزمایشگاه و امکانات، تحلیل کاهش رنگ و همچنین حذف یا کاهش عناصر با به کارگیری نانوذرات رس در پساب‌ها، انجام شود.
- پیشنهاد می‌شود، در صورت دسترسی به مقدار زیاد نانورس؛ حجم به کار رفته بیشتری از این مواد، برای نتیجه‌گیری احتمالی بهتر، استفاده شود.
- پیشنهاد می‌شود، بستر صافی به صورت شیب‌دار و مورب ایجاد شده تا با نفوذ و امکان زمان بیشتری برای عبور از بستر صافی، کارایی احتمالاً بهتری، حاصل شود.
- پیشنهاد می‌شود، در صنایع کوچک و یا پراکنده که تصفیه‌خانه مرکزی شهرک‌های صنعتی وجود ندارد، تصفیه پساب‌ها، با صافی‌های رسی انجام شود.
- پیشنهاد می‌شود، قبل از ورود پساب‌ها به اجتماع سایر پساب‌های شرکت‌های تولیدی، بخصوص در شهرک‌های صنعتی و بررسی میزان حذف آلاینده‌های مختص پساب آن شرکت‌ها با ذرات رس، از آلوده شدن بیشتر پساب و در نتیجه کاهش نتایج تصفیه، جلوگیری شده و در انتخاب سایز مناسب با مواد موجود در پساب صنعت خود برنامه‌ریزی نمائید.
- پیشنهاد می‌شود که در آزمایش‌های تکمیلی، خاصیت سایر انواع کانی‌های رسی در تصفیه‌کنندگی پساب‌ها نیز سنجیده شود.

### فهرست مراجع:

- (۱). موسوی، غلامرضا - مشایخ صالحی، علی، (۱۳۹۵)، "خلاصه کاربردی کتاب مهندسی فاضلاب، تصفیه و استفاده مجدد Metcalf & Eddy"، انتشارات شهر آب و آینده سازان.
- (۲). صالحی، فریمه، (۱۳۹۲)، "راهنمای کاربردی الزامات ایمنی، بهداشت و محیط زیست در محیط کار"، نشر فن آوران.
- (۳). گلستانی، فرحنا - حافظ - مصلحی زاده، مهدی، (۱۳۹۳)، "فرهنگ واژگان مهندسی نفت و HSE (بهداشت، ایمنی و محیط زیست) انگلیسی به فارسی"، نشر دانشگاهی فرهنگ.
- (۴). نگ وون جرن - ترجمه: اکبر زاده، عباس - جهانگیری راد، مهسا، (۱۳۹۲)، "تصفیه فاضلاب صنعتی"، انتشارات فدک ایساتیس.
- (۵). حسینیان، سید مرتضی، (۱۳۸۴)، "شناسایی آب و شناسایی فاضلاب"، انتشارات آوای قلم و شرکت آب و فاضلاب استان البرز.
- (۶). US Bureau of Reclamation and Sandia National Laboratories, 2003. Desalination and water purification technology roadmap-a report of the executive committee.
- (۷). Weber W.J. Jr., 2002. Distributed optimal technology networks: A concept and strategy for potable water sustainability. Water Sci. Technol. 46(6-7), 241-246.
- (۸). specialized blog chemical engineering Iran, talking about nano - technology, 2016.
- (۹). شریعت پناهی، محمد، (۱۳۹۱)، "اصول کیفیت و تصفیه آب و فاضلاب"، انتشارات دانشگاه تهران.

(۱۰). ژورنال پژوهش در بهداشت محیط / مقاله ۶ / دوره ۱ / شماره ۱ / بهار ۱۳۹۴ / صص ۴۳ تا ۴۸ /  
JREH.MUMS.AC.IR = Journal of Research in Enviromental Health مقاله  
استفاده از خاک رس در پیش تصفیه فاضلاب صنعت مقواسازی / محمد پذیرا

(۱۱). Li Y.H., J. Ding, Z.K. Luan, Z.C. Di, Y.F. Zhu, CL Xu, D.H. Wu & B.Q. Wei, 2003. Competitive adsorption of Pb<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> ions from aqueous solutions by multiwalled carbon nanotubes. Carbon 41(14), 2787–2792.

(۱۲). Freedonia Group, Inc., 2005. Nanomaterials – market size, market share, market leaders, demand forecast, sales, company profiles, market research, industry trends. Study: 1887. URL: <http://www.freedoniagroup.com/Nanomaterials.html>.

(۱۳). سیم چی، عبدالرضا، (۱۳۹۳)، "آشنایی با نانو ذرات: خواص، روش‌های تولید و کاربرد"، انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.

(۱۴). انبیاء، منصور و "همکاران"، (۱۳۸۷)، "مواد نانو پروس؛ سنتز، شناسایی و کاربردها"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

(۱۵). دیتر ولات – ترجمه: رضایی، مهدی و "همکاران"، (۱۳۹۲)، "نانو مواد؛ مقدمه‌ای بر تولید، خواص و کاربردها"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

(۱۶). پول چارلز پی – ترجمه: گلابی، سید مهدی، (۱۳۸۸)، "مقدمه‌ای بر نانو فناوری"، انتشارات دانشگاه تبریز.

(۱۷). جان چارلز کریتندن و "همکاران" – ترجمه: مسعودی نژاد، محمد رضا و "همکاران"، (۱۳۹۰)، "مبانی تصفیه آب"، انتشارات شهر آب و آینده سازان.

(۱۸). ززولی، محمد علی – یوسفی، ذبیح اله، (۱۳۸۸)، "اصول فرایندهای غشایی و کاربرد آنها در تصفیه آب و فاضلاب"، انتشارات آینده سازان و شهر آب.

(۱۹). Colvin V.L., 2003. The potential environmental impact of engineered nanomaterials. Nature Biotechnol. 10, 1166–1170.

(۲۰). Lecoanet H.F., J.Y. Bottero & M.R. Wiesner, 2004. Laboratory assessment of the mobility of nanomaterials in porous

(۲۱). Malik N., R. Wiwattanapatapee, R. Klopsch, K. Lorenz, H. Frey, J.W. Weener, E.W. Meijer, W. Paulus & R. Duncan, 2000. Relationship between



structure and biocompatibility in vitro, and<sup>1</sup> preliminary studies on the biodistribution of I-125- labelled polyamidoamine dendrimers in vivo. *J. Control. Release* 65((1-2), 133-148.

(۲۲). Jevprasesphant R., J. Penny, D. Attwood, N.B. McKeown & A. D'Emanuele, 2003. Engineering of dendrimer surfaces to enhance transepithelial transport and reduce cytotoxicity. *Pharm. Res.* 20(10), 1543-1550.

(۲۳). Fréchet J.M.J. & D.A. Tomalia, (Eds.). 2001. *Dendrimers and Other Dendritic Polymers*.

(۲۴). Lam C., J.T. James, R. McCluskey & R.L. Hunter, 2004. Pulmonary toxicity of carbon nanotubes in mice 7 and 90 days after intratracheal instillation. *Toxicol. Sci.* 77, 126-134.

(۲۵). Oberdorster E., 2004. Manufactured nanomaterials (Fullerenes, C-60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environ. Health Pers.* 112(10), 1058-1062.

(۲۶). Sayes C.M., J.D. Fortner, W. Guo, D. Lyon, A.M. Boyd, K.D. Ausman, Y.J. Tao, B. Sitharaman, L.J. Wilson, J.B. Hughes, J.L. West & V.L. Colvin, 2004. The differential cytotoxicity of water-soluble fullerenes. *Nano Lett.* 4(10), 1881-1887.

(۲۷). چالکش امیری، محمد، (۱۳۹۴)، "جداسازی ذرات ناخالص آب از میلیمتر (مواد معلق) تا آنگستروم (مواد محلول)"، انتشارات ارکان دانش

(۲۸). کارگر، مهدی و "همکاران"، (۱۳۹۰)، "کلیات بهداشت محیط (بر اساس کتاب سالواتو)"، انتشارات اندیشه رفیع

(۲۹). Luciana V. SABOYA, Jean-Louis.M. (2000). Current developments of microfiltration technology in the dairy industry. *Lait* 80: 541-553

(۳۰). مجموعه گزارش‌های رصد فناوری نانو، دفتر فناوری نانو ریاست جمهوری به نقل از: تحقیقات آنلاین، فایل‌های (U. S. SECURITIES AND EXCHANGE COMMISSION = SEC) گزارشات سالیانه، بروشورهای شرکت‌ها، اختراعات ثبت شده، مجلات کسب و کاری، فنی و صنعتی، اسناد کنفرانس‌ها، و مصاحبه با مدیران صنایع به عنوان منابع اطلاعاتی استفاده شده است.

همچنین اطلاعات آماری و برخی اطلاعات دیگر از وزارت بازرگانی آمریکا، انجمن فناوری غشایی آمریکا، انجمن بین المللی نمکزدایی، انجمن فعالیتهای مربوط به آب آمریکا، فدراسیون تحقیقاتی محیطزیست آبی، بنیاد WaterReuse، موسسه منابع آبی، شبکه MBR و مؤسسات دانشگاهی مختلف به دست آمده است. از استانداردهای مربوط به آب و نانو تکنولوژی زیر نیز استفاده شده است:

- CHM044C OZONE GENERATION: TECHNOLOGIES, MARKETS AND PLAYERS
- AVM043C NONWOVEN FILTER MEDIA: TECHNOLOGIES AND GLOBAL MARKETS
- MST052B SEAWATER AND BRACKISH WATER DESALINATION
- ENV008A GROWING MARKETS FOR WATER AND WASTEWATER TECHNOLOGIES
- MST049C MAJOR REVERSE OSMOSIS SYSTEM COMPONENTS FOR WATER TREATMENT: THE GLOBAL MARKET

و آدرس اینترنتی BCC: WWW. BCCRESEARCH. COM

## پیوست‌ها

## { پیوست شماره ۱ - آشنایی با برخی از تکنولوژی‌های نانو در تصفیه آب و پساب }

علاوه بر نانوذرات که در این پروژه مطالبی در معرفی آنها صورت پذیرفت، مواد دیگری در توسعه فناوری نانو، دخیل هستند که به صورت خلاصه، در ادامه معرفی می‌گردند:

### □ نانو تیوپ

نانوتیوپ‌ها ساختارهای توخالی دیگری هستند که از دو طرف باز شده‌اند و گروه‌های اتمی دیگری به آنها اضافه شده‌اند و یک ساختار شش گوشه را تشکیل می‌دهند. نانوتیوپ‌ها می‌توانند به عنوان یک ورقه گرافیت در نظر گرفته شوند که به دور یک لوله پیچیده شده‌اند.

### □ پلیمرهای سنتزی

کاربرد پلی‌مرهای سنتزی در داروسازی پیشرفت‌های چشمگیری داشته است. سبکی، نداشتن آثار جانبی و امکان شکل‌دهی پلیمرها، کاربرد آنها را در زمینه پزشکی و دامپزشکی افزایش داده است. در روشهای دارو رسانی مدرن، فرآورده شکل دارویی موثر خود را با یک روند مشخص شده قبلی برای مدت زمان معلوم بطور سیستماتیک به عضو هدف آزاد می‌کند. پلیمرها نه تنها به عنوان منابع ذخیره دارو و غشاء و ماتریکس‌های نگهدارنده عمل می‌کنند بلکه می‌توانند سرعت انحلال آزادسازی و تعادل دفع و جذب آزاد را در بدن کنترل کنند.

### □ دندریمر

دندریمر (پلی مر) یک طبقه جدید از مولکولهای سه بعدی مصنوعی هستند که از مسیر و راه نانو سنتزی به دست آمده‌اند که این دندریمرها از توالی‌ها و شاخه‌ای تکراری حاصل آمده‌اند. ساختار چنین ترکیباتی از یک درجه بالای تقارن برخوردار است.

## □ نقاط کوانتومی

نقاط کوانتومی، کریستالهایی در مقیاس نانومتری هستند که اساساً در اواسط ۱۹۸۰ برای کاربردهای اپتوالکترونیک به کار برده شدند. آنها در طی سنتز شیمیایی در مقیاس نانو ایجاد می‌شوند و از صدها یا هزاران اتم در نهایت یک ماده نیمه‌هادی معدنی تشکیل شده‌اند که این ماده به اتمها خاصیت فلورنس می‌دهد.

وقتی یک نقطه کوانتومی با یک پرتو نور برانگیخته می‌شود، آنها دوباره نور را منتشر می‌کنند. میزان یک طیف نشری متقارن باریک مستقیم به اندازه کریستال بستگی دارد. این بدان معنی است که اجرام کوانتومی می‌توانند به خوبی برای انتشار نور در طول موجهای مختلف طراحی شوند. اینک با استفاده از این علم‌های نوظهور و در راستای تلاش برای حل بحران‌های آب و توسعه علم و فن‌آوری کشور، ضرورت دارد که گام‌هایی برداشته شود.

## □ نانولوله‌های کربنی

نانولوله‌های کربنی<sup>۱</sup> که به نام باکی تیوب نیز شناخته می‌شوند، آلوتروپ‌هایی از کربن هستند که دارای ساختار استوانه‌ای می‌باشند. این لوله‌های ریز یکی از اعضای خانواده فولرین به شمار رفته و به دو شکل نانولوله‌های کربنی تک دیواره<sup>۲</sup> یا نانولوله‌های کربنی چنددیواره<sup>۳</sup> وجود دارند. قطر بسیاری از نانولوله‌های کربنی تک دیواره نزدیک ۱ نانومتر بوده و طول آنها می‌تواند چند میلیون برابر بیشتر باشد. ساختار یک نانولوله کربنی تک دیواره شبیه یک لایه با ضخامت یک اتم از گرافیت یا همان صفحه گرافن است که پیچ‌خورده و به شکل یک استوانه بی‌درز درآمده است. نانولوله‌های کربنی چنددیواره از چند لوله هم‌مرکز گرافیتی تشکیل می‌شوند. دو مدل برای توصیف ساختار نانولوله‌های کربنی چند دیواره وجود دارد. در مدل «عروسک روسی»<sup>۴</sup> ورقه‌های گرافیت به شکل استوانه‌های هم مرکز آرایش می‌یابند.

در مدل «کاغذ پوست»<sup>۵</sup>؛ یک ورقه منفرد گرافیتی به دور خود پیچ خورده و به شکل یک طومار پوستی یا روزنامه پیچ خورده درمی‌آید. نانولوله‌های کربنی از نظر استحکام کششی و

---

<sup>۱</sup> CNT

<sup>۲</sup> SWNT

<sup>۳</sup> MWNT

<sup>۴</sup> RUSSIAN DOLL

<sup>۵</sup> PARCHMENT

مدول الاستیک به ترتیب محکم‌ترین و سفت‌ترین موادی هستند که تاکنون کشف شده‌اند. ویژگی‌های الکترونیکی این مواد نیز خارق‌العاده بوده و بسته به ساختار خود می‌توانند به شکل یک فلز یا یک نیمه‌رسانا عمل کنند. محققان بر این باورند که نانولوله‌های کربنی در مقایسه با فناوری‌های دیگری که در تصفیه آب و فاضلاب به کار می‌روند، دارای مزایای زیادی هستند.

چون این مواد قابلیت استفاده مجدد را دارند، نسبت به غشاهای معمول که باید به صورت متناوب جایگزین شوند، از کارایی بیشتری برخوردارند. همچنین به دلیل آبگریز بودن طبیعی این مواد و انتخاب‌گری شیمیایی آنها، به انرژی کمتری برای کار نیاز دارند؛ لازم به ذکر است که نانولوله‌های کربنی را می‌توان عامل‌دار کرده و از آنها به صورت هدفمند برای حذف آلاینده‌های مختلف بهره برد.

با وجود نوید بخش بودن این مواد در کاربردهای تجاری و صنعتی، مطالعاتی در زمینه بررسی اثر سمیت آنها در حال انجام است که نشان می‌دهند هر یک از مزایای ذکر شده هزینه‌ای برای انسان و محیط‌زیست دارند. به نظر می‌رسد استفاده از نانولوله‌های کربنی در فیلتراسیون ساده مقرون به صرفه باشد. شرکت‌ها و محققان زیادی با استفاده از نانولوله‌های کربنی فیلترهایی برای تصفیه آب تولید کرده‌اند. ابعاد حفرات نانولوله‌ها را می‌توان با تغییر اندازه نازل پاششی و نرخ جریان محلول کنترل کرد. فیلتر ساخته شده را می‌توان با استفاده از امواج ماورای صوت و یا حرارت تمیز کرد، زیرا نانولوله‌های کربنی از نظر ساختاری و حرارتی بسیار مقاوم هستند. محققان بر این باورند که در ظرف ۵ سال یک فیلتر کاربردی تولید خواهند کرد.

## □ زئولیت‌های نانوبلوری

زئولیت‌ها گروه وسیعی از مواد بلوری حفره‌ای (طبیعی یا سنتزی) هستند که به طور معمول از سیلیکون، آلومینیوم و اکسیژن تشکیل می‌شوند. این ساختار حفره‌ای می‌تواند کاتیون‌های مختلفی همچون  $\text{Na}^+$ ،  $\text{K}^+$ ،  $\text{Ca}^{2+}$  و  $\text{Mg}^{2+}$  را در خود جای دهد.

این یون‌های به شکلی ضعیف به ساختار حفره پیوند یافته‌اند و می‌توانند با هر یون دیگری در محلول جایگزین شوند. از ویژگی‌های زئولیت‌ها می‌توان به ظرفیت بالای مبادله یون، مساحت سطحی ویژه زیاد و پایداری بالای هیدروترمال اشاره کرد. به دلیل همین ویژگی‌ها به طور معمول از زئولیت‌ها به عنوان جاذب‌های تجاری استفاده می‌شود. همچنین

این مواد به طور گسترده‌ای به عنوان کاتالیزور در فرایندهای پتروشیمیایی به کار می‌روند. با استفاده از روش‌های معمول تولید، زئولیت‌هایی در مقیاس ۱۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ نانومتر تولید می‌شوند. با این حال از آنجایی که اندازه حفرات این ساختارها در ابعاد مولکولی (بین ۰/۴ تا ۱ نانومتر) است، زئولیت‌ها به عنوان نانوماده طبقه‌بندی می‌شوند. اخیراً محققان شروع به سنتز زئولیت‌های نانوبلوری نموده‌اند تا کاربردهای جدید این مواد را مورد بررسی قرار دهند.

زئولیت‌های نانوبلوری از بلورهای یکنواخت و مشخص با ابعاد زیر ۱۰۰ نانومتر تشکیل شده‌اند. این ذرات نانومقیاس در مقایسه با زئولیت‌ها معمول دارای مساحت سطحی خارجی بیشتر و مسیرهای انتشار کوتاه‌تری بوده و ظرفیت جذبی آنها درصدی بیشتر است. می‌توان زئولیت‌های نانوساختار را به شکل فیلم‌های نازک یا نانوساختارهای دیگری همچون غشاهای جداسازی درآورد.

زئولیت‌های معمولی توانایی حذف آلاینده‌های کاتیونی آب همچون آمونیوم و فلزات سنگین و مواد شیمیایی همچون سریم ۱۳۷ و استرانسیوم ۹۰ را دارا هستند؛ این دو عنصر آلاینده‌های رادیواکتیوی هستند که در پساب نیروگاه‌های هسته‌ای و آب‌های زیرزمینی آلوده یافت می‌شوند.

زئولیت‌ها همچنین می‌توانند MTBE (یک افزودنی بنزین که به عنوان یک آلاینده در سطح وسیعی پخش شده است)<sup>۱</sup> را از آب جدا نمایند. به علاوه تحقیقاتی روی زئولیت‌های تغییر یافته با مواد فعال سطحی صورت گرفته است تا از آنها به عنوان عامل تصفیه در حذف پرکلرواتیلن (PCE)<sup>۲</sup>، کرومات و BTEX<sup>۳</sup> از آب‌های زیرزمینی استفاده شود.

در حال حاضر زئولیت‌های نانوبلوری برای این کاربرد در مرحله تحقیقات قرار دارند و هیچ فرایند اصلاحی خاصی برای آب‌های زیرزمینی با استفاده از این مواد پیشنهاد نشده است. حذف رنگ‌ها و آلاینده‌های آلی سومین کاربرد اصلی زئولیت‌های معمولی است. با این حال از آنجایی که بیشتر رنگ‌های آلی به صورت توده‌ای هستند، حذف آنها با استفاده از زئولیت‌ها کند یا ناقص بوده و برای تکمیل فرایند نیاز به مقادیر اضافی زئولیت وجود دارد.

در حذف رنگ‌ها و آلاینده‌های آلی، عملکرد زئولیت‌های نانومقیاس میان ساختار<sup>۴</sup> به دلیل اندازه حفرات و مساحت سطحی بیشتر، بهتر از زئولیت‌های معمولی است.

<sup>۱</sup> METHYL TERTIARY BUTYL ETHER

<sup>۲</sup> PERCHLOROETHYLENE

<sup>۳</sup> BENZENE TOLUENE ETHYLBENZENE AND XYLENE

<sup>۴</sup> MESOSTRUCTURED

## □ پلیمرهای زیستی تنظیم‌پذیر<sup>۱</sup>

پلیمرهای زیستی تنظیم‌پذیر پلیمرهای پروتئینی مصنوعی یا سنتزی هستند که در سطح مولکولی دارای سازمان‌دهی و کنترل‌پذیری جدیدی هستند. محققان با استفاده از مهندسی ژنتیک و روش‌های نو ترکیبی DNA<sup>۲</sup> می‌توانند پلیمرهای زیستی نانومقیاس جدیدی تولید کنند. این کار از طریق ایجاد یک بستر ژنتیکی سنتزی که توالی، اندازه، ترکیب و عملکرد پلیمر زیستی را تعیین می‌کند، انجام می‌گیرد.

پلی پپتیدهای الاستین مانند (ELP)<sup>۳</sup> نوعی از پلیمرهای زیستی با ویژگی‌های منحصر به فرد هستند که کاندیدای مناسبی برای سنتز پلیمرهای زیستی تنظیم‌پذیر به شمار می‌روند.

ELP ها که از پتتا پپتید تکراری ساخته می‌شوند، با افزایش دما دچار یک انتقال فاز برگشت‌پذیر شده و از شکل محلول در آب یا محلول پلیمری به حالت توده‌ای یا متراکم در می‌آیند. با تغییر طول زنجیره پپتیدی و توالی آن می‌توان دمای انتقال فاز را کنترل کرد. همچنین pH، قدرت یونی، فشار و تغییرات کووالانسی بر این دما تأثیر می‌گذارند. می‌توان ELP را از طریق بیان بیش از حد<sup>۴</sup> در باکتری اشرشیاکلی به دست آورد. سپس با بهره‌گیری از ویژگی دمایی این پلیمر، ELP خالص‌سازی می‌شود. این ویژگی حساسیت به دما آن را به گزینه مناسبی برای تولید پلیمرهای زیستی تبدیل می‌کند.

ELP را می‌توان از طریق آمیختن آن با پپتیدها یا پروتئین‌های دیگر عامل‌دار نمود؛ در این حالت همچنان حساسیت این پلیمر به دما حفظ می‌شود. پلیمرهای زیستی تنظیم‌پذیر که به فلزات سنگین متصل می‌شوند، در مقیاس آزمایشگاهی سنتز شده‌اند؛ این ویژگی آنها را به گزینه‌های مناسبی برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب (و خاک) تبدیل می‌کند.

با امتزاج ELP با پروتئین‌های هدف‌گیر می‌توان پلیمرهای زیستی مختلفی تولید کرد که قابلیت اتصال اختصاصی به فلزاتی همچون جیوه، آرسنیک، سرب و فلزات دیگر را دارند. تاکنون پلیمرهای زیستی تنظیم‌پذیری که به کادمیوم و جیوه پیوند می‌یابند، ساخته شده‌اند.

<sup>۱</sup> TUNABLE BIOPOLYMERS

<sup>۲</sup> DEOXYRIBONUCLEIC ACID

<sup>۳</sup> ALASTINE POLY PEPTID

<sup>۴</sup> OVEREXPRESSION



## □ درخت سآنها

دسته جدیدی از پلیمرهای سه بعدی بسیار شاخه‌ای و کروی هستند که تحت مجموعه پلیمرهای درخت‌سانی قرار می‌گیرند. این مولکول‌ها از سه بخش تشکیل می‌شوند که به صورت کوالانسی به یکدیگر پیوند یافته‌اند: یک هسته، سلول‌های شاخه داخلی، سلول‌های شاخه انتهایی. روش‌های سنتزی امکان کنترل ساختار و ترکیب درخت‌سآنها را ایجاد می‌کنند. پارامترهایی همچون اندازه، شکل، شیمی سطحی یا داخلی، انعطاف‌پذیری و توپولوژی نوع درخت‌سان را تعیین می‌کنند. اندازه درخت‌سآنها از ۲ تا ۲۰ نانومتر است. این مولکول‌ها به طور معمول به شکل مخروط، کره یا دیسک هستند.

به تغییر شیمی سطحی و درون می‌توان این مولکول‌ها را عامل‌دار کرد تا بتوانند در حلال مناسب حل شده و به مولکول‌های هدف متصل شوند درخت‌سآنها کاربردهای بالقوه زیادی در حوزه تصفیه آب و به خصوص تصفیه آب‌های آلوده دارند.

درخت‌سآنها پلی «آمیدو آمین» یا PAMAM عوامل شالته‌کننده خوبی برای یون‌های فلزی به شمار می‌روند. اصطلاح پامام به سلول‌های شاخه درونی باز می‌گردد که شامل گروه‌های عاملی نیتروژن و آمید بوده و به صورت تکراری پیوند یافته‌اند. درخت‌سآنها این گروه می‌توانند هسته و گروه‌های عاملی انتهایی متنوعی داشته باشند.

محققان برای سنتز درخت‌سآنها می‌توانند فلزات را از آب حذف کنند، از یک هسته اتیلن‌دی‌آمینی (EDA) استفاده کرده‌اند. توانایی انتخاب‌گروه‌های عاملی مختلف بر کارایی این درخت‌سآنها به عنوان عامل شالته‌کننده فلزات افزوده است. پژوهشگران گروه‌های انتهایی سطحی از نوع آمین نوع اول، سوکسینامیک اسید، گلیسیدول، هیدروکسیل و استامید را مطالعه کرده‌اند. درخت‌سآنها پامام برای استفاده در تصفیه پساب و خاک آلوده به یون‌های فلزات واسطه (همچون مس) تولید شده‌اند.

## □ اولترافیلتراسیون بهبودیافته با درخت‌سآنها<sup>۱</sup>

نوعی اولترافیلتراسیون بهبودیافته با پلیمر<sup>۲</sup> محسوب می‌شود؛ اولترافیلتراسیون بهبودیافته با پلیمر نوعی روش تصفیه‌ای جدید برای حذف یون‌های فلزی از جریان‌ات پسابی است.

<sup>۱</sup> DEUF= DENDRIMER-ENHANCED ULTRAFILTRATION

<sup>۲</sup> PEU = POLYMER-ENHANCED ULTRAFILTRATION

اساس کار این دو روش یکسان است: اتصال یون‌های فلزی به پلیمرها یا درخت‌سآنها و سپس حذف آلاینده‌ها از طریق فیلتراسیون غشایی. پس از فیلتراسیون می‌توان فلزات را از پلیمرها یا درخت‌سآنها جدا کرد و مجدداً از آنها استفاده نمود.

## □ تک لایه‌های خود آرا روی بستر مزوحفره‌ای<sup>۱</sup>

**SAMMS** که در آزمایشگاه ملی پسیفیک نورث وسترن تولید شده‌اند، نانومواد بسیار عامل‌دار با مساحت سطحی بسیار زیاد، سینتیک سریع، ظرفیت بارگذاری بالا و انتخاب‌گری بی‌نظیر هستند. انتظار می‌رود این ویژگی‌های سامس را به گزینه ارزشمندی در رفع آلودگی آب‌های آلوده، تصفیه آب، کاتالیزور، حسگری و رهایش کنترل شده تبدیل سازد. این نانوماده خاص با اتصال یک تک لایه مولکولی به یک بستر سرامیکی میان حفره‌ای ساخته می‌شود. اندازه بزرگ‌تر حفرات ماده میان حفره‌ای (بین ۲ تا ۵۰ نانومتر) امکان اتصال تک لایه مولکولی و همچنین دسترسی به نقاط پیوند درون حفرات را فراهم می‌آورد.

مساحت سطحی بسیار بالای این مواد (حدود ۱۰۰۰ متر مربع بر گرم) نیز به معنی چگالی بالای نقاط پیوندی است. هم تک لایه رویی و هم بستر میان حفره‌ای را می‌توان به نحوی تنظیم کرد که مناسب کاربردهای خاص باشند.

به عنوان مثال گروه‌های عاملی در انتهای آزاد تک لایه را می‌توان به نوعی طراحی کرد که به صورت انتخابی به مولکول‌های مورد نظر پیوند یابند؛ از سوی دیگر اندازه حفره، طول تک لایه و چگالی را می‌توان به شکلی تنظیم کرد که موجب ایجاد ویژگی‌های انتشاری و سینتیکی خاص در ماده شوند. تیول- سامس، توسعه یافته‌ترین نوع این نانوماده محسوب می‌شود که به طور اختصاصی برای حذف جیوه از محیط‌های آبی و غیرآبی تولید شده است. این ماده می‌تواند به شکل‌های کاتیونی، آلی، فلزی و کمپلکسی جیوه پیوند یابد.

همچنین نشان داده شده است که تیول- سامس به پیوند با فلزات سنگین «نرم» دیگری همچون سرب، کادمیوم، طلا، نقره و مس تمایل دارد. آنیون- سامس، از کمپلکس‌های فلزی کاتیونی بهره می‌برد که روی سیلیکای میان حفره‌ای تثبیت شده‌اند؛ این ماده می‌تواند به آنیون‌های سمی همچون کرومات، آرسنات و پرتکتات پیوند یابد.

<sup>۱</sup> SAMMS

**SAMMS** های شلاته کننده مختلفی برای حذف یون‌های فلزی تولید شده‌اند. در این مواد با بهره‌گیری از همان روشی که برای تهیه تیول- سامس استفاده شده است، گروه‌های عاملی روی سطح ماده میان حفره‌ای متصل می‌شوند. از جمله این گروه‌های عاملی می‌توان به اتیلن دی آمین (EDA)، اتیلن دی آمین تریاستیک اسید، ۱ و ۱۰ - فنانترولین و هیدروکسی پیریدینونات (HOPO) اشاره کرد. گروه شلاته کننده با توجه به مولکول هدف انتخاب می‌شود؛ به عنوان مثال EDA برای حذف مس و HOPO برای حذف آکتنیدها مناسب هستند.

#### □ نانوذرات تک آنزیمی (SEN ها)

نانوذرات تک آنزیمی برای اولین بار در سال ۲۰۰۳ برای غلبه بر مشکلات مربوط به شکل‌های معمولی آنزیم در لابراتوار<sup>۱</sup> ایجاد شدند.

آنزیم‌های زیست به دلیل اختصاصی بودن و کارایی هدفمند می‌توانند قابلیت‌های بسیار زیادی در تبدیل‌های شیمیایی، حسگری زیستی و اصلاح زیستی داشته باشند.

اما پایداری کم و طول عمر کوتاه آنها از استفاده مقرون به صرفه از این ساختارها در کاربردهای ذکر شده جلوگیری می‌کند.

تبدیل آنزیم‌های آزاد به نانوذرات حاوی آنزیم می‌تواند به فعالیت کاتالیستی با پایداری بسیار بالاتر منجر شود.

نانوذرات تک آنزیمی به عنوان آنزیم‌های «زره پوش» نیز شناخته می‌شوند که در آنها مولکول آنزیم درون یک قفس محافظ از جنس سیلیکات به ضخامت چند نانومتر حفاظت می‌شود. این قفس محافظ به سطح آنزیم متصل شده و بیشتر آن را می‌پوشاند؛ با این حال بخش فعال آنزیم از نظر شیمیایی در دسترس بوده و در نتیجه عملکرد آنزیم حفظ می‌شود.

سنتز نانوذرات تک آنزیمی با تغییر کووالانسی سطح آنزیم و ایجاد گروه‌های وینیل روی آن آغاز می‌شود؛ بدین ترتیب آنزیم می‌تواند در یک حلال غیرقطبی آب‌گریز حل شود. در مرحله دوم، مونومرهای سیلان حاوی گروه‌های وینیل و تری متوکسی سیلان با آنزیم تغییر یافته مخلوط می‌شوند.

<sup>۱</sup> PNNL = PACIFIC NORTHWESTERN NATIONAL LABORATORY

پلیمریزاسیون گروه‌های وینیل موجب ایجاد یک پلیمر خطی می‌شود که حاوی گروه‌های آزاد تری‌متوکسی‌سیلان متصل شده به سطح آنزیم هستند. مرحله نهایی که موجب ایجاد پوسته سیلیکاتی دارای پیوندهای عرضی می‌شود، نیاز به هیدرولیز گروه‌های تری‌متوکسی‌سیلان و سپس انجام واکنش تراکمی روی سیلانول‌ها دارد. نانوذرات تک آنزیمی در حوزه پالایش آب‌های زیرزمینی چندین مزیت نسبت به روش سنتی اصلاح میکروبی دارند. این ذرات می‌توانند در تصفیه ترکیبات مقاوم<sup>۱</sup> به کار رفته و در برابر شرایط سختی همچون pH بسیار بالا یا پایین، غلظت بالای آلاینده، شوری زیاد و دمای بسیار بالا یا پایین مقاومت نمایند. به علاوه، آنزیم‌ها نیاز به سازگاری با مواد غذایی یا جرم زیستی ندارند. همچنین با استفاده از نانوذرات تک‌آنزیمی حد واسط‌ها و محصولات جانبی متابولیسمی و محدودیت‌های انتقال جرم که حاصل از نقل و انتقالات سلولی است، حذف می‌شوند. نوع آنزیم به کار رفته به آلاینده هدف بستگی دارد. پراکسیدازها، پلی‌فنول اکسیدازها، دهالوژنازها و هیدرولازهای ارگانو فسفر، از آنزیم‌های مفید در این زمینه به شمار می‌روند.

وجود آنزیم‌های متنوع امکان حذف آلاینده‌های متفاوتی همچون فنول‌ها، پلی اروماتیک‌ها، مواد رنگی، ترکیبات کلر دار، آفت‌کش‌های ارگانو فسفاتی، عامل‌های اعصاب و همچنین مواد منفجره را فراهم می‌آورد.

بیشتر تحقیقات انجام شده در زمینه نانوذرات تک آنزیمی روی کیموتریپسین<sup>۲</sup> متمرکز بوده‌اند، با این حال محققان بر این باورند که این فناوری قابل انتقال به آنزیم‌های دیگر بوده و در نتیجه می‌توان اصلاح آنزیمی را به یک فرایند مقرون به صرفه تبدیل کرد. همچنین ممکن است نانوذرات تک آنزیمی بتوانند در تجزیه فیلم‌های زیستی نیز مفید باشند؛ این فیلم‌ها در برخی از روش‌های تصفیه آب همچون اسمز معکوس و نانوفیلتراسیون مشکلاتی ایجاد می‌کنند. آنزیم‌های به کار رفته در این کاربرد بسیار انتخابگر بوده و پایداری بستر پلی‌ساکاریدی برون سلولی<sup>۳</sup> را برهم می‌زنند.

---

<sup>1</sup> RECALCITRANT COMPOUNDS

<sup>2</sup> CHYMOTRYPSIN

<sup>3</sup> EPS= EXTRA-CELLULAR POLYSACCHARIDE

## □ نانوذرات آهن

نشان داده شده است که آهن نانومقیاس با ظرفیت صفر (NZVI) یا نانوذرات آهن فلزی می‌توانند در رفع آلودگی آب‌های زیر زمینی و خاک‌های آلوده مفید باشند.

این ذرات به دلیل دارا بودن مساحت سطحی زیاد بسیار فعال هستند. در حضور اکسیژن و آب این نانوذرات اکسید شده و به یون‌های آزاد آهن تبدیل می‌شوند.

نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به طور گسترده‌ای در کاربردهای پزشکی و آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. استفاده از آهن نانومقیاس در تصفیه درجای آب‌های زیرزمینی و حذف VOC های کلردار، ترکیبات آروماتیک هالوژنه، علف‌کش‌ها و آفت‌کش‌ها، PCB ها، کرومات، پرکلرات و آرسنیک به طور روز افزونی مورد توجه محققان قرار دارد. نه تنها اندازه کوچک نانوذرات بر عملکرد و طول عمر آنها تأثیر می‌گذارد، بلکه ترکیب و شکل این ذرات نیز اثر مهمی روی عملکرد اصلاحی آنها دارند. استفاده از آهن نانومقیاس در فرایندهای تصفیه مزایایی نسبت به آهن میکرو مقیاس دارد.

به طور معمول نانوذرات آهن به شکل دوغاب درآمده و به درون زمین پمپ می‌شود.

در آنجا این ذرات به بیرون تراوش کرده و یک مانع تراوا تشکیل می‌دهند که مواد شیمیایی سمی را از آب‌های زیرزمینی حذف می‌کند.

نانوذرات آهن را می‌توان تقریباً به هر عمق و ساختار زمین‌شناسی پمپ کرد. این ذرات به دلیل دارا بودن مساحت سطحی زیاد، قابلیت ترکیب با کاتالیزورهای فلزی نجیب (مثل پالادیوم، پلاتین، رودیوم، ایریدیوم) و امکان انجام واکنش‌های اکسیداسیونی قوی، گزینه جذابی برای تصفیه موثر و اقتصادی آب به شمار می‌روند. نانوذرات آهن به کمک نیروی جاذبه به درون زمین نفوذ کرده و به دلیل ویژگی‌های الکتروستاتیکی مبتنی بر pH و نیروهای واندروالسی به سمت ذرات دیگر جذب می‌شوند. آهن می‌تواند با مواد معدنی نامحلول در آب همچون نترات‌ها، بی‌کربنات‌ها و سولفات‌ها و همچنین با اجزای آلی آب واکنش داده و آنها را احیا کند.

اکسیدهای آهن حاوی پوسته مگنتیتی با سولفور بالا می‌توانند تتراکلرید کربن را به خوبی تجزیه کرده آن را به اجزای بی‌ضرر تبدیل نمایند. تغییر مورفولوژی سطحی تک تک نانوذرات می‌تواند موجب افزایش واکنش‌پذیری آنها از طریق افزایش بیشتر مساحت سطحی

گردد. ویژگی دیگر نانوذرات آهن این است که علاوه بر واکنش کاتالیستی اولیه و سریع که به صورت درجا انجام می‌شود، می‌توانند تا ۸ هفته فعالیت کاتالیستی خود را حفظ کنند. بررسی‌های نشان داده‌اند که این نانوذرات می‌توانند تا حدود ۲۰ متر همراه با آب‌های زیرزمینی جابه‌جا شوند.

سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا در حال بررسی استفاده از این ماده در چندین نقطه پاکسازی مختلف است. قیمت هر کیلوگرم نانوذره آهن بین ۵۰ تا ۱۰۰ دلار متغیر است؛ پیشرفت‌های حاصل در زمینه روش‌های تولیدی هزینه این نانوذرات را به سرعت کاهش می‌دهد. برای استفاده عملی از این نانوذرات در رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی به چندین تن از این ماده نیاز خواهد بود.

#### □ نانوذرات اکسید آهن مغناطیسی (نانوزنگ آهن)

نانوذرات اکسید آهن مغناطیسی که به نام نانوزنگ نیز شناخته می‌شود، می‌تواند در حذف آرسنیک از آب‌های آشامیدنی مورد استفاده قرار بگیرد. سپس می‌توان با استفاده از یک آهنربای تجاری این ذرات را به راحتی از آب جدا کرد. این نانوذرات دارای مساحت سطحی بسیار بالایی هستند که موجب می‌شود بتوانند نسبت به آهن توده‌ای ۱۰۰ برابر آرسنیک بیشتری جذب کنند. بنا بر گفته محققان دانشگاه رایس که روی نانوذرات مگنتیت<sup>۱</sup> کار می‌کنند، ۲۰۰ تا ۵۰۰ میلی گرم از این نانوذرات برای تصفیه ۱ لیتر آب کافی خواهد بود. این پژوهشگران با استفاده از زنگ آهن و اسیدهای چرب (روغن زیتون یا روغن نارگیل) یک فرایند تولیدی برای نانوذرات مگنتیت ارائه داده‌اند که می‌تواند روی یک اجاق غذاپزی اجرا شود. این فرایند هزینه تولید را تا حد زیادی کاهش داده و نانوزنگ آهن را به محصول پایداری برای جوامع در حال توسعه تبدیل می‌سازد. در فرایند استفاده از نانوزنگ برای حذف آرسنیک به آهن ربا‌های الکتریکی بزرگ نیازی نیست، اما در برخی موارد بهره‌گیری از مگنت‌های دستی کارایی بسیار خوبی داشته است. محققان بر این باورند که دلیل این امر برهم‌کنش‌های مغناطیسی میان خود نانوذرات است.

---

<sup>۱</sup> Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>

## □ نانوذرات دو فلزی

تحقیقات نشان داده است که از نانوذرات دو فلزی همچون آهن/پالادیوم، آهن/نقره یا روی/پالادیوم می‌توان در حذف آلاینده‌های مختلفی مانند بی‌فنیل‌های پلی‌کلره (PCB ها)، آفت‌کشهای آرگانوکلره و حلال‌های آلی هالوژن‌دار از آب‌های زیر زمینی بهره برد. استفاده از ذرات دو فلزی نانومقیاس محصولات جانبی نامطلوبی را که حاصل فرایندهای معمول تصفیه آب است، حذف می‌کند.

## □ نانوذرات آهن/پالادیوم

نانوذرات دوفلزی آهن/پالادیوم به دلیل دارا بودن اندازه کوچک (۱ تا ۱۰۰ نانومتر)، مساحت سطحی بالا (حدود ۳۵ مترمربع بر گرم) و فعالیت کاتالیزوری می‌توانند در تصفیه آب مفید باشند. این ذرات عملکرد بسیار خوبی در حذف آلاینده‌های آلی کلردار از خود نشان داده و کارایی آنها تا ۴۲۹ برابر بیشتر از کارایی ذرات آهن تجاری بود.

نانوذرات آهن/پالادیوم می‌توانند بدون تولید هیچ‌گونه حد واسط سمی، آب را به طور کامل کلرزدایی کنند؛ همچنین عملکرد این ذرات طولانی مدت و پایدار است. نانوذرات Pd/Fe جزء موفق‌ترین نانوذرات دوفلزی آهن به شمار می‌روند که در رفع آلودگی آب‌های زیرزمینی مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

## □ نانوذرات طلا/پالادیوم

نشان داده شده است که نانوذرات طلای پوشیده شده با اتم‌های پالادیوم می‌توانند به طرز موثری تری کلرو اتن را از آب‌های زیرزمینی حذف کنند (۲۲۰ برابر بهتر از پالادیوم خالص)؛ تری کلرو اتن معمول‌ترین آلاینده آب‌های زیرزمینی در آمریکا به شمار می‌رود. کاتالیزور پالادیوم می‌تواند تری کلرو اتن را به خوبی به اتان (غیرسمی) تجزیه کند. در مقابل کاتالیزورهای دیگری همچون آهن می‌توانند محصولات جانبی سمی مانند وینیل کلراید ایجاد کنند. چالشی که در استفاده از این مواد وجود دارد، یافتن بهترین روش تماس آب آلوده با کاتالیزور فلزی است. به طور معمول آب آلوده از سفره آب زیرزمینی به بیرون پمپ شده، با کاتالیزور واکنش داده و دوباره به درون زمین بازگردانده می‌شود.

## □ نانوذرات دو فلزی دیگر

محققان دانشگاه **Lehigh** روی فرایندی کار می‌کنند که می‌تواند در روز ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ گرم نانوذره دو فلزی تولید کند. علاوه بر نانوذرات دو فلزی که در بالا توضیح داده شدند، می‌توان از نانوذرات آهن/نقره، آهن/نیکل، آهن/کبالت و آهن/مس نام برد. نشان داده شده است که نانوذرات دو فلزی می‌توانند پراکرات را به طور کامل به کلراید تجزیه کنند. سرعت این واکنش به دما وابسته است (مثلاً در ۷۵ درجه سانتی گراد حدود ۱/۵ میلی گرم بر هر گرم آهن).

## □ نانوذرات فلزی غیرآهنی

آلومینا، منیزیم، نقره و فلزات غیرآهنی دیگر نیز می‌توانند در تصفیه آب مورد استفاده قرار بگیرند.

## □ نانوذرات آلومینا

در حال حاضر از آلومینای فعال شده که شکل دانه‌ای (گرانولی) اکسید آلومینیوم است، در حذف آرسنیک و فلوئور از آب استفاده می‌شود. مطالعاتی در زمینه استفاده از نانوذرات آلومینا به عنوان جاذب آرسنیک و فلزات سنگین دیگری همچون سرب از آب آلوده در جریان است. غشاهای ساخته شده از نانوذرات آلومینا انتخاب‌گری بالایی برای برخی از رنگ‌های سنتزی همچون **Direct Blue**، **Direct Red** و **Direct Yellow** از خود نشان می‌دهند. با وارد کردن ناخالصی‌های آهن، منگنز و لانتانیم به این نانوذرات می‌توان انتخاب‌گری و سرعت جریان این غشاها را افزایش داد. با بهره‌گیری از نانوذرات طلا و نقره در حالت محلول و یا رسوب داده روی آلومینای فعال می‌توان آفت‌کش‌هایی همچون کلرپیریفوس<sup>۱</sup> و مالاتیون<sup>۲</sup> را از آب حذف کرد. حذف کامل زمانی اتفاق می‌افتد که آب آلوده از روی نانوذرات قرار گرفته روی آلومینا عبور داده شود.

---

<sup>۱</sup> CHLORPYRIFOS

<sup>۲</sup> MALATHION



## □ نانوذرات منیزیم و اکسید منیزیم

نانوذرات، نانونقاط یا نانوپودر اکسید منیزیم (منیزیا) ذرات یاقوتی با اندازه ۵ تا ۱۰ نانومتر و با مساحت سطحی ۲۵ تا ۵۰ متر مربع بر گرم هستند.

نانوذرات، نانونقاط یا نانوپودر منیزیم نیز ذرات سیاه با اندازه ۲۰ تا ۶۰ نانومتر و مساحت سطحی ۳۰ تا ۷۰ متر مربع بر گرم هستند. هر دوی این ذرات پادزیست‌های موثری علیه باکتری‌های گرم مثبت<sup>۱</sup> و گرم منفی<sup>۲</sup> به شمار می‌روند (باکتری‌هایی همچون اشرشیاکلی، باسیلوس مگاتریوم<sup>۳</sup>، و هاگ‌های باکتریایی همچون باسیلوس سابتیلوس<sup>۴</sup>).

## □ نانوذرات نقره

قطر نانوذرات نقره به طور معمول بین ۱ تا ۴۰ نانومتر و مساحت سطحی میانگین آنها حدود ۱ متر مربع بر گرم است. با وجودی که این ذرات «نقره» نامیده می‌شوند، اما به دلیل نسبت بالای سطح به حجم این ذرات، حاوی درصد بالایی اکسید نقره هستند. روش‌های سنتزی مختلفی برای ساختن این ذرات وجود دارد. این روش‌ها در سه دسته کلی رسوبدهی فیزیکی بخار، جایگذاری یونی<sup>۵</sup> و شیمی تر طبقه‌بندی می‌شوند. نانوذرات نقره به عنوان پرکننده رسانا و همچنین در نانوسیم‌ها و کاربردهای کاتالیزوری خاص به کار می‌روند. چون این ذرات دارای ویژگی ضد میکروبی، آنتی‌بیوتیکی و ضد قارچی هستند، می‌توانند در روکش‌ها، نانوالیاف، بانداژها، پلاستیک‌ها، صابون‌ها و پارچه‌ها وارد شده و در کشتن ویروس‌های خاص و همچنین در پارچه‌های خود تمیز شونده مورد استفاده قرار بگیرند. این ذرات همچنین پادزیست‌های فعالی علیه باکتری‌های گرم مثبت و گرم منفی به شمار می‌روند (باکتری‌هایی همچون اشرشیاکلی، استافیلوکوکوس آریوس<sup>۶</sup>، کلبسیلا نیومونیا<sup>۷</sup> و سودوموناس آروگینوسا<sup>۸</sup>).

<sup>1</sup> GRAM-POSITIVE

<sup>2</sup> GRAM-NEGATIVE

<sup>3</sup> BACILLUS MEGATERIUM

<sup>4</sup> BACILLUS SUBTILLUS

<sup>5</sup> ION IMPLANTATION

<sup>6</sup> STAPHYLOCOCCUS AUREUS

<sup>7</sup> KLEBSIELLA PNEUMONIAE

<sup>8</sup> PSEUDOMONAS AERUGINOSA

نقره و ترکیبات نقره به عنوان عامل ضد باکتری برای حذف کلیفرم<sup>۱</sup> (نوعی باکتری روده‌ای) از پساب به کار رفته‌اند. در برخی از فیلترهای آب خانگی از نقره فلزی به همراه کربن فعال برای جلوگیری از رشد باکتری‌ها درون کارتریج فیلتر استفاده می‌شود. نانوذرات نقره همچنین می‌توانند ترکیبات آلی هالوژن‌دار و سمی همچون آفت‌کش‌ها را به محصولات آلی غیرسمی تجزیه کنند.

#### □ نانوذرات اکسید روی

با وجودی که اکسید روی توده‌ای نمی‌تواند آرسنیک را از آب جدا کند، نانوذرات اکسید روی این توانایی را دارند. از این ذرات همچنین در تخریب سولفید هیدروژن در گل‌های حفاری مبتنی بر آب استفاده شده است. به علاوه این ذرات دارای ویژگی ضد میکروبی خوبی هستند.

با این حال اکسید روی به عنوان یک ماده بسیار سمی برای ارگانیسم‌های آبی طبقه‌بندی شده و در برخی نقاط دنیا یک ماده مضر برای محیط‌زیست به شمار می‌رود.

#### □ کاتالیزورهای نوری (فتوکاتالیزورهای)

نانومقیاس اکسید تیتانیوم که با نام تیتانیا نیز شناخته می‌شود، اکسید طبیعی تیتانیوم به شمار رفته و دارای فرمول شیمیایی  $\text{TiO}_2$  است. یکی از تفاوت‌های اصلی نانوتیتانیا با تیتانیای معمولی مساحت سطحی بسیار بالای آن است. این مساحت سطحی بسیار زیاد موجب ایجاد قابلیت‌های بالایی در زمینه فعالیت کاتالیزوری و جذب نور ماورای بنفش با طول موج‌های مشخص می‌شود. این ویژگی‌ها منجر به تولید نانوذرات تیتانیا با کاربردهای وسیعی از جمله در تصفیه آب گردیده است. نانوذرات تجاری دی اکسید تیتانیوم می‌توانند در اندازه، مساحت سطحی، خلوص، ویژگی‌های سطحی، شکل بلوری، فعالیت شیمیایی و ویژگی‌های دیگر از هم متفاوت باشند.

این نانوذرات به شکل آناتاز خالص، روتیل خالص و مخلوطی از هر دو در بازار موجود هستند. به طور کلی فعالیت کاتالیزوری آناتاز قوی‌تر از فعالیت کاتالیزوری روتیل

---

<sup>1</sup> COLIFORM BACILLUS

خالص بوده و فعالیت مخلوط آنتاز و روتیل مابین این دو قرار می‌گیرد. تغییرات سطحی می‌تواند فعالیت نانو دی اکسید تیتانیوم (از جمله فعالیت نوری) را تغییر دهد.

عوامل خارجی نیز در واکنش‌پذیری نوری این نانوذرات دخیل هستند. کاربرد در تصفیه آب هر دو نوع  $\text{TiO}_2$  معمولی و نانومقیاس در حذف آرسنیک از آب مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. در بسیاری از این بررسی‌ها از فعالیت فتوکاتالیستی دی اکسید تیتانیوم در تبدیل ( $\text{As III}$ ) به ( $\text{As V}$ ) استفاده شده است؛ جداسازی ( $\text{As V}$ ) از آب راحت‌تر از جداسازی ( $\text{As III}$ ) صورت می‌گیرد. هیچ یک از این دو نوع دی اکسید تیتانیوم (معمولی و نانومقیاس) در مراکز بزرگ تصفیه آب آشامیدنی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند، بلکه از هر دوی آنها در بررسی‌های پایلوت استفاده شده است. همچنین  $\text{TiO}_2$  می‌تواند از طریق اکسیداسیون فتوکاتالیستی آلاینده‌های آلی را در پساب‌ها تجزیه کند.

تجزیه فتوکاتالیستی بر مبنای تشکیل رادیکال‌های قدرتمند هیدروکسیل، آنیون‌های قوی رادیکالی سوپراکسید ( $\text{O}_2^-$ ) و رادیکال‌های پر قدرت هیدروپراکسیل ( $\text{OOH}$ ) صورت می‌گیرد؛ این رادیکال‌ها به عنوان عوامل اکسند بر آلاینده‌های آلی که روی سطح نانوذرات یا نزدیک آنها قرار دارند، تأثیر می‌گذارند.

## □ نانواسفنج‌ها

در سال ۱۹۹۷ محققان آزمایشگاه ملی لوس آلاموس، نانواسفنج‌های قابل استفاده مجددی تولید کردند؛ نانواسفنج یک ماده پلیمری است که دارای حفرات نانومقیاس بوده و می‌تواند آلاینده‌های آلی آب را جذب کرده و به دام اندازد. بنا بر گزارش این محققان، پیوند میان آلاینده‌های آلی و ماده پلیمری ۱۰۰ هزار برابر قوی‌تر از پیوند میان این آلاینده‌ها و زغال فعال بوده و این فرایند ۱۰۰ درصد برگشت‌پذیر است. این ماده از واحدهای ساختمانی پلیمری به نام دکسترین ساخته می‌شود که قفس‌های استوانه‌ای شکلی برای به دام انداختن ترکیبات آلی ایجاد می‌کند. این قفس مولکولی هم دارای بخش‌های آبدوست است که به آب تمایل دارند و هم دارای بخش‌های آب‌گریز است که آب را دفع می‌کنند. این ویژگی امکان استفاده از آن درون آب و در عین حال جذب ترکیبات آلی را فراهم می‌کند.

بخش‌های آب‌گریز ترجیح می‌دهند به جای آب به ترکیبات آلی پیوند یابند. آب در حقیقت آلاینده آلی را به سمت قفس پلیمری پیش می‌راند. برای جداکردن ترکیبات آلی به دام

افتاده، قفس پلیمری اشباع شده با اتانول شسته می‌شود. تولید نانو اسفنج‌ها نسبتاً ارزان بوده و بسیار شبیه محصول تجاری سیکلودکسترین‌ها در نشاسته هستند. بهره تبدیل این واکنش ۱۰۰ درصد بوده و تمام سیکلودکسترین‌های نشاسته به صورت کامل به این محصول پلیمری تبدیل می‌شوند.

به احتمال زیاد تولید تجاری این ماده قیمت آن را تا زیر قیمت کربن فعال یا زئولیت‌ها کاهش خواهد داد. پلیمرها بر خلاف کربن یا زئولیت‌ها در هوا نیز فعالیت خود را حفظ می‌کنند، زیرا رطوبت را جذب نمی‌نمایند.

این مواد همچنین نیازی به فعال‌سازی نداشته و بلافاصله می‌توان آنها را درون آب آلوده قرار داده و فرایند تصفیه را انجام داد. این ماده پلیمری شفاف است، اما زمانی که به آلاینده‌های آلی پیوند می‌یابد، تغییر رنگ می‌دهد؛ این ویژگی آپتیکی به کاربر امکان می‌دهد زمان تقریبی اشباع پلیمر و نیاز به تعویض یا بازیافت آن را به راحتی تشخیص دهد. محققان پروژه نانو اسفنج اروپا امیدوارند که غشای هیبریدی پیشرفته برای فیلتراسیون آب تولید کنند.

این فرایند بر پلیمرهای نانواسفنجی جدید با قابلیت کپسوله سازی بالا مبتنی است. این مواد نانواسفنجی درون حفرات الیاف پلیمری یا سرامیکی توخالی پر شده و در سامانه‌های فیلتراسیون آزمایشگاهی یا پایلوت خاص مورد استفاده قرار خواهند گرفت. هدف از این پروژه تولید یک سامانه فیلتراسیونی است که بتواند آلاینده‌های آلی را از آب‌های آلوده تا غلظت‌های بسیار پایین حذف کند. از آنجایی که فراوری پلیمرهای اسفنجی با انعطاف‌پذیری بسیار بالایی همراه است، شاید بتوان این فناوری را از یک بازار خاص به یک فناوری غشایی جدید توسعه داد. بررسی حجم بازار نانوذرات در تصفیه آب و میزان رشد آن نشان می‌دهد که تنها برخی از نانوذراتی که در بالا بحث شدند، در مرحله تجاری قرار دارند.

نانو رس‌ها، نانوذرات فتوکاتالیستی، نانوذرات مبتنی بر آهن و در مقیاس پائین‌تر، SAMMS جزء موادی محسوب می‌شوند که محصولات مبتنی بر آنها در بازار موجود هستند (۳۰).

## { پیوست شماره ۲ - واژه‌ها و اصطلاحات رایج در مهندسی و تصفیه فاضلاب }

- جامدات بیولوژیک<sup>۱</sup>: مواد آلی و نیمه جامدی هستند که پس از تثبیت بیولوژیکی یا شیمیایی جامدات بر جای مانده و معمولاً کاربرد مناسب و مفیدی دارند.
- جامدات بیولوژیک کلاس A: جامدات بیولوژیکی هستند که عوامل بیماری‌زا (نظیر ویروس‌ها، باکتری‌ها و انواع مختلف کرم‌ها) در آنها به میزان کمتر از سطوح قابل تشخیص موجود<sup>۲</sup> کاهش یافته است.
- جامدات بیولوژیک کلاس B: عوامل بیماری‌زا در این نوع از جامدات بیولوژیک تا حدی کاهش یافته است که تحت شرایط خاص، خطر احتمالی برای بهداشت عمومی و محیط‌زیست ندارد. اما حتی در صورت قرارگیری در کیسه‌ها یا سایر ظروف، قابل انتقال یا فروش نیستند. و نمی‌توان آنها را برای باغچه منازل و استفاده در چمن‌کاری مصرف کرد.
- احیاء سازی<sup>۳</sup>: شامل تصفیه فاضلاب به منظور کاربرد متعاقب (دوباره) یا استفاده مجدد فاضلاب تصفیه شده است.
- استفاده مجدد<sup>۴</sup>: شامل استفاده مفید فاضلاب تصفیه شده یا جامدات بیولوژیکی تثبیت شده می‌باشد.
- پالایش مجدد<sup>۵</sup>: تصفیه فاضلاب تا حد مصرف برای اهداف مختلف نظیر استفاده در آب شرب (به صورت مستقیم و غیرمستقیم است) است.
- بازچرخش<sup>۶</sup>: شامل استفاده فاضلاب یا جامدات بیولوژیک تصفیه شده برای اهداف سودمند<sup>۷</sup> می‌باشد.
- لجن<sup>۸</sup>: جامداتی که در خلال تصفیه فاضلاب از آن جدا می‌شوند. حال اگر این جامدات در معرض تصفیه بیشتر قرار گیرد، جامدات بیولوژیک<sup>۹</sup> نامیده می‌شوند.

---

<sup>1</sup> Biosolids

<sup>2</sup> Current Detectable Levels

<sup>3</sup> Reclamation

<sup>4</sup> Reuse

<sup>5</sup> Repurification

<sup>6</sup> Recycling

<sup>7</sup> Beneficial Purpose

<sup>8</sup> Sludge

<sup>9</sup> Biosolids

- جامدات<sup>۱</sup>: موادی که طی فرایند جداسازی ثقلی (توسط زلال سازها، تغلیظ کننده‌ها و لاگون‌ها) از جریان فاضلاب حذف می‌شوند. همچنین جامدات باقی‌مانده از عملیات آبگیری را نیز شامل می‌شوند.

- جامدات کل (TS): مهمترین ویژگی فیزیکی فاضلاب است. به منظور تخمین جامدات کل، نمونه فاضلاب را در دمای ۱۰۳ تا ۱۰۵ درجه سانتی گراد تا جایی حرارت می‌دهند که باقی‌مانده خشک از آن بر جای بماند.

- جامدات قابل ته‌نشینی (SS): آزمایش استاندارد جهت تعیین جامدات قابل ته‌نشینی شامل قرارگیری فاضلاب در داخل قیف یک لیتری ایمهاف به مدت یک ساعت است و قرائت حجم جامدات ته‌نشینی شده بر حسب واحد میلی لیتر در لیتر بیان می‌شود.

- کل جامدات محلول (TDS): با عبور نمونه فاضلاب از صافی واتمن با اندازه تقریبی منافذ ۱/۵۸ میکرومتر می‌توان کل جامدات معلق (TSS) را از کل جامدات محلول (TDS) جدا کرد. قسمتی از جامدات کل (TS) که از صافی عبور نکرده‌اند را در دمای ۱۰۵ درجه سانتی گراد خشک کرده و سپس وزن می‌نمایند. این مقدار نشان‌دهنده TSS است. با کم کردن TSS از TS مقدار TDS بدست می‌آید (۱).

- کدورت سنجی:

- روش‌های مختلف اندازه‌گیری کدورت در آب عبارتند از:

- روش جکسون، بر اساس عمق نمونه آب و عبور نور صورت می‌گیرد.

- روش سیلیس.

- روش نفلومتری، بر اساس نور پخش شده و پراکنده شده در راستای ۹۰ درجه می‌باشد. روش نفلومتری، مناسب‌ترین شیوه تعیین کدورت آب می‌باشد

- روش فورمازین

استاندارد رسمی و ملی تعیین کدورت آب بر پایه (NTU)<sup>۲</sup> است. دستگاه نفلومتری بر اساس پراکندگی نور در راستای ۹۰ درجه است.

<sup>1</sup> Solids

<sup>2</sup> NEPHELOMETRIC TURBIDITY UNIT

مقدار مطلوب و حداکثر مجاز کدورت بر اساس روش جکسون ۵ و ۲۵ واحد JTU<sup>۱</sup> است. بر حسب روش نفلومتري ۱ و ۵ واحد NTU و مقدار مطلوب و حد مجاز کدورت بر حسب روش فورمازين ۰/۱ و ۱ واحد FTU<sup>۲</sup> است.

در تصفيه خانه های فاضلاب، به تصفيه اوليه، تصفيه فيزيکی و به تصفيه ثانويه، تصفيه زيستی و به تصفيه ثالثيه، تصفيه فيزيکی- شيميايي - زيستی، می گویند.

جهت مشخص نمودن کیفیت آب شرب؛ علاوه بر استانداردهای ملی و بین المللی از استانداردهای دیگری نیز استفاده می شود که دیاگرام شولر<sup>۳</sup> یک نوع از آن می باشد. بر اساس طبقه بندی شولر؛ پارامترهای کیفی آب در وضعیت خوب، قابل قبول، متوسط، نامناسب و غیر قابل شرب طبقه بندی می شوند.

### { پیوست شماره ۳ - قوانین و استانداردهای اشاره شده در این پژوهش }

(۱) قانون ریچ انگلستان (ثبت، ارزیابی و ارائه مجوز شیمیایی در مورد مواد نانو)

(۲) قانون تصفيه آبهای سطحی (EPA)

(۳) قانون بهبود یافته اول و دوم برای تصفيه آبهای سطحی

(۴) قانون محصولات جانبی ضد عفونی کننده یا فرایند ضد عفونی کردن برای DBP ها

(۵) قانون فدرال جدید آمریکا در صادرات جیوه

(۶) قانون حفظ و بازیابی منابع مدیریت پساب رادیواکتیو

(۷) قانون آب آشامیدنی سالم آمریکا (SDWA)

(۸) قانون اسمز

(۹) استانداردهای بین المللی دیاگرام شولر (طبقه بندی پارامترهای کیفیت آب در پنج وضعیت: خوب- قابل قبول- متوسط- نامناسب- غیر قابل شرب)

<sup>1</sup> JACKSON TURBIDITY UNIT

<sup>2</sup> FORMAZIN TURBIDITY UNIT

<sup>3</sup> SCHOLLER

۱۰) استانداردهای جامع WHO در مورد استفاده، تخلیه و استفاده مجدد درباره پساب‌ها و تصفیه آنها

۱۱) استاندارد شماره ۱۰۵۳ کیفیت آب و استانداردهای آب شرب (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب آشامیدنی)

۱۲) استانداردهای مربوط به آب و نانوتکنولوژی دفتر نانو ریاست جمهوری

۱۳) استاندارد تعیین جامدات قابل ته‌نشینی بر حسب آزمایش قیف ایمهاف

۱۴) استاندارد USP آمریکا در مورد آب مصرفی صنایع دارویی

۱۵) استاندارد FDA آمریکا در مورد آب مصرفی صنعت غذایی در سازمان غذا و داروی آمریکا



## { پیوست شماره ۴ – علائم، اصطلاحات و اختصارات به کار رفته در این پژوهش }

Advanced Primary Treatment = تصفیه اولیه پیشرفته

Advanced Treatment = تصفیه پیشرفته

Alastine Poly Peptid = پلی پپتیدهای الاستین مانند (ELP)

Anthropogenic Substances = مواد مصنوعی دست ساز بشر

Arsenicosis = آرسنیکوزیس

Attapulgate = آتاپولگیت (نوعی از خاک رس)

Backflushing = شستشوی معکوس

Bacillus megaterium = باسیلوس مگاتریوم (نوعی باکتری)

Bacillus subtilus = باسیلوس سابتیلوس (نوعی هاگ باکتریایی)

Balbus = بالباس (از معماران فعال نیویورکی)

Beneficial Purpose = اهداف سودمند

Bioavailability = قابلیت دسترسی زیستی

Biochemical Oxygen Demand = اکسیژن مورد نیاز زیستی (BOD)

Biodistribution = میزان سمی بودن و بیو توزیع

Biosolids = جامدات بیولوژیک

Black Water = آب سیاه

Boiler blowdown = بویلر بلاورون

Bragg = براگ (از محققین نانوتکنولوژی)

Bred FORD = برد فورد (از محققین نانوتکنولوژی)

BTEX = Benzene Toluene Ethylbenzene And Xylene = نوعی آلاینده در آب

Buckey balls = ساختار کروی تو خالی

CCL3 = سومین فهرست آلاینده‌های کاندیدا از نظر EPA

Chelating = عوامل کی لیت (موثر در فرایند تصفیه)

Chemical Oxygen Demand = اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD)

Chlorpyrifos = کلرپیریفوس (نوعی آفت کش)

Christian = کریستین (از محققین نانوتکنولوژی)

Clay = رس

CNT = نانو لوله‌های کربنی

Coliform bacillus = کلیفرم (نوعی باکتری روده‌ای)

Compendial = آب استعمال در تولید دارو

Coulomb Repulsion = نیروی دفع کولمبی

CSIRO = سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی استرالیا

Current Detectable Levels = سطوح قابل تشخیص موجود Chymotrypsin = نانوذرات

تک آنزیمی روی کیموتریپسین

Decolorization of drinking water = رنگ‌زدایی از آب آشامیدنی

Dendrimer-Enhanced Ultrafiltration=DEUF = اولترافیلتراسیون بهبودیافته با درخت‌سآنها

Desalination = نمک‌زدایی از آب آشامیدنی

Diagram = Chart = نمودار

Discharge requirement = نیازمندی تخلیه

Disinfection By Products = محصولات جانبی ضد عفونی کننده‌ها (DBPs)

DNA = Deoxyribonucleic Acid = دی اکسی ریبونوکلیک اسید (ژنتیک و نوترکیبی)

DOE = Department Of Energy = وزارت انرژی آمریکا

EC = European Commission = کمیسیون اروپا

EDA = اتیلن دی آمین

Emergency Decontamination Center = آلاینده‌های نوظهور = آلاینده‌های نگران کننده یا میکروآلاینده‌ها

Environment = محیط زیست

Environmentally friendly methods for treating groundwater by organic and inorganic components = روشهای سازگار با محیط زیست جهت تصفیه آبهای زیر زمینی به وسیله اجزای معدنی و آلی

Enviromental Protection Agency = سازمان حفاظت محیط زیست

Ether – Chloroform = اتر – کلروفرم (EC)

Eutrophication = پدیده انباشت آب

Exclusion Chromatography = روش کروماتوگرافی غربالگری (طرد)

Extra - cellular polysaccharide = EPS = بستر پلی ساکاریدی برون سلولی

F = Fisher Test = آزمون مقایسه‌ای داده‌های مستقل رده‌ای (تجزیه واریانس)

FDA = Food And Drug Adminstration = سازمان غذا و داروی آمریکا

Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> = نانوذرات مگنتیت

Fly-ash scrubber = ساینده خاکستر بادی

Formazin Turbidity Unit = واحد کدورت در روش فورمازین (FTU)

Freedonia = فردونیا (از محققین نانوتکنولوژی)

Fullerenes = کربن طبیعی فولرنز

Garnet = لعل ریز

Gel Filtration Chromatography = کروماتوگرافی ژل صافی

Gram-Negative = (باکتری) گرم منفی

Gram-positive = (باکتری) گرم مثبت

Gross Domestic Product = تولید ناخالص ملی (GDP)

Halloysite = هالوسیت (نوعی از خاک رس)

Halo ACETIC Acids = هالو استیک اسیدها (HAA)

Hectorite = هکتوریت (نوعی از خاک رس)

HOPO = هیدروکسی پیریدینونات

Illite:  $k < 1 [Al_2 (si, Al)_4 O_{10} (oh)_2 \cdot nH_2O]$  = الیت (نوعی خاک رسی)

Interparticle Collision = برخوردی درون ذره‌ای

IRANDOC = سایت ایران داک (پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات و مدارک علمی ایران)

Ivory Tower = کشورهای «برج عاج» (محل دنج و آرام، گوشه خلوت)

Ion implantation = جایگذاری یونی

Jackson Turbidity Unit = واحد کدورت در روش جکسون (JTU)

Kaolinite:  $Al_4 [Si_4O_{10}] (OH)_8$  = کائولینیت (نوعی خاک رسی)

Klebsiella pneumoniae = کلبسیلا نیومونیا (نوعی باکتری)

Land Treatment = اختلاط با خاک (تصفیه به وسیله زمین)

Lead & Wilkinson = لید و ویل کینسون (از محققین نانوتکنولوژی)

Malathion = مالاتیون (نوعی آفت کش)

MBR = راکتورهای زیستی غشائی

Mc hardy = مک هاردی (از محققین زمین شناسی)

Mega-Ton = سامانه‌های آب

Mesostructured = زئولیت‌های نانومقیاس میان ساختار

Microporous Memberane = غشاءهای میکرو پروس

Minor League = کشورهای لیگ دسته دو

Micro Screens = آشغالگیر میکرونی

Mixed-bed = بستر مختلط

Montmorillonite:  $Al_2(OH)_2(Si_4O_{10})_n \cdot H_2O$  = مونت‌موریلونیت (نوعی خاک رسی)

Morphology = ریخت‌شناسی

MTBE = نوعی زئولیت (یک افزودنی بنزین که به عنوان یک آلاینده در سطح وسیعی پخش شده است)

MWCO<sub>2</sub> = فاکتور جدایش وزن مولکولی اسمی

MWCO = فاکتور بر اساس وزن مولکولی مونو کسید کربن

MWNT = نانو لوله‌های کربنی چند دیواره

Nadeau = نادئو (از محققین زمین‌شناسی)

Nano-biosensors for rapid detection of water pollution = نانو حسگرهای زیستی برای تشخیص سریع آلودگی آب

Nano-coatings = نانو پوشش‌ها

Nano Filter = صافیهای نانو

Nano filtration membranes to enhance water recovery = غشاهای صاف کننده

نانومتری به منظور افزایش بازیابی آب

Nanoscale Materials Stewardship Program= NMSP = برنامه نظارت بر مواد نانومقیاس

Nano tubes absorbing toxic gases = نانو ب‌سپارهای متخلخل

Nanoval = نانو وول (شرکت آلمانی فعال در تولید فیلترها)

Nephelometric Turbidity Unit = استاندارد رسمی و ملی تعیین کدورت آب بر پایه روش  
نفلومتریک (NTU)

NF = عناصر غشایی نانوفیلتراسیونی

Niche = کشورهای طاقچه‌ای

NIMS = موسسه ملی علوم مواد ژاپن

NINT = موسسه ملی نانوفناوری کانادا

NNI = نوآوری ملی فناوری نانو آمریکا

NOM = مواد آلی طبیعی

(OOH) = رادیکال‌های پر قدرت هیدروپراکسیل

Oorous Materials = مواد متخلخل

Overexpression = بیان بیش از حد

(- O<sub>2</sub>) = آنیون‌های قوی رادیکالی سوپراکسید

Pacific Northwestern National Laboratory = PNNL = شکل‌های معمولی آنزیم در  
لابراتوار

Packed-Bed Reactors = راکتورهای با بستر چیدمان شده

Parchment = کاغذ پوست (مدل ورقه‌های انفرادی گرافیت بصورت طومار)

Perchloethylene = پرکلرواتیلن (PCE)

Pertechnetate = رادیو نوکلئوتیدهایی همچون پرتکتات

Polymer-Enhanced Ultrafiltration = PEU = نوعی اولترافیلتراسیون بهبود یافته با پلیمر

PH = نشاندهنده یون هیدروژن و اصطلاحی برای بیان میزان اسیدیته یا قلیائیت یک محلول

Pillared Clay = خاک رس‌های پایه‌دار شده

Polar = مایعات قطبی

Pollution = آلودگی

Preliminary Treatment = تصفیه مقدماتی

Primary Treatment = تصفیه اولیه

Prosity = تخلخل

Pseudomonas aeruginosa = سودوموناس آروگینوسا (نوعی باکتری)

Recalcitrant Compounds = ترکیبات مقاوم

Registration, Evaluation and Authorization of Chemicals = REACH = ریچ (از

محققین نانوتکنولوژی)

Reach Law = قانون ریچ

Reclamation = احیاء سازی

Recycling = بازچرخش

Removal of arsenic from water using nanotechnology = حذف آرسنیک موجود در

آب با استفاده از فناوری نانو

Repurification = پالایش مجدد

Reuse = استفاده مجدد

RIKEN = موسسه فن‌آوریهای عمومی ژاپن

RO = عناصر غشایی اسمز معکوس

Russian doll = عروسک روسی (مدل ورقه‌های گرافیت به شکل استوانه‌های هم‌مرکز)

SAMMS = سامس (تک لایه‌های خود آرا روی بستر مزوحفره‌ای)

Schouller = شولر (دیاگرام طبقه‌بندی پارامترهای کیفیت آب)

SDWA = Safe Drinking Water Act = قانون آب آشامیدنی سالم در آمریکا

Secondary Treatment = تصفیه ثانویه

Selective Barrier = مانع انتخابی

Semipermeable = غشاهای نیمه‌تراوا

SEN = نانوذرات تک آنزیمی

Simple Random Sampling = نمونه‌گیری تصادفی ساده (SRS)

Sludge = لجن

Soil = خاک

Solids = جامدات

Spinneret = نخ ریس

SPSS = Statistical Package for Social Science = از نرم افزارهای تحلیل آماری

Spunbond = پلی پروپیلن اسپان باند (معمولترین فیلتر الیاف)

Staphylococcus aureus = استافیلوکوکوس آریوس (نوعی باکتری)

SWNT = نانو لوله‌های کربنی تک دیواره

Tertiary Treatment = تصفیه ثالثیه

The nano-porous polymers = نانو بسپارهای متخلخل

The National Primary Drinking Water Regulations = قوانین ملی اولیه آب آشامیدنی

The National Secondary Drinking Water Regulations = قوانین ملی ثانویه آب

آشامیدنی

The photo catalytic nano materials to improve the efficiency of chemical processes = نانو مواد برای بهبود کارایی فرایندهای فتوکاتالیستی و شیمیایی



The use of nano particles in the filtration of pollutants = استفاده از ذرات نانو ساختار  
در تصفیه آلاینده‌ها

The use of nano particles in waste water treatment = استفاده از نانوذرات در تصفیه  
پساب‌ها

Thin Film = لایه نازک

TiO<sub>2</sub> = دی اکسید تیتانیوم (نوعی نانوپارتيكل)

Total Organic Carbon = کل کربن آلی (TOC)

Toray, Nitto Denko و Toyobo = تولید کنندگان ژاپنی غشاها

TRI Halo Methans = تری هالو متان‌ها (THMs)

Tunable biopolymers = پلیمرهای زیستی تنظیم‌پذیر

UF = عناصر غشایی اولترا فیلتراسیونی

USP = United States Pharmacopia = استانداردهای آب برای صنایع دارویی

Volatic Organic Compound = ترکیب آلی فرار (VOC)

Water- BORNE Diseases = بیماری‌های منتقله از آب

William McDonough = ویلیام مک دونات (از معماران فعال نیویورکی)

World Health And Development=WHO = سازمان جهانی بهداشت

ZnO = اکسید روی (از نانوذرات فتوکاتالیستی)

مرجع تکمیل عبارات و اصطلاحات: محمد ایمانی، (۱۳۸۵)، "اصطلاحات و اختصارات؛  
بهداشت- ایمنی - طب کار (عمومی)"، انتشارات هلال سبز

## **Abstract**

### **Industrial Wastewater Treatment Using Nanoclay and Natural clay**

**Introduction:** Water is one of the most necessary life elements on the earth. Although 70% of the earth is covered by water, yet not more than 3% of it is fresh water. Availability of clean water is one of the most important requirements which human societies are now a days facing.

Industrialization is one of the most polluting factors which seriously threaten the water resources. Generally a lot of materials in the form of waste industrials lead to polluting water resources in different ways and this problem will be more critical in the future. Present technologies, facing the diversity of the pollutants of different industry waste waters are not capable of efficient treating of waste waters in all aspects and therefore traces of soluble, nonsalable, and suspended particles may be remained in treated waters.

**Material and methods:** The technic used in this research includes, passing the waste waters through filters made of clay with different particle dimensions (Nano, micro, mil, natural), thus measuring the treated samples turbidity from the filters and comparing them with primary turbidity of each factory's waste water and finally comparing the overall efficiency of filters and determining the filter suitable for each kind of waste water.

**Results:** Therefore increasing treating quality is of paramount importance. In this research work, nano particles of clay also natural clay have been used for removing the suspended particles of a number of industry's waste waters.

**Discussion:** Results obtained showed reasonable filtration effects on waste water samples and therefore it is recommended to continue the research work to a complete waste water to the highest possible degree, considering economic aspects as well.

**Key words:** new waste water treating systems, Nano clay, industry's waste water, clay filters.



Energy Institute For Higher Education

Faculty of Engineering

Department Of Chemical Engineering – HSE

Thesis For

Degree Of Master Of Science (M.Sc)

Title:

# Industrial Wastewater Treatment Using Nanoclay and Natural clay

Supervisor:

Yousef Yassi

Advisor:

Nasrollah Mohammadi - Taher Taherian

By:

Seyyed Mohammad Sadegh Mousavi

SUMMER / 1395