



دانشگاه انرژی ساوه

تحصیلات تکمیلی

پایان نامه کارشناسی ارشد

مهندسی شیمی بهداشت ایمنی محیط زیست HSE

عنوان:

تاثیر نانو ذرات در تصفیه آب و فاضلاب و بررسی تاثیر آنها در بهبود انتقال حرارت به وسیله شبیه سازی

استاد راهنما:

دکتر یاسی

دکتر طاهریان

استاد مشاور:

دکتر محمدی

نام نام خانوادگی دانشجو:

سعید افراسیابی

تابستان ۹۶

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

فهرست

۱-۱ مقدمه	۸
۱-۲ تصفیه آب به کمک نانو ذرات	۲۳
۱-۲-۱ کاربرد فن آوری نانو ذرات در تصفیه آب	۲۴
۱-۳ انواع نانو ذرات جهت تصفیه	۲۵
۱-۳-۱ نانو ذرات تیتانیوم دی اکسید	۲۶
۱-۳-۲ نانو ذرات اکسید آهن	۲۷
۱-۳-۳ نانو ذرات اکسید آهن در مقابله با آرسنیک	۲۷
۱-۳-۴ نانو ذرات اکسید آهن در مقابله با یون نقره	۲۸
۱-۳-۵ نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی در تصفیه آب	۲۸
۱-۳-۶ نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی در مقابله با آرسنیک	۲۹
۱-۳-۷ نانو ذرات آهن در مقابله با نیترات	۳۰
۱-۴ مروری بر کارهای انجام شده	۳۱
۱-۵ تشریح فرآیند انجام شده و ارائه و تحلیل نتایج به دست آمده	۳۶
۱-۵-۱ مرحله اول فرآیند تصفیه آب و فاضلاب به وسیله نانو ذرات	۳۷
۱-۵-۲ روش کار	۳۸
۱-۶ بحث و نتیجه گیری	۸۶

فصل دوم

- ۲-۱ مقدمه ۹۰
- ۲-۲ خواص نانو ذرات و سیالات ۹۱
- ۲-۳ کاربرد نانو ذرات و سیالات ۹۶
- ۲-۴ مروری بر کار های انجام شده ۱۰۲
- ۲-۵ خواص ترموفیزیکی نانو سیالات ۱۰۳
- ۲-۶ معادلات حاکم ۱۱۰
- ۲-۷ معرفی مبدل حرارتی ۱۱۸
- ۲-۸ تصاویر مبدل حرارتی ۱۲۵
- ۲-۹ اصول طراحی مبدل حرارتی ۱۳۶
- ۲-۱۰ توصیف مساله ۱۵۲
- ۲-۱۲ رسم هندسه و مش بندی و در نرم فزار گمبیت و فلوئنت ۱۵۴
- ۲-۱۳ نتیجه گیری ۱۵۸

فهرست علائم و نمادها

علائم یونانی	نمادهای لاتین
ضریب پخش حرارت، m^2 / s	C_p ظرفیت گرمایی ویژه، $J / kg.K$
کسری از حجم سیال که با ذره جابجا	D قطر لوله، m
α	
β	

می شود

μ ویسکوزیته دینامیکی، $Pa.s$

d قطر ذره، nm

L طول لوله، m

زیر نویس

M وزن مولکولی

av متوسط

\dot{m} دبی جرمی، kg / s

b بالک

N عدد آووگادرو

Nu عدد ناسلت

P فشار، Pa

Pe عدد پکلت

فصل اول

۱- ۱ مقدمه

مفهوم نانو سیال، سوسپانسیون‌های حاوی ذرات نانو، مواد فلزی و غیر فلزی را شامل می شود. نانوسیالات پتانسیل های بسیار زیادی در محیط ها و شرایط متفاوت دارند که باعث شده اهمیت بسزایی در صنایع و تاسیسات داشته باشند. به عنوان مثال سیالات متداولی که در زمینه انتقال حرارت استفاده می شوند ضریب هدایت حرارتی پایینی دارند. ذرات نانو به دلیل بالا بودن ضریب

هدایتی شان با توزیع در سیال پایه باعث افزایش ضریب هدایت حرارتی سیال، که یکی از پارامترهای اساسی انتقال حرارت محسوب می‌شود، می‌گردند.

افزایش انتقال حرارت و نیز سیالات انتقال‌دهنده حرارت موضوع بسیاری از تحقیقات در دهه‌های اخیر بوده است. سیالات انتقال حرارت شرایط را برای تبادل انرژی در یک سیستم مهیا می‌کنند و اثرات آنها بستگی به ویژگی‌های فیزیکی از قبیل هدایت حرارتی، لزجت، چگالی و ظرفیت گرمایی دارد. هدایت حرارتی پایین، اغلب مهمترین محدودیت سیالات انتقال حرارت میباشد.

بعلاوه بهبود عملکرد انتقال حرارت بخصوص در مبدل های صفحه ای یا لوله ای میتواند بوسیله تغییر شکل دیوار کانال مورد استفاده تحقق یابد. در مقایسه با لوله های افزایش دهنده دیگر (مانند لوله مارپیچ یا لوله راه راه متقاطع) لوله دیوارهموج سینوسی متقارن محوری مقاومت جریان کمتری دارد. از این رو تحقیقاتی نیز در این زمینه انجام گرفته است.

معرفی نانوفناوری ، نانو ذرات و نانوسیالات

واژه نانو از یک کلمه یونانی به معنای "کوچک یا ریز" مشتق شده است نانو به اندازه بین 2 تا 222 نانو متر می گویند. طول موج نور مرئی بین 122 122 نانومتر و سلول زنده اندازه ای معادل- یک میکرون 2222 (نانومتر) دارد.

از تعاریف فوق بر می آید که نانو تکنولوژی یک رشته نیست بلکه رویکرد جدیدی در تمام رشته هاست . برای نانو تکنولوژی کاربرد هایی را در حوزه های مختلف از غذا، دارو تشخیص پزشکی و بیوتکنولوژی تا الکترونیک، کامپیوتر، ارتباطات، حمل و نقل، انرژی، محیط زیست، مواد هوا و فضا و امنیت ملی بر شمرده اند : کاربرد های وسیع این عرصه و پیامد های اجتماعی سیاسی و حقوق آن، این فناوری را به عنوان زمینه فرا رشته ای و فرا بخش مطرح نموده است

هر چند آزمایش ها و تحقیقات پیرامون نانوتکنولوژی از ابتدای دهه قرن بیستم به طور جدی پیگیری شده اما اثرات تحول آفرین، معجزه آور و باور نکردنی نانو تکنولوژی در روند تحقیق و توسعه باعث گردید که نظر تمامی کشور های بزرگ به این موضوع جلب گردد و

فناوری نانو را به عنوان یکی از مهمترین اولویتهای تحقیقاتی که طی دهه اول قرن بیست و یکم محسوب نمایند.

استفاده از این فناوری در کلیه علوم باعث شده است که تحقیقات در زمینه نانو به عنوان چالش اصلی علمی و صنعتی پیش روی جهانیان باشد . لذا محققین، اساتید و صنعت گران ایرانی نیز باید در یک بسیج همگانی، جایگاه و موقعیت خویش را در خصوص این موضوع مشخص نمایند و حضوری فعال و حتی رقابتی در این جایگاه ایجاد نمایند . برای چنین کاری طراحی یک برنامه منسجم فراگیر و همه جانبه اجتناب ناپذیر است . نانو تکنولوژی دارای سه شاخه نانو فناوری خشک، مرطوب، و محاسبه ای است که از نظر کاربردی در علوم مختلف به خصوص در ساخت و تولید مواد الکترونیکی پزشکی و صنایع غذایی کاربرد دارد

تسلط بر قلمرو مولکولها

برای قدم گذاشتن در عرصه فناوری نانو باید درک صحیحی از ابعاد نانو و اهمیت آن داشت. اغلب گفته میشود فناوری نانو، فناوری اشیاء کوچک است، اشیاء خیلی کوچک و در واقع استفاده و تولید ماده در مقیاس ریز مولکولی است که در این ابعاد اتمها و مولکولها به شکلی متفاوت از ابعاد بزرگتر عمل میکنند و گستره‌های از کاربردهای جالب و شگفتانگیز را فراهم میکنند. میتوان اصطلاح "فناوری مولکولی" را برای فناوری نانو استفاده کرد، چرا که ابعاد نانو ابعاد کارایی مولکولها است. این ابعاد چه حد و مرزی دارد؟ متوسط ضخامت یک تار موی انسان 82222 نانومتر و ابعاد مولکول گلوکز حدود 2 نانومتر است. قطر مو در مقایسه با مولکول گلوکز بسیار بزرگتر است و مولکول گلوکز هشتاد هزار بار کوچکتر از تار مو است، اما میتواند انرژی فعالیت اجزای بدن را تامین کند. حوزه نانو، به هیچ حوزه خاصی از علم تعلق ندارد، به همه متعلق است. این توصیف تنوع بینهایت و منحصر به فرد بودن فناوری نانو را میرساند و در عین حال لزوم آمادگی کسانی را نشان میدهد که میخواهند در آن نقش داشته باشند.

در حالی که تعاریف زیادی برای فناوری نانو وجود دارد، برنامه راهبردی پیشگامی ملی فناوری نانو در آمریکا (NNI) در تلاش برای تعریف مرزهای این نظم جدید و نوظهور، حدودی مشخص را پیشنهاد کرده است. طبق تعریف تعیین شده "فناوری نانو شناخت و کنترل ماده در ابعاد نزدیک به 222 نانومتر است، ابعادی که در آن پدیده‌های منحصر به فرد کاربردهای جدیدی پیدا میکنند."

ماکروساختار، میکروساختار و نانوساختار

اگر هر جسمی را به منزله یک ساختمان با واحدهای کوچکتر در نظر بگیریم، این جسم و خواص آن از همه این واحدها تاثیر میپذیرد. برای مثال رنگ انعکاسی از یک جسم جامد هم تابع ماکروساختار شیشه است و هم از میکروساختار و نانوساختار متاثر است. ماکروساختار همان ساختار ظاهری است. مثلاً یک ظرف میتواند حفره‌های سطحی یا لعاب داشته باشد. ساختار ماکرومتری یا خواص ماکرومتری قابل حس و درک است، تیزی یک کارد، نرمی پر، درخشش فلز و مشابه این موارد در ماکروساختار تعریف میشوند. مقیاس بزرگ روبنای یک ساختمان پیچیده‌تر است. برای ورود به دنیای پیچیده مولکولی و اتمی به ناچار باید از ابعاد میکرومتری گذر کنیم. به ساختار میکرومتری، میکروساختار میگویند، بسیار از خواص قابل سنجش مواد حجیم مربوط به میکروساختار هستند که در مقیاس بین یک میلیمتر تا یک میکرومتر قرار دارد. در مقایسه با یک ساختمان این جز مثل اتاقهای ساختمان میباشد. ساختار مولکولی و اتمی یک شی، نانوساختار نامیده میشود که به مراتب در سطحی بنیادینتر قرار میگیرد. در ساختار اتمی، نوع اتمهای موجود، موقعیت و تعدادشان و نحوه آرایش آنها مدنظر قرار میگیرد. در علم نانو به ساختار بزرگتر از ابعاد نانومتری ساختار حجیم یا توده‌های گفته میشود. هرچه آشنایی ما با اتم و مولکول و پدیده‌های مرتبط به آن یعنی پدیده‌های کوانتومی بیشتر باشد، بیشتر از مزایای فناوری نانو مطلع خواهیم شد.

نانوفناوری در تعریف بسیار ساده، یعنی تکنولوژی‌هایی که در ابعاد نانومتر عمل می‌کنند. نانومتر واحد اندازه‌گیری است و برابر با 10^{-9} یک میلیاردم متر یا متر است.. نانوفناوری که از دو کلمه «نانو» و «فناوری» تشکیل شده است به معنای توسعه، ساخت، طراحی و استفاده از محصولاتی است که اندازه آنها یک تا صد نانومتر قرار دارند.

چرا کوچک سازی؟

ارزانتر، سبکتر، کوچکتر، سریعتر، تمیزتر و بهتر

نانوتکنولوژی تولید کارآمد مواد و دستگاهها و سیستمها با کنترل ماده در مقیاس طولی نانومتر و بهره برداری از خواص و پدیده‌های نو ظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یافته‌اند. پیشوند نانو از کلمه یونانی به معنای کوتوله مشتق می شود

نانوتکنولوژی به دلیل خصوصیات منحصر به فردی مانند سایز خیلی کوچک آن و نسبت سطح به جرم زیادش به طور بالقوه ای انسانها را در معرض خطرات جدید و رو به رشد قرار می دهد و افزایش مشکلات بهداشتی به خصوص برای کارگران دارد. (نانوتکنولوژی) تولید کارآمد مواد و دستگاهها و سیستمها با کنترل ماده در مقیاس طولی نانومتر، و بهره برداری از خواص و پدیده های نوظهوری است که در مقیاس نانو توسعه یافته اند.

طبق تعریف جوامع علمی مر تبط با نانو تکنولوژی، یک نانوذره به ذره ای گفته می شود که ابعادی بین یک تا ۱۰۰ نانومتر داشته باشد. نانو ذرات از طیف وسیعی از مواد ساخته می شوند. نانو ذرات دوده از سال ۱۹۰۰ در لاستیک ها استفاده می شده است تا آنها را سیاه رنگ جلوه دهد. خرده ذرات نانویی طلا و نقره سالها پیش در قرن دهم به پیگمنت هایی رنگی در شیشه های رنگی افزوده شده است. رنگ به ابعاد این ذرات بستگی دارد. نقره سالهای متمادی به عنوان التیام دهنده استفاده می شده است. شیر از میلیونها ذره با ابعاد نانویی کازئین تشکیل شده است. مولکول های شکر یک نانومتر قطر دارند. متداول ترین و پرکاربردترین آنها نانوذرات سرامیکی هستند. با توجه به تعریف نانوذرات ممکن است این

ذهنیت بوجود بیاید که این ذرات با چنین ابعادی در هوا معلق خواهند ماند اما در واقع چنین نیست و نیروهای الکترواستاتیکی بین این ذرات، آنها را در کنار هم قرار می دهد.

نانو سیالات به علت افزایش قابل توجه خواص گرمایی، توجه بسیاری از دانشمندان را در سالهای اخیر به خود جلب کرده است. به عنوان مثال مقدار کمی (حدود یک درصد حجمی) از نانو ذرات مس در اتیلن گلیکول یا روغن به ترتیب افزایش ۴۰ و ۱۵۰ درصدی در هدایت گرمایی این سیالات ایجاد می کند در حالی که برای رسیدن به چنین افزایشی در سوسپانسیون های معمولی، به غلظتهای بالاتر از ده درصد از ذرات احتیاج است

با پیشرفت علم، تولید نانو ذرات از مواد گوناگون میسر شده است. یکی از خصایص مواد در ابعاد نانو، نسبت سطح به حجم بالای آنهاست که توانایی های خاصی به آنها بخشیده است. نانو سیالات به عنوان دسته مهیج جدیدی از فناوری نانو پدیدار شده اند که بر پایه سیالات انتقال حرارت می باشند و در چند سال گذشته به طور فوق العاده ای رشد کرده اند. دانشمندان و مهندسان سعی بر این دارند تا قوانین حاکم بر خواص ترموفیزیکی این سیالات را کشف کنند، لذا سازوکارهای جدید پیشنهاد کرده و مدل های غیر معمولی را برای توضیح این رفتارها ارائه میدهند.

اصول پایه نانو تکنولوژی

نانو تکنولوژی، تکنولوژی سریع و نوینی است که امکان کار، دست کاری و تولید ابزار، مواد و ساختار هایی در سطح مولکولی و حتی اتمی توسط اتم در ساختارهای عملکردی در بعد نانومتر را می دهد .

ما با روشهای نانو می توانیم ابزار های چند کاره، خود تنظیم، خود کنترل و خود ترمیم بسازیم جدول مقایسه اندازه ها از ماکرو تا مولکول را بیان می کند- :

در دسته بندی مسایل نانویی همچنان مسائل حل نشده بسیاری وجود دارد. اما شاخه های زیر اساس نانوتکنولوژی را تشکیل میدهند:

-نانو مواد، بیو مواد

-نانو لوله ها

-نانو کامپوزیت، نانوکپسول

-نانو سنسورها و بیوسنسورها

-نانو فیلتر، نانو ماشین

امروزه آلودگی منابع آب یکی از مشکلات اساسی به شمار می رود. از انواع آلاینده ها می توان به فلزات سنگین، ترکیبات رادیواکتیوی، ترکیبات آلی و غیرآلی اشاره نمود. فلزات سنگین به خاطر غیرقابل تجزیه بودن و آثار زیان بار فیزیولوژیک بر جانداران حتی در غلظتهای کم، اهمیتی ویژه در

آلودگی زیست بوم دارند. مقصد نهایی قسمت عمده آنها به ویژه در کشورهای رو به توسعه، منابع آبهای سطحی و زیرزمینی، خاک و نهایتاً انسان است.

کادمیم از جمله فلزات سنگینی است که از منابع گوناگون به زیست بوم، پیکره گیاه و نهایتاً به زنجیره غذایی انسان ها و حیوانات راه می یابد و خسارتهایی جدی به بار می آورد. لذا انجام پژوهشهایی در راستای زدودن آن از منابع آب و کاستن آن از زنجیره غذایی ضروری است. منابع عمده پخش کادمیم در زیست بوم مراکز استخراج معادن فسفات، روی، مس، سرب، نفت خام و زغال سنگ، کارخانه های ذوب فلزات، صنایع فولاد و استفاده از کادمیم در صنایع رنگ کاری، آب کاری، فلز کاری، باتری سازی، کاغذسازی، پلاستیک، لامپ های فلورسنت، تلویزیون، سموم حشره کش و به ویژه استفاده از کودهای فسفاته با ناخالصی کادمیم و لجن های فاضلاب در کشاورزی است

آب سالم (آبی که عاری از مواد شیمیایی سمی و عوامل بیماری زا 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 می شود. جهان با چالش های زیادی در افزایش تقاضا برای آب سالم به عنوان منابع موجود آب شیرین روبرو است که با توجه به موارد ذیل در حال کاهش می باشد

(الف) گسترش وقوع خشکسالی ،

(ب) افزایش رشد جمعیت ،

(ج) تشدید و بهبود مقررات بهداشتی

(د) افزایش رشد مصرف آب

دانشمندان و مهندسين آب در حال تحقيق در مورد افزايش كيفيت آب همسو با افزايش رشد مصرف آن با توجه به رعايت مقررات و استانداردهاي سخت گيرانه هستند. وبر [۱] شبکه های نوین و بهینه توزیع (DOT-NET) را به عنوان جایگزینی برای واحد های متعارف تصفیه آب "بزرگ و متمرکز" ارائه نموده است.

۱-Weber

مفهوم DOT-NET بر "توزیع و ایجاد استراتژیک سیستم های تصفیه نسبتاً کوچک بسیار موثر در محل های خاص" در شبکه های موجود تامین آب دلالت دارد . چنین سیستم های تصفیه آب اقماری جریان نسبتاً کم آب را تصفیه کرده و از فن آوری های پیشرفته تصفیه استاندارد موجود در طبیعت استفاده می کنند (نظیر جداسازی توسط غشاء مقاوم به ته نشینی لجن با قابلیت انتخابی بالا، جاذب

های غربالی پلیمری و مولکولی سفارشی شده، اکسیداسیون فوق بحرانی آب و غیره) تا نیازهای دسته های جمعیتی موجود در واحد های مسکونی، مجتمع های آپارتمانی و مناطق تجاری را برطرف کنند. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) [2] نیز در حال ارزیابی استفاده از برخی روشهای تصفیه آب نامتمرکز به عنوان "سامانه مطلوب و کوچک" می باشد. این روشها شامل واحدهای تصفیه آب (نظیر بهره برداری از سیستم های تصفیه آب آماده و کوچک در کارخانه ها)، واحدهای تصفیه در نقطه ورود و در نقطه استفاده از آب هستند که برای تصفیه مقدار کمی از آب وارد شده به یک واحد مشخص (نظیر ساختمان، دفتر کار، منزل مسکونی و غیره) و یا شیر برداشت خاص / شیر آب درون واحد طراحی شده اند. حفاظت از سیستم های تصفیه آب در برابر فعالیت های تروریستی بالقوه با استفاده از مواد شیمیایی و بیولوژیکی نیز به یک مسئله مهم در برنامه ریزی منابع آب تبدیل شده است. تأثیرات مستقیم و غیر مستقیم فن آوری نانو بر محیط زیست، از جنبه های مختلف قابل بررسی است.

2- United States Environmental Protection Agency

در حال حاضر، می توان موارد متعددی از کاربرد مواد نانو ساختاری در حفظ محیط زیست، از قبیل نانوفیلترها (برای تصفیه پساب های صنعتی)، نانوپودرها (برای تصفیه گازهای آلاینده خروجی از خودروها و واحدهای صنعتی) و نانو تیوب ها (برای ذخیره سازی سوخت کاملاً تمیز هیدروژن) را برشمرد، اما دورنمای استفاده از این فناوری نوین بسیار گسترده تر از این گونه کاربرهای جزئی و

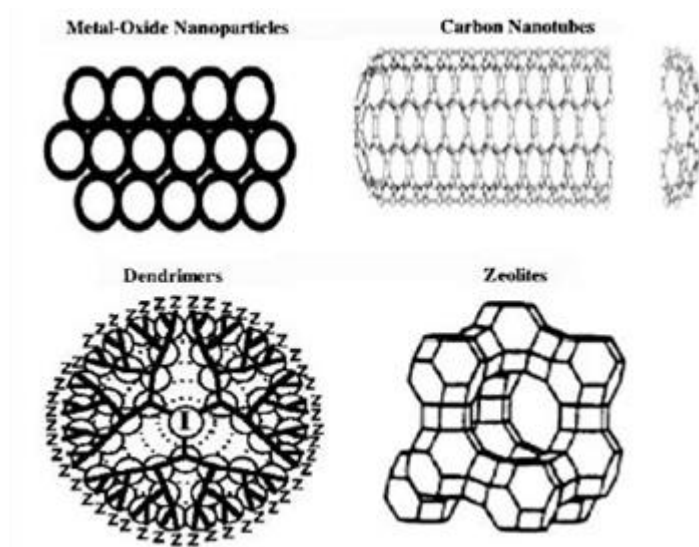
مقطعی است. علی‌رغم اینکه فناوری نانو تاکنون در زمینه‌ی محیط زیست کاربرد صنعتی نداشته است، اما بسیاری معتقدند که این فناوری می‌تواند راه‌های جدیدی برای بهبود و ارتقای فناوری‌های زیست‌محیطی ارائه کند. تولید نانو بیومواد، نانولوله‌ها، نانوکامپوزیت‌ها، نانوفیلترها و نانوذرات نمونه‌هایی از استفاده از فناوری نانو هستند که برای ساخت سیستم‌ها و کاربردهایی چشمگیر در مسائل زیست محیطی و بهداشتی بکار برده میشوند. چندین شرکت تولیدی شیمیایی در حال توسعه مواد پلیمری هستند که با ذرات نانویی تقویت شده‌اند.

پیشرفت در علم و مهندسی در مقیاس نانو فرصت‌های بی‌سابقه‌ای برای توسعه فرایندهای قابل قبول تصفیه آب مقرون به صرفه و سازگارتر با محیط زیست فراهم می‌آورد. این مقاله مرور مختصری بر استفاده از نانومواد در تصفیه آب آلوده توسط یونهای فلزی سمی، رادیونوکلوئیدها، املاح آلی و معدنی، باکتری و ویروس‌ها ارائه می‌کند. از آنجا که بحث جامع در مورد کاربردهای فناوری نانو برای تصفیه آب فراتر از مطالب این بررسی است، اهداف اصلی ما در این مقاله بحث در مورد فرصت‌ها و چالش‌های پیش‌رو در استفاده از نانومواد برای تصفیه آب‌های سطحی، آبهای زیرزمینی و جریانهای فاضلاب صنعتی می‌باشد.

شکل ۱-۱ چهار دسته از مواد در مقیاس نانو را به عنوان مواد مناسب برای تصفیه آب نشان می‌دهد:

(۱) فلزات - حاوی نانوذرات، (۲) نانو مواد کربن دار، (۳) ژئولیتها و (۴) دندریمرها

(dendrimers).



شکل ۱-۱: نانومادهای مناسب برای تصفیه آب

این مواد دارای طیف وسیعی از خواص فیزیکی و شیمیایی هستند که آنها را به عنوان فیلتر جداکننده و واکنشی برای تصفیه آب خاص و جذاب می سازد.

جذب سطحی به وسیله نانو ذرات فلزی یک تکنولوژی سازگار با محیط است که در سالهای اخیر به عنوان عامل مؤثری برای از بین بردن آلودگی های آلی و یون های فلزات سنگین از آب و فاضلاب مورد بررسی قرار گرفته است

جاذب ها به طور گسترده به عنوان فیلتر جداکننده در تصفیه آب و برای حذف آلاینده های معدنی و آلی از آب آلوده مورد استفاده قرار می گیرند. نانوذرات دارای دو ویژگی کلیدی هستند که استفاده از آنها را به عنوان جاذب جذاب می سازد. آنها دارای نواحی سطحی بسیار وسیعتری از ذرات

توده هستند. همچنین نانوذرات می توانند با گروه های شیمیایی مختلف برای افزایش میل به حذف ترکیبات هدف ترکیب شوند.

افزایش نسبت مساحت سطحی به حجم که به تدریج با کاهش اندازه ذره رخ می دهد، باعث غلبه یافتن رفتار اتم های واقع در سطح ذره به رفتار اتم های درونی می شود. این پدیده بر خصوصیات ذره در حالت انزوا و بر تعاملات آن با دیگر مواد اثر می گذارد. افزایش سطح، واکنش پذیری نانوذرات را به شدت افزایش می دهد زیرا تعداد مولکولها یا اتمهای موجود در سطح در مقایسه با تعداد اتمها یا مولکولهای موجود در توده نمونه بسیار زیاد است، به گونه ای که این ذرات به شدت تمایل به آگلومره یا کلوخه ای شدن دارند. به عنوان مثال در مورد نانوذرات فلزی، به محض قرار گیری در هوا، به سرعت اکسید می شوند. در بعضی مواقع برای حفظ خواص مطلوب نانوذرات، جهت پیشگیری از واکنش بیشتر، یک پایدار کننده را بایستی به آنها اضافه کرد که آنها را قادر می سازد تا در برابر سایش، فرسودگی و خوردگی مقاوم باشند

البته این خاصیت مزایایی هم در بر دارد. مساحت سطحی زیاد، عاملی کلیدی در کارکرد کاتالیزورها و ساختارهایی همچون الکترودها می باشد. به عنوان مثال با استفاده از این خاصیت می توان کارایی کاتالیزورهای شیمیایی را به نحو مؤثری بهبود بخشید و یا در تولید نانوکامپوزیت ها با استفاده از این ذرات، پیوندهای شیمیایی مستحکم تری بین ماده زمینه و ذرات برقرار شده و استحکام آن به شدت افزایش می یابد. علاوه بر این، افزایش سطح ذرات، فشار سطحی را کاهش داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا فاصله بین اتم های ذرات می شود. تغییر در فاصله بین اتم های ذرات و نسبت سطح به

حجم بالا در نانوذرات، تأثیر متقابلی در خواص ماده دارد. تغییر در انرژی آزاد سطح، پتانسیل شیمیایی را تغییر می دهد. این امر در خواص ترمودینامیکی ماده (مثل نقطه ذوب) تأثیر گذار است. به محض آنکه ذرات به اندازه کافی کوچک شوند، شروع به رفتار مکانیک کوانتومی می کنند.

خواص نقاط کوانتومی مثالی از این دست است. نقاط کوانتومی کریستال هایی در اندازه نانو می باشد که از خود نور ساطع می کنند. انتشار نور توسط این نقاط در تشخیص پزشکی کاربرد های فراوانی دارد. این نقاط گاهی اتم های مصنوعی نامیده می شوند؛ چون الکترونهاي آزاد آنها مشابه الکترونهاي محبوس در اتمها، حالات گسسته و مجازی از انرژی را اشغال می کنند

علاوه بر این، کوچک تر بودن ابعاد نانوذرات از طول موج بحرانی نور، آنها را نامرئی و شفاف می نماید. این خاصیت باعث شده است تا نانوذرات برای مصارفی چون بسته بندی، مواد آرایشی و روکش ها مناسب باشند. مواد در مقیاس نانو، رفتار کاملاً متفاوت، نامنظم و کنترل نشده ای از خود بروز می دهند. باکوچکتر شدن ذرات خواص نیز تغییر خواهد کرد. مثلاً فلزات، سخت تر و سرامیک نرم تر می شود. بر خي از ویژگیهای نانوذرات در جدول ۱-۱ به طور خلاصه آمده است

مثال	خصوصیات
اثر کاتالیستی بهتر، به دلیل نسبت سطح به حجم بالاتر	کاتالیستی
افزایش هدایت الکتریکی در سرامیک ها و نانو کامپوزیت های مغناطیسی، افزایش مقاومت الکتریکی در فلزات	الکتریکی

مغناطیسی	افزایش مغناطیسیت با اندازه بحرانی دانه ها، رفتار سوپر پارامغناطیسیت ذرات
نوری	خصوصیات فلوئورسنتی، افزایش اثر کوانتومی کریستال های نیمه هادی
بیولوژیکی	افزایش نفوذ پذیری از بین حصارهای بیولوژیکی (غشاء و سد مغز خون و غیره) و بهبود زیست سازگاری

جدول ۱-۱ بیان برخی ویژگی های فیزیکی و شیمیایی نانوذرات

۲-۱ تصفیه آب به کمک نانوذرات

نانوذرات لانتانیم ، فسفات را از محیط های آبی جذب می کند . کاربرد این نانوذرات درحوضچه ها و استخرهای شنا می تواند به طور موثری فسفات موجود را از میان برده و در نتیجه از رشد جلبک ها جلوگیری کند .نانوپودرها نیز میتوانند به عنوان مواد مناسبی برای پاکسازی خاک های آلوده و آب های زیرزمینی به کار روند ؛ همچنین نانوذرات آهن سبب اکسید شدن و درهم شکستگی ترکیبات آلوده کننده می شود و آنها را به ترکیبات کربنی با درجه سمیت بسیار پایین تبدیل می کند .ارسنیک از آلاینده

های بسیار سمی است که به طور طبیعی با پساب های انسانی سبب آلودگی آب می شود. مصرف این ماده سبب افزایش شیوع سرطان مثانه و روده می شود. آمار مسمومیت با آرسنیک در سطح جهان بسیار زیاد است و در بسیاری از کشورهای در حال توسعه که بیش از ۳۰ تا ۲۰ درصد جمعیت آنها به مسمومیت آرسنیک مبتلا شده اند، چنین اتفاقی یک فاجعه بهداشتی به شمار می آید. بیشتر آلاینده های ناشی از آرسنیک در کشورهای جهان سوم گزارش شده است و به همین دلیل این کشورها بشدت نیازمند فناوری های نوین هستند تا به کمک آن بتوان آلاینده های فلزی سنگین مانند آرسنیک را از آب آشامیدنی حذف کرد. در روش های جدید از نانوبلورهای مغناطیسی به عنوان هسته اصلی سیس تم های تصفیه آب استفاده می شود سطوح معدنی آهنی نه تنها تمایل شدیدی به جذب آرسنیک دارند. بلکه با انتخاب اندازه متناسب می توان راحتی این ذرات مغناطیسی را که به کمک روش های جداسازی مغناطیسی از آب جدا کرد. درحقیقت نانوذرات درجذب آرسنیک همانندتوده آهنی عمل می کنند. درواقع نه تنها ظرفیت جذب آرسنیک در نانوذرات بالاتر است بلکه به محض قرار گرفتن آرسنیک در کنار نانوذرات، جداسازی آن از این ذرات بسختی انجام خواهد شد. با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی ها و تحقیقات انجام شده در این زمینه میتوان گفت نانوذرات مغناطیسی، جاذب های بسیار خوبی برای آلاینده آرسنیک بویژه در آب های اسیدی هستند و خاصیت جذبی غیر قابل بازگشت این ذرات، مخزن مناسبی برای جمع آوری آلاینده ها فراهم می کند.

۱-۲-۱ کاربرد فن آوری نانو ذرات در تصفیه ی آب

در گذشته نه چندان دور هدفهای تصفیه‌خانه های آب آشامیدنی کاهش مواد معلق و از بین بردن عوامل میکروبی و بیماریزا بود. اکنون با افزایش غلظت مواد آلی، معدنی و فلزات سنگین به منابع آب روشهای حاضر جوابگوی نیاز جامعه نبوده و باید از فرایندهای به روزتری در تصفیه خانه ها استفاده شود. بسیاری از ذراتی که در مقیاس نانو هستند، خواص کاتالیزگری و جذبی بهتری نسبت به حالت توده‌ای از خود نشان میدهند. نانوذرات خاصیت ضد میکروبی و جذب بینظیری دارند و به همین خاطر استفاده از آنها در حذف باکتریها از آب و فاضلاب روبه گسترش است. بیشتر کاربردهای زیست محیطی فن آوری نانو در سه مقوله جای میگیرند:

الف) محصولهای بی خطر برای محیط زیست یا محصولهای با قابلیت تحمل بالا، برای مثال شیمی سبز

ب) تصفیه ی موادی که با ذرات خطرناک آلوده شده اند.

پ) حسگرهایی برای ذرات محیطی .

با اینکه به طور معمول این سه مقوله مربوط به موادشیمیایی یا مواد نانوزیست فن آوری تلقی میشود، باید توجه کرد که این موارد میتواند در مورد عوامل میکروبی و مواد زیستمحیطی نیز کاربرد داشته باشد. فناوری نانو نقش مهمی در بهبود روشهای کشف و پاکسازی عوامل زیستمحیطی مضر دارد. برخی از نانوذراتی که در تصفیهی آب و فاضلاب کاربرد دارند شامل: نانو ذرات رویاکسید، آهناکسید،

آهن صفر، تیتانیوم دی اکسید میباشد . در اینجا به نقش هر کدام از نانوذرات در تصفیه ی آب پرداخته میشود .

حذف آرسنیک با نانو ذرات سریم

حذف آرسنیک با نانو ذرات اکسید آهن

حذف کروم با نانو ذرات آهن

حذف مس، کبالت و نیکل با نانو ذرات آهن

حذف ترکیبات آلی با نانو ذرات آهن

حذف آلاینده ها با نانو ذرات آهن در محل

کاهش نیتрат با نانوذرات دوفلزی پالادیم مس

گندزدایی آب با نانو ذرات نقره

۳-۱ انواع نانوذرات جهت تصفیه

۳-۱-۱ نانوذرات تیتانیوم دی اکسید

این نانوذرات در حذف برخی آلاینده‌ها از فاضلابهای صنعتی کاربرد دارند. پساب خروجی بسیاری از کارخانه‌های صنعتی و معدنی دارای مقادیر بالایی از ترکیبهای سخت تجزیه پذیر و سمی همچون سیانیدها و ترکیبات بنزنی است، روشهای متعارف تصفیه قادر به حذف این نوع آلاینده‌ها نیست و باید از روشهای پیشرفته‌ی تصفیه مانند تصفیه‌ی نورکاتالیزگری با نانوذرات تیتانیم دی اکسید استفاده شود.

نانو ذرات تیتان TiO_2 برای اکسید کردن آلاینده‌های آلی و همچنین جذب فلزات سنگین در مکانهای آلوده مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نانو ذره مواد آلاینده آلی را به آب (H_2O) و دی اکسید کربن (CO_2) تبدیل می‌کند. با توجه به تحقیقات برداشت می‌شود که از این ماده می‌توان برای رفع آلاینده‌ها، ویروسها و مواد شیمیایی آلی خطرناک نیز استفاده کرد. همچنین این نانو ذره مهمترین کاتالیستی است که برای حذف آلودگی‌های ناشی از مواد آلی موجود در آبهای آلوده به مواد نفتی و نیز پسابهای صنعتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نحوه به عمل آوردن ذرات نانو تیتان (TiO_2) بدین گونه است که: آنرا در زیر لایه‌های مناسبی پوشش داده و در حوضچه‌هایی تحت تابش نور فرابنفش خورشید قرار می‌دهند. در اثر تابش این نور ماده خاصیت اکسید کنندگی پیدا می‌کند و مواد آلی را به آب (H_2O) و دی اکسید کربن (CO_2) تبدیل می‌کند. و نیز بعضی از اسیدهای معدنی را تجزیه می‌کند. طبق آزمایشات به عمل آمده، پساب آلوده به مواد نفتی پس از ۷ روز توسط این نانو ماده تجزیه می‌شود. برای بازدهی بیشتر این نانو ماده از آهن (Fe) هم استفاده می‌کنند که آهن عمل اکسایش تحت تابشهایی با طول موج بلند تر و به طور ویژه در ناحیه نور مرئی را ممکن می‌سازد.

۲-۳-۱ نانوذرات آهن اکسید

نانوذرات آهن اکسید کاربرد زیست محیطی گسترده ای دارند. برای تولید این نانوذرات از روشهای گوناگونی استفاده میشود؛ مانند محلول شیمیایی مرطوب، تفت کافت لیزری، رسوب گیری بخار شیمیایی و هم رسوبی. به تازگی از تجزیه ی ترکیبات آلی فلزی (دارای نانوذرات آهن اکسید) در دمای بالا استفاده میشود. کنترل اندازه ذرات با انواع واکنش های دمایی و یا تغییر پیش ماده ی فلزی به دست میآید؛ ویژگیهای مغناطیسی مواد، با کوچک شدن اندازهی ذرات در حد نانومتر، تابع اندازهی ذرات میشود. از ویژگیهای نانوذرات آهن اکسید خاصیت سوپراپارامغناطیسی آنها است، که باعث میشود با به کاربردن میدان مغناطیسی، از آب تصفیه شده جداسازی شوند.

۳-۳-۱ نانوذرات آهن اکسید در مقابله با آرسنیک

آرسنیک از آلایندههای بسیار سمی است که از تخلیه ی فاضلاب صنایع فلزی وارد شده و سبب آلودگی آب میشود. مصرف این ماده باعث شیوع سرطان مثانه و روده میگردد. نانوذرات مغناطیسی آهن اکسید توانایی حذف آرسنیک را تا ۳۳ درصد داشته و خود نیز به راحتی از آب جدا میشوند. نه تنها ظرفیت جذب آرسنیک در نانوذرات بالا است، بلکه به محض قرار گرفتن آرسنیک در کنار نانوذرات، جداسازی آن از این ذرات به سختی صورت میگیرد. نانوذرات آهن اکسید با اعمال میدان مغناطیسی از آب خارج میشود، که این روش جداسازی بسیار مورد استقبال است.

۳-۳-۲ نانوذرات آهن اکسید در مقابله با یون نقره

یون نقره از سطح داخلی لوله ها و ژنراتورها در اثر فرآیندهای خوردگی وارد پسابهای صنعتی میشود، که با فرایند جذب بر روی سطح ذرات اکسیدی حذف میگردد. با اعمال شرایط بهینه، نانوذرات آهن

اکسید دارای توانایی بالایی در حذف یون نقره و کاهش آلودگی شیمیایی از محیط فاضلاب صنعتی میباشند. غلظت نانوذرات آهن اکسید و pH اثر قابل توجهی در فرایند حذف یون نقره دارند. بازده حذف توسط نانوذرات در pH اسیدی بیشتر است که نشان میدهد حذف به صورت جذب و سپس احیا انجام میشود. در pH بازی بازده حذف به میزان قابل توجهی کاهش می یابد؛ زیرا یون نقره با فرایند جذب بر روی سطح نانوذرات اکسیدی حذف میشود.

۵-۳-۱ نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در تصفیه ی آب

آهن یکی از فراوانترین عناصر موجود در زمین است. نانوذرات آهن دارای مساحت سطح بیشتر از پودرهای بزرگتر و یا آهن گرانولی میباشند، که منجر به افزایش واکنش پذیری فرآیند اکسایش کاهش میشود. نانوذرات آهن به شدت برای تجزیه ی هیدروکربنهای هالوژنه به هیدروکربنهای بیخطر و حذف بسیاری از آلودگیها مانند آنیونها و فلزات سنگین استفاده میشوند. نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به شدت واکنش پذیر هستند و با محیط اطراف در سطح زیرین خود به سرعت واکنش می دهند. ممکن است ذرات قبل از اینکه به آلودگی هدف برسند، واکنش پذیری به میزان زیادی افت کند. همچنین هنگامی که نانوذرات آهن صفر ظرفیتی به آب اضافه میشوند، به سمت خوشه ای شدن میل میکنند که سبب کاهش مساحت سطح فلز میگردد. برای بر طرف کردن این مشکلات، روشی که به طور معمول استفاده میشود، جادادن نانوذرات آهن درون مواد نگهدارنده مانند بسپارها، کربن متخلخل و پلی الکترولیتها میباشد.

۶-۳-۱ نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی در مقابله با آرسنیک

نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، آرسنیک را به طور مؤثری از آب حذف میکند و میتواند به عنوان روشی جدید برای تصفیه در منبع و در محل تصفیه خانه ی آب استفاده شود. با افزایش زمان تماس و غلظت

نانوذرات، کارایی حذف آرسنیت و آرسنات افزایش مییابد. افزایش کارایی حذف با گذشت زمان به این دلیل است که با گذشت زمان ایجاد حفره و خوردگی در سطح آهن بیشتر شده، در نتیجه سطح مقطع جذب و کارایی حذف نیز افزایش می یابد. با گذشت زمان جایگاه های فعال برای جذب آرسنیک تغییر میکند و تعداد محصولهای حاصل از واکنشهای آهن در محیط آبی افزایش می یابد، که این موضوع نیز سبب افزایش کارایی حذف با گذشت زمان میشود، همچنین علت افزایش کارایی حذف با افزایش غلظت نانوذرات، افزایش محللهای فعال سطحی جذب و امکان برخورد بیشتر بین آرسنیک و نانوذرات و افزایش واکنشهای اکسایش و احیا است.

۷-۳-۱ نانوذرات آهن صفر ظرفیتی در مقابله با نیترات

تخلیه ی فاضلابهای بهداشتی و برخی فاضلابهای صنعتی میتواند باعث افزایش غلظت نیترات در آبهای زیر زمینی و دیگر منابع پذیرنده شود . بالاترین غلظت مجاز نیترات در آب بر حسب ازت ۲۲ میلی گرم بر لیتر است. در سامانه های تصفیه ی کنونی نظیر تعویض یونی، اسمز معکوس و الکترودیالیز، هزینه های بهره برداری بالایی دارند و نیز تولید لجن مینمایند. کاهش شیمیایی نیترات به کمک نانوذرات آهن صفر ظرفیتی، روشی مفید برای پاکسازی آبهای آلوده به نیترات است.

۴-۱ مروری کارهای و آزمایشات انجام شده

چندین گروه تحقیقاتی در حال جستجو برای تعیین خواص منحصر به فرد نانوذرات به منظور

توسعه جاذب های با ظرفیت بالا و انتخابی برای یونهای فلزی و آنیونها می باشند. لی و همکاران [۳]

جذب سرب دو ظرفیتی (Pb(II)، مس دو ظرفیتی (Cu(II) و کادمیوم دو ظرفیتی (Cd(II) را بر روی

نانولوله های کربنی چند جداره (MWCNTs) بررسی نموده اند. آنها ظرفیت حداکثر جذب را ۹۷/۰۸

میلی گرم سرب دو ظرفیتی (Pb(II) ، ۲۴/۴۹ میلی گرم مس دو ظرفیتی (Cu(II) و ۱۰/۸۶ میلی گرم

کادمیوم دو ظرفیتی (Cd(II) به ازای یک گرم ماده جاذب در دمای محیط ، PH برابر ۵ و غلظت تعادل

یون فلزی ۱۰ میلی گرم/لیتر گزارش نموده اند. همچنین آنها نشان دادند که ظرفیت جذب یون های

فلزی توسط نانولوله های کربنی چند جداره ۳ تا ۴ برابر بیشتر از جاذب های متداول مورد استفاده در

تصفیه آب (کربن فعال پودری و کربن فعال دانه ای) هستند.

۳- (Li & et al)

کی [۴] جذب سرب دو ظرفیتی (Pb(II) را بر روی نانوذرات چیتوسان (chitosan) تهیه شده

از ژلاتین یونی چیتوسان و تری پلی فسفات (tripolyphosphate) مورد ارزیابی قرار داده است

ظرفیت جذب حداکثری مس دوظرفیتی Cu(II) نانوذرات چیتوسان ترکیب شده با فسفات برابر ۳۹۸ میلی گرم به ازای یک گرم ماده جاذب است. پنگ و همکاران (Peng & et al.) [۵] به تازگی جاذب جدیدی با ناحیه سطحی وسیع تر (۱۸۹ مترمربع/گرم) شامل اکسید سریم تقویت شده با نانولوله های کربنی ($\text{CeO}_2 - \text{CNTs}$) را توسعه داده اند. آنها نشان دادند که ذرات اکسید سریم تقویت شده با نانولوله های کربنی جاذب های موثری برای آرسنیک پنج ظرفیتی As(V) می باشند.

پنگ و همکاران نشان دادند که افزودن (از ۰ تا ۱۰ میلی گرم در لیتر) کاتیونهای دوظرفیتی [کلسیم (II) Ca و منیزیم Mg(II)] منجر به افزایش قابل توجهی در مقدار جذب As(V) (۸۲ - ۱۰ میلی گرم/گرم) می شود. دیلیانی و همکاران [۶] نیز جاذب جدیدی برای As(V) متشکل از نانو بلورهای هیدروکسید کلراید آهن به نام $\text{akaganeite [b-FeO(OH)]}$ را تولید کرده و ویژگی آن را مورد بررسی قرار داده اند.

Qi-۴

Peng & et al-۵

Deliyanni & et al-۶

علاوه بر این لازاریدیس و همکاران [۷] نشان داده اند که نانوبلور akaganeite نیز جاذب موثری برای عنصر کروم شش ظرفیتی Cr(VI) است. زئولیتها جاذب و فیلتر تبادل یونی موثری برای یونهای

فلزی می باشند. زئولیت‌های $\text{NaP1 (Na}_6\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}, 12\text{H}_2\text{O})$ نیز دارای تراکم بالایی از سایت های تبادل یون سدیم هستند.

آنها می توانند توسط فعال سازی گرمایی خاکستر بادی با نسبت سیلیسیم به آلومینیم برابر ۱۵۰-C در محلول های NaOH با غلظت ۱/۰-۲/۰ مولار و بسیار ارزان ساخته شوند. زئولیت‌های NaP1 به عنوان فیلتر تبادل یونی برای حذف فلزات سنگین از فاضلاب های معادن اسیدی مورد بررسی قرار گرفته اند [۱۱]. آلوارز و همکاران [۸] استفاده موفقیت آمیز از زئولیت‌های مصنوعی NaP1 را برای حذف کروم سه ظرفیتی Cr(III) ، نیکل دو ظرفیتی Ni(II) ، روی دو ظرفیتی Zn(II) ، مس دو ظرفیتی Cu(II) و کادمیوم دو ظرفیتی Cd(II) از پساب آبکاری فلزات گزارش نموده اند. تک لایه های خود مونتاژ بر روی تقویت کننده های با منافذ ۲ الی ۵۰ نانومتر (Self-assembled monolayers on mesoporous supports) فرصت های جدیدی برای توسعه جاذب های موثرتر برای یونهای فلزی سمی، آنیونها و رادیونوکلوئیدها فراهم آورده اند.

این جاذب ها از طریق سنتز فعال شده سطحی (Surfactant templated synthesis) سرامیک دارای منافذ ۲ الی ۵۰ نانومتر ساخته می شوند.

Lazaridis & et al -۷

Alvarez & et al-۸

در این فرآیند اکسیدهای سرامیک با تخلخل های نانویی و ناحیه سطحی بسیار وسیع (حدود ۱۰۰۰ مترمربع / گرم) و چگالی بالایی از سایت های جذب سطحی تولید می شوند که می تواند منجر به افزایش قدرت انتخابی آنها به سمت آلاینده های هدف گردد.

نانو مواد کربنی می توانند به عنوان جاذب با ظرفیت بالا و انتخابی برای املاح آلی در محلول های آبی عمل کنند. منگان و همکاران الیاف های کربن فعال با تخلخل های نانویی را با اندازه سوراخ های ۱۶/۱ نانومتر و ناحیه سطحی در محدوده ۱۷۱ تا ۴۸۳ متر مربع بر گرم ساخته اند. آنها جذب بنزن ، تولوئن ، pxylyene و اتیل بنزن را بر روی الیاف های کربن فعال با تخلخل های نانویی حدود ۲۰-C اندازه گیری کردند. همچنین آنها نشان دادند که ایزوترم های جذب توسط معادله فرنرندلیچ توصیف می شوند. در تمام موارد، الیاف های کربن فعال با تخلخل نانویی دارای ثابت های تعادل جذب آلی بسیار بالاتری از کربن فعال دانه ریز بودند. پنگ و همکاران جذب دی کلروبنزن را بر روی نانولوله های کربنی مورد ارزیابی قرار داده اند. آنها دریافتند جذب دی کلروبنزن بر روی نانولوله های کربنی تنها ۴۰ دقیقه برای رسیدن به تعادل با ظرفیت جذب حداکثر ۳۰/۸ میلی گرم/گرم زمان لازم دارد. لی و همکاران گزارش داده اند که نانولوله های کربنی چند جداره ، جاذب های به مراتب بهتری نسبت به کربن سیاه برای ترکیبات آلی فرار در محلول های آبی هستند. فوگستو و همکاران [۹] با موفقیت نانولوله های کربنی چند جداره را داخل بسته های آلژینات پیوند یافته (Cross-linked alginate vesicles) به صورت کپسول درآوردند.

نانولوله های کربنی چند جداره دارای ظرفیت جذب و انتخاب بالایی برای چهار رنگ قابل انحلال (Orange G، Eosin bluish، Ethidium bromide، Acridine orange) می باشند. ژائو و همکاران [۱۰] جاذب های معدنی- آلی ترکیبی را توسط اختلاط سولفات سدیم دودسیل (Sodium Dodecyl Sulfate) با هیدرواکسید دو لایه منیزیم-آلومینیوم (LDHs) ساخته اند. آنها گزارش نمودند که ترکیب فوق ظرفیت جذب بالاتری برای جذب آلکانهای کلرینه Chlorinated alkenes) [تتراکلرواتیلن و تری کلرواتیلن] نسبت به خاک رس آلی (Organoclays) در محلول های آبی دارد. فولرین می تواند به عنوان جاذب برای ترکیبات معطر چند حلقه ای مانند نفتالین نیز مورد استفاده قرار گیرد. به تازگی نانوذرات پلی اورتان آمفیفیلیک (Amphiphilic) تولید شده است که می تواند ترکیبات معطر چند حلقه ای (نظیر نفتالن) را جذب نماید و قابلیت زیست پذیری آنها در محلول های آبی را افزایش دهد .

۵-۱ تشریح فرایند انجام شده ارائه و تحلیل نتایج به دست آمده

در این فصل پایان نامه با استفاده از نانو ذرات جهت تصفیه آب و فاضلاب استفاده کرده ام. که تمامی مراحل از آزمایشات بر روی آب دارای فلزات سنگین و آرسنیک و الودگی های دیگر از جمله زنگ زدگی و... انجام شده داده ام.

که در این بخش از فصل اول تمامی مراحل کار جهت تصفیه آب و همچنین کلیه مراحل انجام آزمایشات صورت گرفته از مرحله اول آب الوده تا مرحله اخر تصفیه آب و فاضلاب تو سط نانو ذرات را شرح داده ام .

ضمن تشکر فراوان از آزمایشگاه نو آوران کاشف شهراراز و ازمایشگاه همکار این آزمایشگاه که تمامی پیوست ها جواب های آزمایش صورت گرفته با سربرگ این آزمایشگاه می باشد ک همکاری لازمه را صورت دادند.

تمامی جواب ازمایشات رنج مورد تایید یک آب مورد نیاز جهت تمديد پروانه آب می باشد.

۱-۵-۱ مرحله اول فرایند تصفیه آب و فاضلاب به وسیله نانو ذرات

از این رو که آب پاک نیاز اولیه زندگی در تمامی جوامع بشری از کشورهای پیشرفته تا کشورهای جهان سومی تا کشورهای فقیر می باشد لذا این آزمایشات و این گونه عملیات ها در تهیه آب شرب بدون خطر بسیار مفید می باشد. در مرحله اول شروع آزمایشات و فرایند تصفیه ابتدا با سه نمونه آب آغاز شده است

نمونه ۱- نمونه ای دارای فلزات سنگین بالاتر از حد شرب و حتی بالاتر از اب مورد استفاده در

مرغداری و گاو داری جهت تمديد پروانه آب بوده است. (مواد شیمیایی معدنی سمی)

نمونه ۲- آبی دارای سم ارسنیک (مواد شیمیایی معدنی سمی)

نمونه ۳- آبی ک نیرات ان از حد مجاز بیشتر است (مواد شیمیایی معدنی غیر سمی)

نمونه ۴- آبی که در شرایط بسیار مطلوب و نزدیک به آب خوردن است

این نمونه از آب که دارای فلزات سنگین و مواد سمی و غیر سمی بوده است که هدایت الکتریکی

بالایی دارد و همچنین دارای سختی بالایی است مقادیر غیر مجاز فراوانی درازمایش بر روی این

آب مشخص است

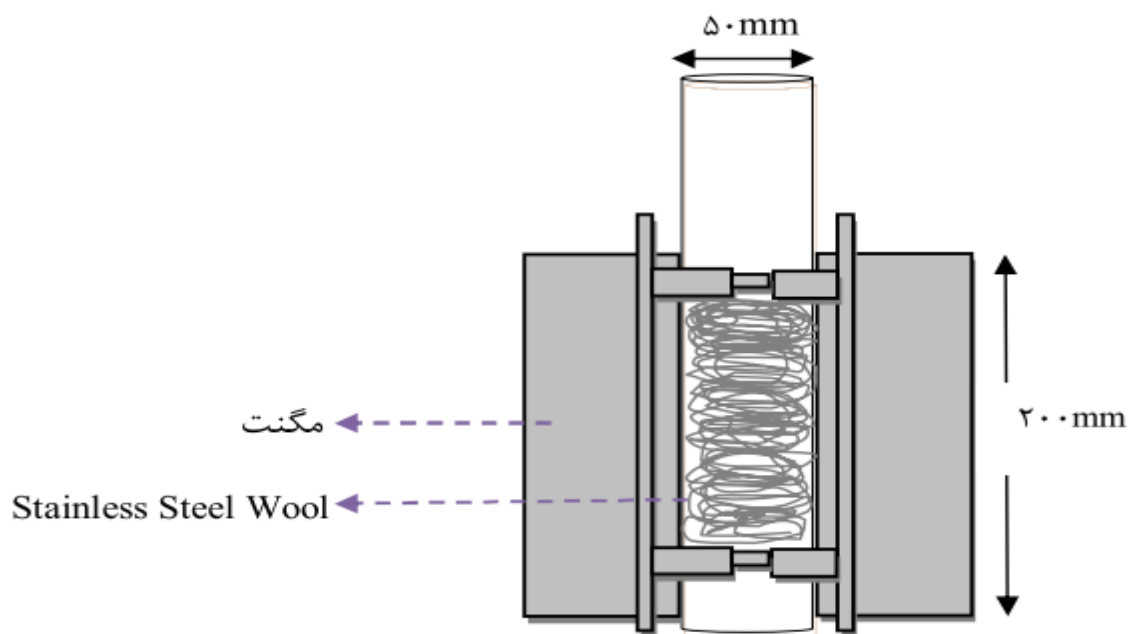
ستون رواناب

استفاده از رواناب طبیعی این مزیت را دارد که خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی آن به درستی مبین خصوصیات رواناب مورد مطالعه است. اما در این مطالعه به یک دلیل از رواناب سیستتیک استفاده گردید، اینکه حفظ (ثبات) غلظت‌های موجود در رواناب واقعی و خصوصیات آن (نظیر توزیع اندازه ذرات جامدات معلق) بسیار مشکل است. بعبارت دیگر استفاده از رواناب سیستتیک دوام بهتری دارد مواد استفاده شده در این آزمایش از شرکت مرک آلمان تهیه گردید.

مشخصات کلی ستون

ستون مورد استفاده در این مطالعه از جنس پلکسی گلاس با قطر داخلی 5 cm و ارتفاع موثر 20 cm است که دو مگنت بسیار قوی دور آن را احاطه کرده اند. این مگنت ها قادرند که در مرکز این لوله یک میدان مغناطیسی با شدت 1/5 تسلا متر را بوجود آورند. در داخل لوله و در قسمت حد فاصل بین دو مگنت، کلاف فولادی ضدزنگ یا زن خورده پر گردید تا نانوذرات بتوانند روی آنها کریستاله شوند. در این ستون جهت جریان رو به پایین بود. سرعت جریان به گونه های انتخاب شد که یک زمان ماند 10 دقیقه ای برای تماس رواناب با نانوذرات کریستاله

شده ایجاد شود. حجم کل ستون مگنتیک ۴۰۰ بود که از این مقدار ۲۰۰ ml کلاف فولادی اشغال شده و در واقع این حجم، بعنوان حجم مفید شناخته میشود آن توسط و در ml. برای انجام نمونه برداری پس از ورود نمونه به ۰,۵-۰,۶ نانوذرات اکسید آهن داخل ستون و افزودن نمونه و تحقق زمان ماند مذکور، نمونه گیری از خروجی ستون انجام میشد. در مجموع در ۵ ران در مقدار مشخص نانو ذره ۳ ران در مقدار های متفاوت نانو ذره و ۲ ران در زمان های بیشتر و مقدار آب بیشتر، کارایی روش مورد مطالعه در حذف آلاینده های موجود در رواناب مورد بررسی قرار گرفت. بطوریکه در طی هر ران ۲۰۰ ml نمونه وارد ستون شده و پس از افزودن نانوذرات و طی شدن زمان ماند گفته شده، نمونه برداری از خروجی ستون صورت میگرفت. شماتیک ستون در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲-۱ شماتیک ستون

مشخصات نانو ذرات

در این پژوهش به منظور سنجش سایز نانو ذرات، با استفاده از مقالات کار کرده بر روی این موضوع به شکل زیر می باشد و نیز نانو ذره خریداری شده توسط شرکت نیز مشخصات این گونه داشته است

اسم **Nano Iron Oxide Fe₃O₄**

۱. نانو آهن – صفر ظرفیتی **NanoFe**

خلوص نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی: $< 99.5\%$

رنگ نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی: **black**

اندازه نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی: ۳۵-۴۵ نانو متر

مساحت سطح ویژه نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی: ۸ - ۱۴ **m²/g**

۲. نانو اکسید آهن هماتیت گاما **NanoFe₂O₃, gamma**

خلوص نانو اکسید آهن: $< 99.5\%$

رنگ نانو اکسید آهن: **red brown**

اندازه ذرات نانو اکسید آهن: ۲۰ نانومتر

مساحت سطح ویژه نانو اکسید آهن: ۴۰-۸۰ **m²/g**

۳. نانو اکسید آهن هماتیت آلفا NanoFe₂O₃ , Alpha

خلوص نانو اکسید آهن < ۹۸٪

رنگ نانو اکسید آهن: red brown

اندازه ذرات نانو اکسید آهن: ۲۰ – ۴۰ نانومتر

۴. نانو اکسید آهن مگنتیت NanoFe₃O₄

خلوص نانو اکسید آهن: ۹۹,۵٪

اندازه ذرات نانو اکسید آهن: ۱۵ – ۲۰ نانومتر

مساحت سطح ویژه نانو اکسید آهن: ۸۱,۹۸ BET m²/g

رنگ نانو اکسید آهن: black

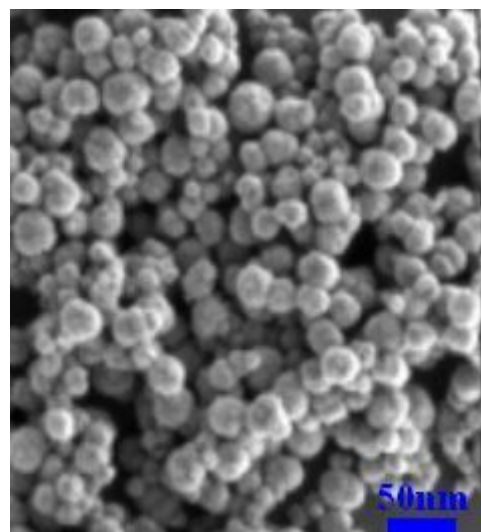
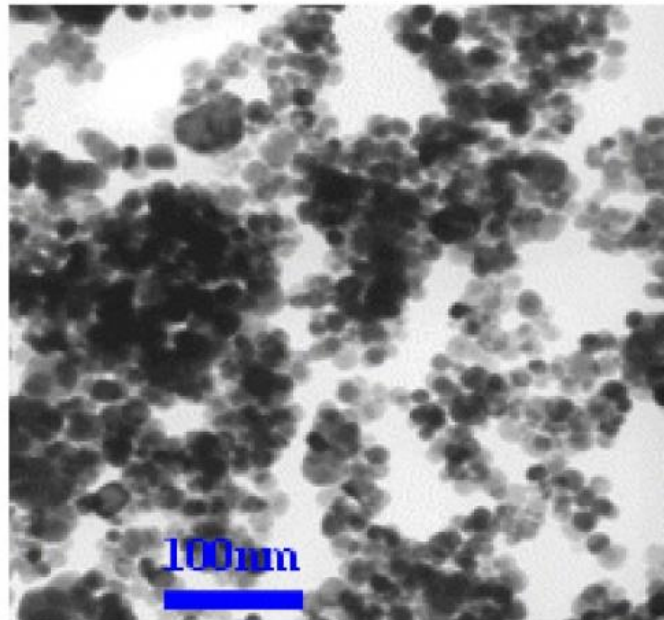
مورفولوژی و ریخت شناسی نانو ذرات اکسید آهن: spherical

چگالی ظاهری نانو ذرات اکسید آهن: ۰,۸۵ g/cm³

چگالی حقیقی نانو ذرات اکسید آهن: ۵,۱-۴,۸ g/cm³

پک های پلمب ارائه شده عبارتند از: ۲۵ گرم – ۵۰ گرم – ۱۰۰ گرم – ۵۰۰ گرم – ۱۰۰۰ گرم و بیشتر

شکل ارائه شده توسط عکس برداری Tem شرکت تولید کننده نانو ذره آزمایش شده می باشد



شکل ۱-۳ نمونه عکس برداری Tem, Sem از نانو ذره اکسید آهن

روش هایی که آزمایشگاه مربوطه جهت آنالیز کلیه موارد مورد بررسی انجام میدهد عبارت است از آنالیز فلزات سنگین از قبیل سرب و روی و کروم با جذب اتمی شعله ای انجام گردید. برای آنالیز نیترات و سولفات به ترتیب از روش (Hach) و از دستگاه DR۵۰۰۰ استفاده گردید و کدورت نیز با کدورتسنج (Euteoh Instruments TN۱۰۰) - pH . با استفاده از pH meter قرائت گردید و تنظیم صورت گرفت. سختی آب و ودما نیز با دستگاه قرائت گردید کارایی ستون در حذف هر یک از آلایندههای مورد مطالعه به تفکیک هر ران در شکل ۴ به بعد نشان داده شده است.

۱. ابتدا با استفاده از آهن صفر ظرفیتی به عنوان نانو ذره جاذب

نمونه اول مورد آزمایش شده آبی که دارای کدورت زیاد و همچنین فلزات سنگین زیاد و

ارسنیک بالا و مابقی الودگی های آب از جمله نیرات بالاتر از حد مطلوب می باشد که در ادامه

میینیم که این روش نمونه آب آلوده را که تا حد مطلوبی می رساند.

جواب آزمایش نمونه آب قبل از آزمایش اصلی و حضور نانو ذره

نمونه شماره یک ۱ که آزمایش شده و جواب به این گونه است

آدرس محل نمونه برداری	فارس-دشت ارژن
نام و عنوان نمونه بردار	سعید افراسیابی
نوع منبع آب	چاه
درجه حرارت آب	۲۷ درجه

۱) مشخصات فیزیکی

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حد مطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۲۴	۵	≤ 1	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۱۶	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در ۱۲ ^o C-۳ واحد در ۲۵ ^o C	(Threshold Odor Number) TON
هدایت الکتریکی (EC)	۹۶۴۰	---	---	---
PH	۸/۹	۶/۵-۹	۶/۵-۸/۵	---

۲) مواد شیمیایی معدنی سمی بر حسب mg/l سختی کل $CaCO_3$

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب	نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۲	۰/۰۱	-	جیوه (معدنی)	—	۰/۰۰۶	Hg
ازبست	—	MFL7	-	مولبدن	—	۰/۰۷	Mo
سرب	۹,۲	۰/۰۱	Pb	سیانور	—	۰/۰۷	Cn
کروم	۹,۶	۰/۰۵	Cr	بر	—	۰/۵	B

Ni	۰/۰۷	---	نیکل	Se	۰/۰۱	---	سلنیوم
Ba	۰/۷	---	باریم	Cd	۰/۰۰۳	۸,۷۴	کادمیوم
V	۰/۱	---	وانادیوم	Sb	۰/۰۲	---	آنتیموان

MFL :Million Fibers Per Liter

(۳) مواد شیمیایی معدنی غیر سمی

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز	نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۵۶۳۵۲۵	۱۰۰۰	۱۵۰۰	نیترات بر حسب No3	۱۴۶	-	۵۰
روی بر حسب Zn	۲۸۶	۲-۱	-	نیتريت بر حسب No2	۱۴,۲	-	۳

TDS:(Total Dissolved Solids)

(۴) میکروبی

نوع باکتری	نتیجه آزمایش	مقدار مجاز (در ۱۰۰ میلی لیتر)
کلی فرم گرما پای یا اشریشیا کلی	منفی	منفی

بعد از آزمایش توسط ستون و نانو جاذب ران های مختلف را در تغییرات صورت گرفته در این الاینده میبینید.

ابتدا تاثیر لیتر معینی از آب آلوده در زمان های مشخص با مقداری مشخص از نانو جاذب آهن صفر ظرفیتی

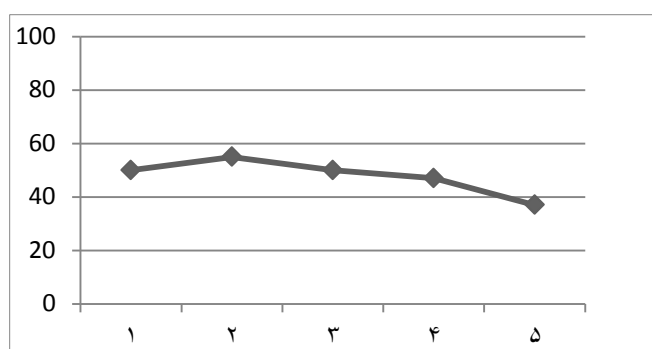
مکانیزم عملکرد این نانو ذرات بدین صورت است که این ذرات بخشی از آلاینده های موجود در آب نظیر آرسنیک و فلزات سنگین نیترات، نیتريت و ترکیبات کلریددار را یا به طور کلی از محیط حذف کرده و یا کاهش داده و یا با تبدیل آلاینده به شکل های دیگر، درجه سمیت آن ها را کاهش می دهند. نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی گونه های دیگری از آلاینده ها نظیر فلزات سنگین، فسفات و

آرسنات را روی سطح اکسید شده خود جذب سطحی می کنند و بدین ترتیب غلظت این آلاینده ها را در محیط کاهش می دهند

. نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی قابلیت این را دارند که بتواند در مدت زمان کوتاهی، غلظت های زیادی از آلودگی را از بین ببرند.

روش کار

ابتدا ۲۰۰ میلی لیتر نمونه را در ستونی که ۲۰۰ میلی لیتر آن را پوشال فلزی پوشانده شده و در دوران مگنت ها احاطه کرده می ریزیم سپس برای نمونه گیری ۰,۵ گرم نانو ذره آهن صفر ظرفیتی به ازای هر لیتر نمونه الوده را وارد نمونه کرده و سپس نمونه با نانو ذره را وارد ستون ریخته و در زمان های ۱ تا ۵ دقیقه با قرار دادن میدان مغناطیسی دیگر به صورت لحظه ای در هر دقیقه مورد بررسی قرار داده ایم.



شکل ۴-۱ راندمان حذف کلرورت به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی

جواب آزمایش صورت گرفته در مجموع ۵ دقیقه موجود

(مشخصات فیزیکی

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حد مطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۲۴	۵	≤ 1	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۱۶	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در 12°C - ۳ واحد در 25°C	(Threshold Odor Number) TON

در یک دقیقه اول آزمایش تاثیر حضور این نانو ذره را می بینیم

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حد مطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۱۲,۱	۵	≤ 1	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۱۳	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در 12°C - ۳ واحد در 25°C	(Threshold Odor Number) TON

در دقیقه دوم آزمایش

واحد اندازه گیری	حد مطلوب	حداکثر مجاز	مقدار در نمونه	نوع آزمایش
(Nephelometric Turbidity) NTU Unit	≤ 1	۵	۵,۴۴	کدورت
(True Color Unit) T.C.U	-	۱۵	۱۱	رنگ
(Threshold Odor Number) TON	۲ واحد در 12°C - ۳ واحد در 25°C	---	---	بو

در دقیقه سوم

واحد اندازه گیری	حد مطلوب	حداکثر مجاز	مقدار در نمونه	نوع آزمایش
(Nephelometric Turbidity) NTU Unit	≤ 1	۵	۲,۷۳	کدورت
(True Color Unit) T.C.U	-	۱۵	۷	رنگ
(Threshold Odor Number) TON	۲ واحد در 12°C - ۳ واحد در 25°C	---	---	بو

دقیقه چهارم

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حد مطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۱,۵	۵	≤ 1	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۵,۵	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در 12°C - ۳ واحد در 25°C	(Threshold Odor Number) TON

دقیقه پنجم

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حد مطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۰,۹۷	۵	$\leq 0,9$	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۵,۵	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در 12°C - ۳ واحد در 25°C	(Threshold Odor Number) TON

میبینیم که تاثیرات در حذف کدورت آب آلوده که آب را تا حد مطلوب پایین آورد که این تاثیر

نزدیک به ۴۸ درصد می باشد.

در این مرحله به بررسی تغییرات PH و هدایت الکتریکی در حضور نانو ذره آهن صفر ظرفیتی در آب

آلوده را می بینیم

نمونه آلوده

---	---	---	۹۶۴۰	هدایت الکتریکی (EC)
---	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹	۸/۹	PH

در یک دقیقه اول تا سوم که به طور میانگین در کاهش هدایت الکتریکی تاثیری ۸۲ درصدی داشت

---	---	---	۱۷۳۵,۲	هدایت الکتریکی (EC)
---	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹	۷,۳	PH

از دقیقه سوم تا پنجم نیز به طور میانگین در کاهش هدایت الکتریکی تاثیری ۸۰ تا ۷۹ درصد داشت.

---	---	---	۳۵۰,۶	هدایت الکتریکی (EC)
---	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹	۶	PH

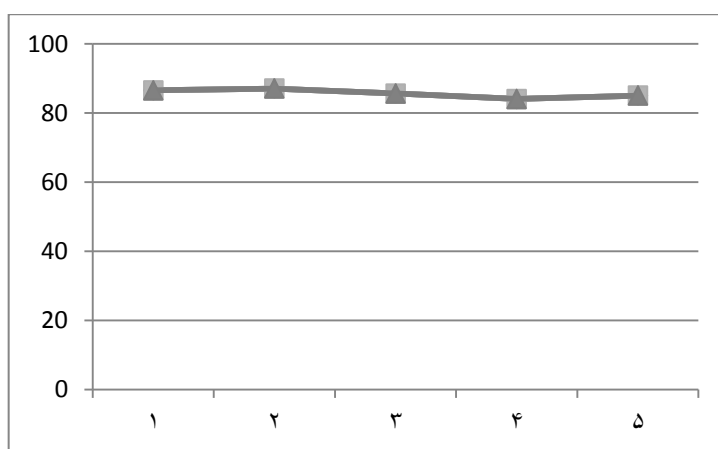
بعد از این مرحله با همان روش قبل در حذف کدورت شروع به بررسی عددی حذف فلزات سنگین موجود در آب و حذف آرسنیک موجود در آب آلوده میکنیم.

از آنجا که آهن صفر ظرفیتی زمانی ک بدون حضور اکسیژن در آب قرار بگیرد بسیار در واکنش اکسیداسیون مفید تر می باشد و از آنجا که آرسنیک جاذب الکترون قوی تری نسبت به ملکول های آب می باشد به صورت قوی تر با این ذرات جذب شده و حذف میشوند. به طوررندم از آب الوده آرسنیک و یک نمونه فلز سنگین و کدورت در بازه زمانی بیشتر و غلظت بیشتر نانو ذره در آب الوده نیز آزمایش گرفته ایم که بعدنتایج حاصله را مشاهده میکنیم.

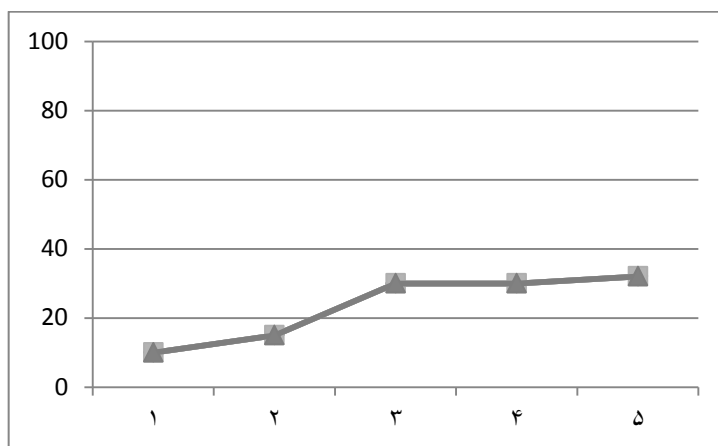
اولین فلز سنگین حذف شده در آب که مورد بررسی قرار گرفت سرب و سم آرسنیک است.

راندمان حذف سرب این آزمایش بسیار بالا بوده است

اما راندمان حذف آرسنیک هرچند کافی اما به نسبت حذف فلزات سنگین کمتر بوده است



شکل ۵-۱ راندمان حذف سرب به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی



شکل ۶-۱ راندهمان حذف آرسنیک به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی

جواب آزمایش سرب و آرسنیک موجود در آب آلوده

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۲	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۹,۲	۰/۰۱	Pb

در یک دقیقه اول حضور این نانو ذره در آب آلوده

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۱۸	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۱,۲۴	۰/۰۱	Pb

در دومین دقیقه حضور این نانو ذره در آب آلوده

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۱۵۲	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۰,۱۷۸	۰/۰۱	Pb

در سومین دقیقه حضور این نانو ذره در آب آلوده

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۱	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۰,۰۲۴۱	۰/۰۱	Pb

در چهارمین و پنجمین دقیقه حضور این نانو ذره در آب آلوده

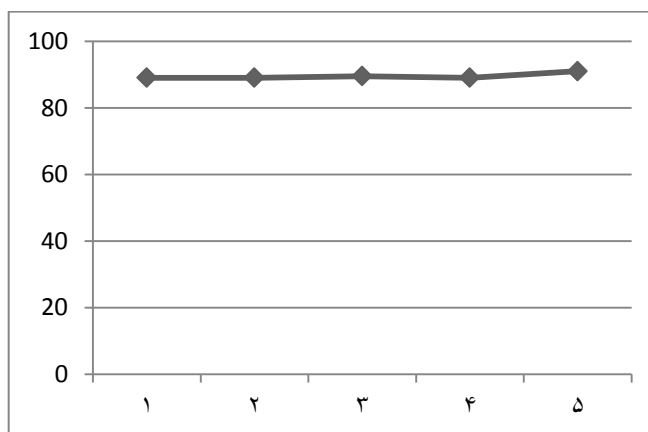
نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۰۴۵۵	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۰,۰۰۳۷	۰/۰۱	Pb

همان گونه که از جواب نتایج آزمایش جهت حذف فلزات سنگین سرب و تا حدودی سم آرسنیک می بینیم حضور نانو ذره آهن صفر ظرفیتی تاثیر بالایی در حذف این الاینده های خطرناک در آب دارد. که این فعالیت در آرسنیک نزدیک به ۲۵ درصد و در سرب نزدیک به ۸۵,۷ درصد می باشد لذا حضور این نانو ذره بسیار مفید واقع شده است.

در این مرحله از کار شروع به حذف فلز سنگین دیگری با همان روش قبل میکنیم . در این مرحله حذف فلز روی از آب الوده می باشد.

نمونه دارای الاینده بالاتر از حد مطلوب در آب

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
روی بر حسب Zn	۲۸۶	۱-۲	-



شکل ۷-۱ راندمان حذف روی به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی

میانگین تاثیر نانو ذره را با همان روش با استفاده از همان ستون و روش در از صفر تا دو دقیقه

میبینیم

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
روی بر حسب Zn	۳۱,۴۷	۲-۱	-

میانگین تاثیر نانو ذره از دو تا ۴ دقیقه

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
روی بر حسب Zn	۳,۴	۲-۱	-

تاثیر نانو ذره در حذف روی در دقیقه ۵

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
روی بر حسب Zn	۰,۳۴	۲-۱	-

تاثیر این روش را در حذف روی و رساندن آن به حد مطلوب میبینیم. حضور نانو آهن صفر ظرفیتی در حذف روی تاثیری به طور میانگین نزدیک به ۸۹ درصد داشته است که این اثر بسیار مفید در امر تصفیه آب آلوده میباشد..

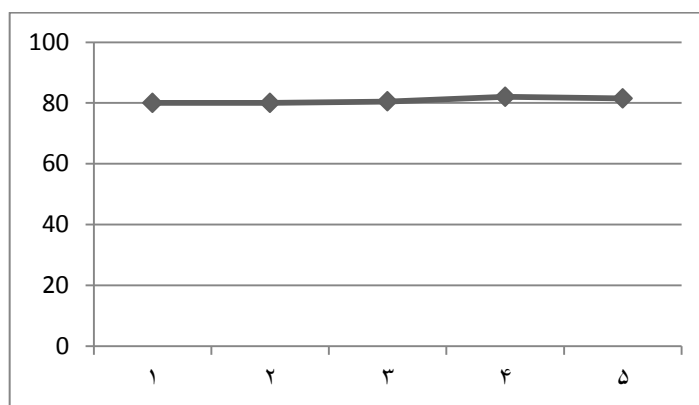
در این مرحله از کار شروع به حذف فلز سنگین دیگری با همان روش قبل میکنیم . در این مرحله حذف فلز کروم و کادمیوم از آب الوده می باشد.

نمونه دارای الاینده کروم و کادمیوم بالاتر از حد مطلوب در آب

Cr	۰/۰۵	۹,۶	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۸,۷۴	کادمیوم

تاثیر بالای حضور این نانو ذره (آهن صفر ظرفیتی) در حذف کروم و کادمیوم را مشاهده میکنیم

که تاثیری در حدود ۸۱ درصدی داشته است



شکل ۸-۱ راندمان حذف کادمیوم و کروم به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی

نمونه پس از گذراندن دقیقه اول آزمایش

Cr	۰/۰۵	۱,۹۳	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۱,۸	کادمیوم

نمونه پس از گذراندن دقیقه دوم آزمایش

Cr	۰/۰۵	۰,۴	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۰,۲۲	کادمیوم

نمونه پس از گذراندن دقیقه سوم آزمایش

Cr	۰/۰۵	۰,۰۷۸	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۰,۰۴۳	کادمیوم

نمونه پس از گذراندن دقیقه چهارم آزمایش

Cr	۰/۰۵	۰,۰۱۵	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۰,۰۰۷۸	کادمیوم

نمونه پس از گذراندن دقیقه پنجم آزمایش

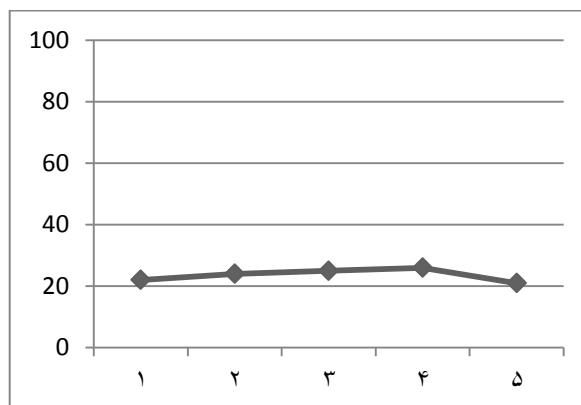
Cr	۰/۰۵	۰,۰۰۳	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۰,۰۰۱۵	کادمیوم

حال تاثیر این روش را در حذف نیتريت و نیترات و رساندن آن به حد کمتری در آب میبینیم.

حضور نانو آهن صفر ظرفیتی در حذف نیترات تاثیر به طور میانگین نزدیک به ۲۳ درصد داشته

است که این اثر بسیار مفید در امر تصفیه آب آلوده میباشد

نیتريت بر حسب No2	۱۴,۲	-	۳	نترات بر حسب No3	۱۴۶	-	۵۰
-------------------	------	---	---	------------------	-----	---	----



شکل ۹-۱ راندمان حذف نیتريت و نترات به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی

نمونه پس از گذراندن دقیقه اول آزمایش

نیتريت بر حسب No2	۱۱,۰۸	-	۳	نترات بر حسب No3	۱۱۳,۹	-	۵۰
-------------------	-------	---	---	------------------	-------	---	----

نمونه پس از گذراندن دقیقه دوم آزمایش

نیتريت بر حسب No2	۸,۴۳	-	۳	نترات بر حسب No3	۸۶,۵۷	-	۵۰
-------------------	------	---	---	------------------	-------	---	----

نمونه پس از گذراندن دقیقه سوم آزمایش

نیتريت بر حسب No2	۶,۳۳	-	۳	نترات بر حسب No3	۶۵	-	۵۰
-------------------	------	---	---	------------------	----	---	----

نمونه پس از گذراندن دقیقه چهارم آزمایش

نیتريت بر حسب No2	۴,۶۸	-	۳	نترات بر حسب No3	۴۸,۱	-	۵۰
-------------------	------	---	---	------------------	------	---	----

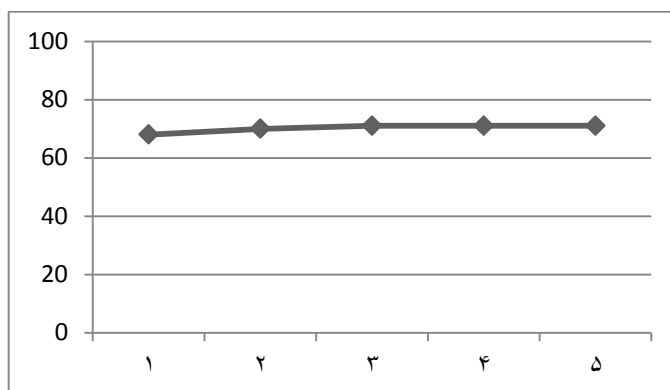
نمونه پس از گذراندن دقیقه پنجم آزمایش

نیتريت بر حسب No2	۳,۶	-	۳	نترات بر حسب No3	۳۸	-	۵۰
-------------------	-----	---	---	------------------	----	---	----

تأثير اين روش را در حذف نيتريت و نيترات رساندن آن به حد مطلوب مي بينيم. حضور نانو آهن صفر ظرفيتي در حذف اين دو شاخص تأثيري بسيار كم داشته است هر چند در قسمت بعد مي بينيم كه اين اثر بسيار مفيد تر از نانو ذره اكسيد آهن در امر تصفيه آب آلوده مي باشد.

حال تأثير اين روش را در كاهش سختي آب و رساندن آن به حد كم تري در آب مي بينيم. حضور نانو آهن صفر ظرفيتي در كاهش سختي تأثيري به طور ميانگين نزديك به ۷۰ درصدی داشته است كه اين اثر بسيار مفيد در امر تصفيه آب آلوده مي باشد

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداكثر مجاز
كل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۵۶۳۵۲۵	۱۰۰۰	۱۵۰۰



شکل ۱۰-۱ راندمان کاهش سختی آب به $\%$ در پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی

نمونه پس از گذراندن دقیقه اول آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۱۸۰۳۲۸	۱۰۰۰	۱۵۰۰

نمونه پس از گذراندن دقیقه دوم آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۵۴۱۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰

نمونه پس از گذراندن دقیقه سوم آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۱۵۶۸۹	۱۰۰۰	۱۵۰۰

نمونه پس از گذراندن دقیقه چهارم آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۴۵۴۹٫۸	۱۰۰۰	۱۵۰۰

نمونه پس از گذراندن دقیقه پنجم آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۱۳۱۹	۱۰۰۰	۱۵۰۰

رفته رفته هر چه به سمت پنج دقیقه میل میکرد در نتیجه آب سختی کمتری پیدا میکند حتی به نزدیکی آب شرب می رسد پس حضور نانو ذره آهن صفر ظرفیتی در تصفیه آب بسیار مفید می باشد و اگر غلظت بیشتر و زمان بیشتر طی میشد شاید به آبی با سختی بسیار کم رسید.

۲. با استفاده از اکسید آهن به عنوان نانو ذره جاذب

نمونه اول مورد آزمایش شده آبی که دارای کدورت زیاد و همچنین فلزات سنگین زیاد و اندکی ارسنیک و مابقی الودگی های آب می باشد اما این نمونه بیشتر جهت حذف و کاهش فلزات و کدورت موجود در آب مورد بررسی قرار گرفت

در این قسمت تاثیر حضور نانو ذره اکسید آهن را میبینیم تمامی مراحل آزمایش مانند همان قسمت قبل می باشد. نانو ذرات اکسید آهن رفتاری مشابه با نانو ذره آهن صفر ظرفیتی دارد هیدرکسید آهن وقتی ذرات هیدراکسید آهن کمتر از ۱۲۸ نانومتر می شوند به ذرات سوپراپارامغناطیس تبدیل می شوند که از خود نظمی ندارند. گشتاور مغناطیسی نانو ذرات هیدراکسید آهن می تواند با استفاده از دسته هایی از تعدادی نانو ذرات سوپراپارامغناطیسی کنترل شده به مقدار زیاد افزایش یابد

نانو ذره اکسید آهن مگنیت دارای خواص زیر می باشد.

۱. استحکام شیمیایی بالاتر

۲. توزیع در اندازه باریک

۳. استحکام کلوییدی بالاتر (از آنجایی که آنها از نظر مغناطیسی متراکم نیستند)

۴. گشتاور مغناطیسی می تواند با اندازه دسته نانو ذرات مغناطیسی وفق پیدا کند.

۵. ویژگی های سوپر پارامغناطیسی ادامه دارد (به اندازه دسته نانو ذرات مغناطیسی بستگی دارد)

۶. سطح سیلیسیم اکسید عملکرد اشتراک جفت الکترون ها را آسان تر می کند

جواب آزمایش نمونه آب قبل از آزمایش اصلی و حضور نانو ذره اکسید آهن مگنتیت

نمونه شماره یک ۱ که آزمایش شده و جواب به این گونه است

آدرس محل نمونه برداری	فارس-دشت ارژن
نام و عنوان نمونه بردار	سعید افراسیابی
نوع منبع آب	چاه
درجه حرارت آب	۲۷ درجه

۱) مشخصات فیزیکی

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حد مطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۱۸	۵	≤ 1	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۱۶	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در ۱۲ ^o C-۳ واحد در ۲۵ ^o C	(Threshold Odor Number) TON
هدایت الکتریکی (EC)	۹۶۴۰	---	---	---
PH	۸/۹	۶/۵-۹	۶/۵-۸/۵	---

۲) مواد شیمیایی معدنی سمی بر حسب mg/l سختی کل $CaCO_3$

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب	نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۲	۰/۰۱	-	جیوه (معدنی)	—	۰/۰۰۶	Hg
ازبست	—	MFL7	-	مولیبدن	—	۰/۰۷	Mo
سرب	۹,۲	۰/۰۱	Pb	سیانور	—	۰/۰۷	Cn
کروم	۹,۶	۰/۰۵	Cr	بر	—	۰/۵	B

Ni	۰/۰۷	---	نیکل	Se	۰/۰۱	---	سلنیوم
Ba	۰/۷	---	باریم	Cd	۰/۰۰۳	۸,۷۴	کادمیوم
V	۰/۱	---	وانادیوم	Sb	۰/۰۲	---	آنتیموان

MFL :Million Fibers Per Liter

(۳) مواد شیمیایی معدنی غیر سمی

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز	نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۵۶۳۵۲۵	۱۰۰۰	۱۵۰۰	نیترات بر حسب No3	۱۴۶	-	۵۰
روی بر حسب Zn	۲۸۶	۲-۱	-	نیتريت بر حسب No2	۱۴,۲	-	۳

TDS:(Total Dissolved Solids)

(۴) میکروبی

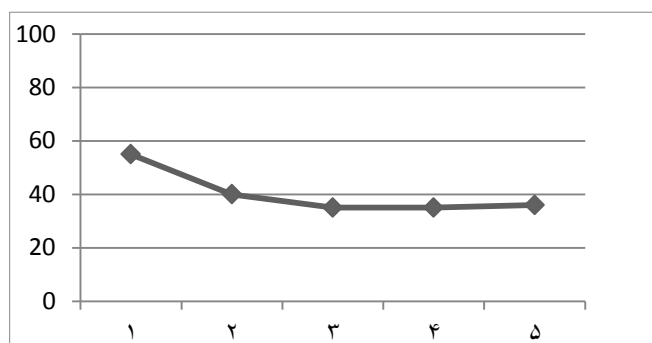
نوع باکتری	نتیجه آزمایش	مقدار مجاز (در ۱۰۰ میلی لیتر)
کلی فرم گرما پای یا اشریشیا کلی	منفی	منفی

بعد از آزمایش توسط ستون و نانو جاذب ران های مختلف را در تغییرات صورت گرفته در این
 آینده و تاثیر لیتر معینی از آب آلوده در زمان های مشخص با مقداری مشخص از نانو جاذب
 اکسید آهن مگنتیت را میبینید

روش کار

ابتدا ۲۰۰ میلی لیتر نمونه را در ستونی که ۲۰۰ میلی لیتر آن را پوشال فلزی پوشانده شده و در دوران مگنت ها احاطه کرده می ریزیم سپس برای نمونه گیری ۰,۵ تا ۰,۶ گرم نانو ذره اکسید آهن مگنتیت به ازای هر لیتر نمونه الوده را وارد نمونه کرده و سپس نمونه با نانو ذره را وارد ستون ریخته و در زمان های ۱ تا ۵ دقیقه با قرار دادن میدان مغناطیسی دیگر به صورت لحظه ای در هر دقیقه مورد بررسی قرار داده ایم.

در ابتدا کاهش کدورت آب در حضور نانو ذره اکسید آهن مگنتیت را می بینیم.



شکل ۱۱-۱ راندمان حذف کدورت به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی

جواب آزمایش صورت گرفته در مجموع ۵ دقیقه موجود

(مشخصات فیزیکی

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حدمطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۲۴	۵	≤ 1	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۱۶	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در 10^{-3} واحد در 10^{-5}	(Threshold Odor Number) TON

در یک دقیقه اول آزمایش تاثیر حضور این نانو ذره را می بینیم

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حدمطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۱۰٫۸	۵	≤ 1	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۱۲٫۵	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در 10^{-3} واحد در 10^{-5}	(Threshold Odor Number) TON

در دقیقه دوم آزمایش

واحد اندازه گیری	حد مطلوب	حداکثر مجاز	مقدار در نمونه	نوع آزمایش
(Nephelometric Turbidity) NTU Unit	≤ 1	۵	۶,۵	کدورت
(True Color Unit) T.C.U	-	۱۵	۹,۴	رنگ
(Threshold Odor Number) TON	۲ واحد در 12°C - ۳ واحد در 25°C	---	---	بو

در دقیقه سوم

واحد اندازه گیری	حد مطلوب	حداکثر مجاز	مقدار در نمونه	نوع آزمایش
(Nephelometric Turbidity) NTU Unit	≤ 1	۵	۴,۲۳	کدورت
(True Color Unit) T.C.U	-	۱۵	۶,۵	رنگ
(Threshold Odor Number) TON	۲ واحد در 12°C - ۳ واحد در 25°C	---	---	بو

دقیقه چهارم

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حد مطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۲,۷۵	۵	≤ 1	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۶	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در ۱۲ °C-۳ واحد در ۲۵ °C	(Threshold Odor Number) TON

دقیقه پنجم

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	حد مطلوب	واحد اندازه گیری
کدورت	۱,۷۸	۵	≤ 0.9	(Nephelometric Turbidity) NTU Unit
رنگ	۴,۵	۱۵	-	(True Color Unit) T.C.U
بو	---	---	۲ واحد در ۱۲ °C-۳ واحد در ۲۵ °C	(Threshold Odor Number) TON

میبینیم که تاثیرات در حذف کدورت آب آلوده که آب را تا نزدیکی به حد مطلوب پایین آورد که درصد حذف و کاهش کدورت چیزی نزدیک به ۴۰ درصد می باشد. که در مقایسه نانو ذره آهن صفر ظرفیتی بازده کمتری در حذف کدورت دارد.

در این مرحله به بررسی تغییرات PH و هدایت الکتریکی در حضور نانو اکسید آهن مگنتیت در آب

آلوده را می بینیم

نمونه آلوده

---	---	---	۹۶۴۰	هدایت الکتریکی (EC)
---	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹	۸/۹	PH

در یک دقیقه اول تا سوم که به طور میانگین در کاهش هدایت الکتریکی تاثیری ۸۳ درصدی داشت

---	---	---	۱۶۳۹	هدایت الکتریکی (EC)
---	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹	۷,۱	PH

از دقیقه سوم تا پنجم نیز به طور میانگین در کاهش هدایت الکتریکی تاثیری ۸۵ درصد داشت.

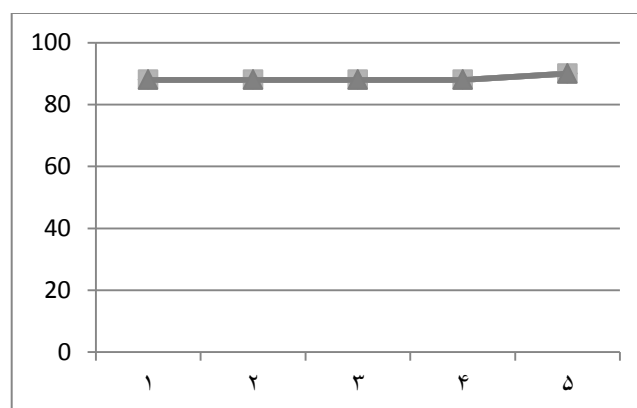
---	---	---	۲۴۵,۹	هدایت الکتریکی (EC)
---	۶/۵-۸/۵	۶/۵-۹	۶,۰۱	PH

بعد از این مرحله با همان روش قبل در حذف کدورت شروع به بررسی عددی حذف فلزات سنگین

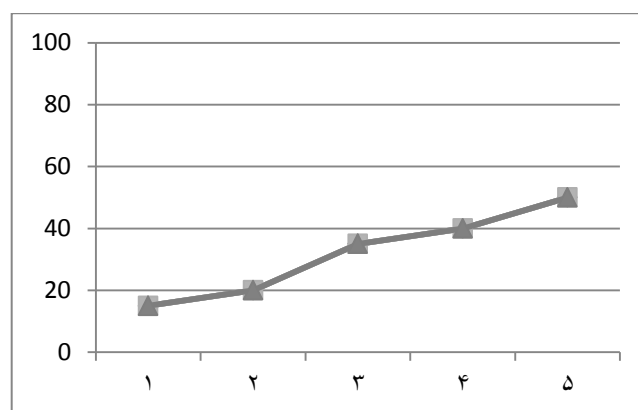
موجود در آب و حذف آرسنیک موجود در آب آلوده میکنیم.

از آنجا که نانو اکسید آهن مگنتیت زمانی که بدون حضور اکسیژن در آب قرار بگیرد بسیار در واکنش اکسیداسیون مفید تر می باشد و از آنجا که آرسنیک جاذب الکترون قوی تری نسبت به ملکول های آب می باشد به صورت قوی تر با این ذرات جذب شده و حذف میشوند. به طوررندم از آب الوده آرسنیک و یک نمونه فلز سنگین و کدورت در بازه زمانی بیشتر و غلظت بیشتر نانو ذره در آب الوده نیز آزمایش گرفته ایم که بعدنتایج حاصله را مشاهده میکنیم.

اولین فلز سنگین حذف شده در آب که مورد بررسی قرار گرفت سرب و سم آرسنیک است. راندمان حذف سرب در این آزمایش بسیار بالا بوده است ولی راندمان حذف سم آرسنیک به نسبت پایین بوده است اما در مقایسه با آهن صفر ظرفیتی در هر دو الاینده قدرت جذب آهن اکسید مگنتیت بیشتر است. هم در حذف سرب هم در کاهش سم آرسنیک.



شکل ۱۲-۱ راندمان حذف سرب به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره اکسید آهن مگنتیت



شکل ۱۳-۱ راندمان حذف سم آرسنیک به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره اکسید آهن مگنتیت

جواب آزمایش سرب و آرسنیک موجود در آب الوده

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۲	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۹,۲	۰/۰۱	Pb

در یک دقیقه اول حضور این نانو ذره در آب آلوده

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۱۷	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۱,۱۱	۰/۰۱	Pb

در دومین دقیقه حضور این نانو ذره در آب آلوده

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۰۸۵	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۰,۱۳۴	۰/۰۱	Pb

در سومین دقیقه حضور این نانو ذره در آب آلوده

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۰۵۶	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۰,۰۱۶	۰/۰۱	Pb

در چهارمین و پنجمین دقیقه حضور این نانو ذره در آب آلوده

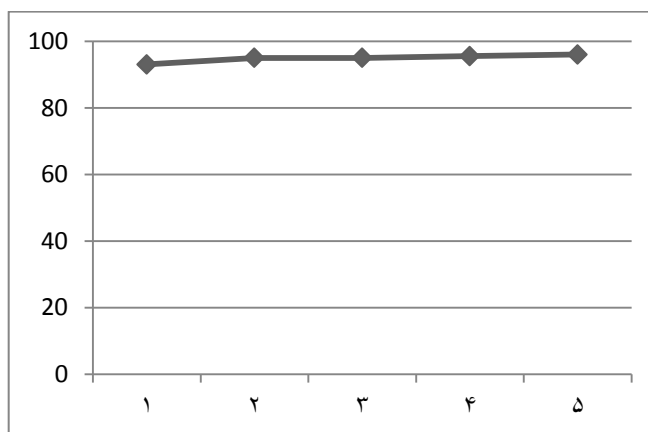
نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حداکثر مجاز	بر حسب
آرسنیک	۰,۰۱۷	۰/۰۱	-
ازبست	—	MFL7	-
سرب	۰,۰۰۱۷۶	۰/۰۱	Pb

همان گونه که از جواب نتایج آزمایش جهت حذف فلزات سنگین سرب و تا حدودی سم آرسنیک می بینیم حضور نانو ذره آهن صفر ظرفیتی تاثیر بالایی در حذف این الاینده های خطرناک در آب دارد. که این فعالیت در آرسنیک نزدیک به ۳۳ درصد و در سرب نزدیک به ۸۸ درصد می باشد لذا حضور این نانو ذره بسیار مفید واقع شده است.

در این مرحله از کار شروع به حذف فلز سنگین دیگری با همان روش قبل میکنیم . در این مرحله حذف فلز روی از آب الوده می باشد.

نمونه دارای الاینده بالاتر از حد مطلوب در آب

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
روی بر حسب Zn	۲۸۶	۱-۲	-



شکل ۱۴-۱ راندمان حذف روی به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره اکسید آهن مگنتیت

میانگین تاثیر نانو ذره را با همان روش با استفاده از همان ستون و روش در از صفر تا دو دقیقه

میبینیم

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
روی بر حسب Zn	۱۷,۲	۲-۱	-

میانگین تاثیر نانو ذره از دو تا ۴ دقیقه

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
روی بر حسب Zn	۰,۸۶	۲-۱	-

تاثیر نانو ذره در حذف روی در دقیقه ۵

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
روی بر حسب Zn	۰,۰۴	۲-۱	-

تاثیر این روش را در حذف روی و رساندن آن به حد مطلوب میبینیم. حضور نانو اکسید آهن

مگنیت در حذف روی تاثیر به طور میانگین نزدیک به ۹۵ درصد داشته است که این اثر بسیار

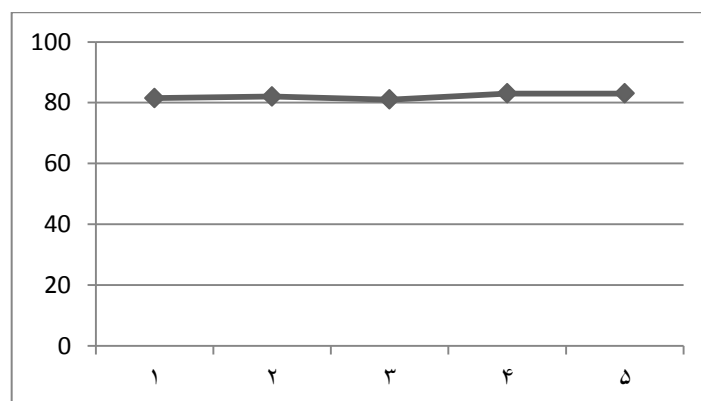
مفید در امر تصفیه آب آلوده میباشد. و در قیاس با نانو آهن صفر ظرفیتی عملکرد بهتری داشت

در این مرحله از کار شروع به حذف فلز سنگین دیگری با همان روش قبل میکنیم . در این مرحله حذف فلز کروم و کادمیوم از آب الوده می باشد.

نمونه دارای الاینده کروم و کادمیوم بالاتر از حد مطلوب در آب

Cr	۰/۰۵	۹,۶	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۸,۷۴	کادمیوم

تاثیر بالای حضور این نانو ذره (اکسید آهن مگنتیت) در حذف کروم و کادمیوم را مشاهده میکنیم که تاثیری در حدود ۸۲ درصدی داشته است



شکل ۱۵-۱ راندمان حذف کادمیوم و کروم به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره اکسید آهن مگنتیت

نمونه پس از گذراندن دقیقه اول آزمایش

Cr	۰/۰۵	۱,۷	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۱,۶	کادمیوم

نمونه پس از گذراندن دقیقه دوم آزمایش

Cr	۰/۰۵	۰,۳	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۰,۲۹	کادمیوم

نمونه پس از گذراندن دقیقه سوم آزمایش

Cr	۰/۰۵	۰,۰۶	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۰,۰۵۵	کادمیوم

نمونه پس از گذراندن دقیقه چهارم آزمایش

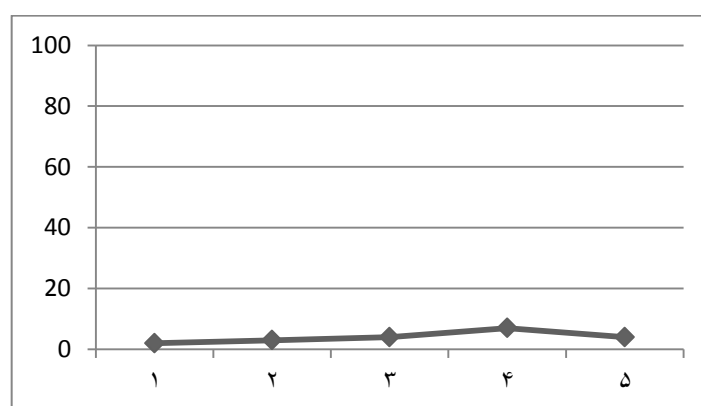
Cr	۰/۰۵	۰,۰۱	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۰,۰۰۷۸	کادمیوم

نمونه پس از گذراندن دقیقه پنجم آزمایش

Cr	۰/۰۵	۰,۰۰۲	کروم
Cd	۰/۰۰۳	۰,۰۰۱۴	کادمیوم

حال تاثیر این روش را در حذف نیتريت و نترات و رساندن آن به حد کمتری در آب میبینیم. حضور نانو اکسید آهن مگنتیت در حذف نترات تاثیر به طور میانگین نزدیک به ۴ درصد داشته است که نشان می دهد این روش در حذف نترات و نیتريت نا موفق بوده است .

نیتريت بر حسب No_2	۱۴,۲	-	۳	نترات بر حسب No_3	۱۴۶	-	۵۰
-----------------------------	------	---	---	----------------------------	-----	---	----



شکل ۱-۱۶ راندمان حذف نیتريت و نترات به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره اکسید آهن مگنتیت

نمونه پس از گذراندن دقیقه اول آزمایش

نیتريت بر حسب No_2	۱۳,۹	-	۳	نترات بر حسب No_3	۱۱۳,۹	-	۵۰
-----------------------------	------	---	---	----------------------------	-------	---	----

نمونه پس از گذراندن دقیقه دوم آزمایش

نیتريت بر حسب No_2	۱۳,۴۹	-	۳	نترات بر حسب No_3	۸۶,۵۷	-	۵۰
-----------------------------	-------	---	---	----------------------------	-------	---	----

نمونه پس از گذراندن دقیقه سوم آزمایش

نیتريت بر حسب No2	۱۲,۹۵	-	۳	نترات بر حسب No3	۶۵	-	۵۰
-------------------	-------	---	---	------------------	----	---	----

نمونه پس از گذراندن دقیقه چهارم آزمایش

نیتريت بر حسب No2	۱۲	-	۳	نترات بر حسب No3	۴۸,۱	-	۵۰
-------------------	----	---	---	------------------	------	---	----

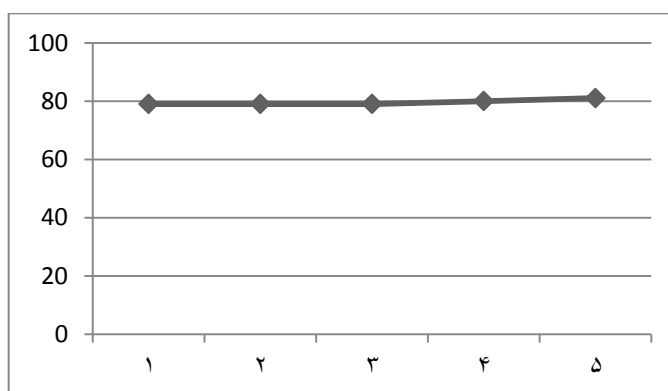
نمونه پس از گذراندن دقیقه پنجم آزمایش

نیتريت بر حسب No2	۱۱,۵	-	۳	نترات بر حسب No3	۳۸	-	۵۰
-------------------	------	---	---	------------------	----	---	----

تأثير اين روش را در حذف نيتريت و نيترات و عدم رساندن آن به حد مطلوب مي بينيم و ضعف اين روش و اين نانو ذره در جذب نيترات و نيتريت را مشاهده مي كنيم لذا اين روش در حذف اين الاینده تأثیری ندارد. حضور نانو اکسید آهن مگنتیت در حذف این دو شاخص تأثیری ناچیر در حد صفر داشته است

حال تاثیر این روش را در کاهش سختی آب و رساندن آن به حد کمتری در آب میبینیم. حضور نانو آهن صفر ظرفیتی در کاهش سختی تاثیری به طور میانگین نزدیک به ۸۰ درصدی داشته است که این اثر بسیار مفید در امر تصفیه آب آلوده میباشد

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۵۶۳۵۲۵	۱۰۰۰	۱۵۰۰



شکل ۱۷-۱ راندمان کاهش سختی آب به % در پنج دقیقه توسط نانو ذره اکسید آهن مگنتیت

نمونه پس از گذراندن دقیقه اول آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۱۱۸۳۴۱	۱۰۰۰	۱۵۰۰

نمونه پس از گذراندن دقیقه دوم آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۲۴۸۵۳	۱۰۰۰	۱۵۰۰

نمونه پس از گذراندن دقیقه سوم آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۵۲۲۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰

نمونه پس از گذراندن دقیقه چهارم آزمایش

نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۱۰۴۴	۱۰۰۰	۱۵۰۰

نمونه پس از گذراندن دقیقه پنجم آزمایش

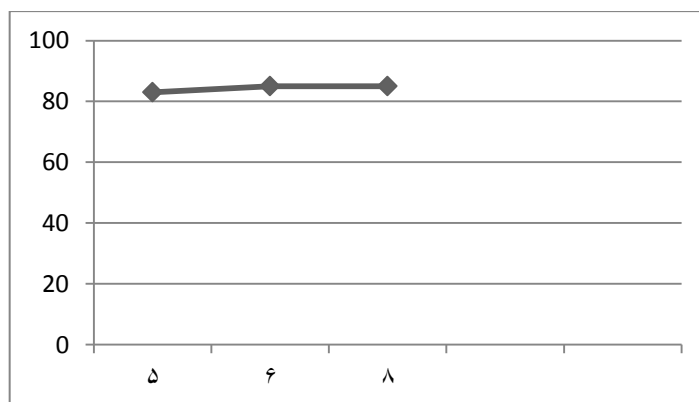
نوع آزمایش	مقدار در نمونه	حد مطلوب	حداکثر مجاز
کل مواد جامد محلول بر حسب Tds	۳۰۹	۱۰۰۰	۱۵۰۰

باز نیز میبینیم که تاثیر حضور این نانو ذره به نسبت با آهن صفر ظرفیتی تاثیر بهتری داشته است و رفته رفته هر چه به سمت پنج دقیقه میل میکرد در نتیجه آب سختی کمتری پیدا میکند و نزدیک آب شرب منازل می رسد پس حضور نانو ذره اکسید آهن مگنیت در تصفیه آب بسیار مفید می باشد و اگر غلظت بیشتر و زمان بیشتر طی میشد شاید به آبی با سختی بسیار کم رسید

حال به بررسی حضور بیشتر با غلظت بیشتری از نانو ذرات در آب آلوده می پردازیم به طور کل تاثیر زمان بیشتر تا ده دقیقه و غلظت بیشتر از نانو ذرات را در بحث تصفیه آب نیز بررسی میکنیم. غلظت نانو ذره ها تا ۰,۸ الی ۰,۹ رسانده ایم و زمان ماندن در این سیستم ستون مغناطیسی و همچنین حضور مگنت دیگر جهت میدان مغناطیسی را بیشتر کردیم.

در نتیجه تاثیرات در حضور هر دو نانو ذره را میبینیم.

نانو ذره اکسید آهن مگنتیت

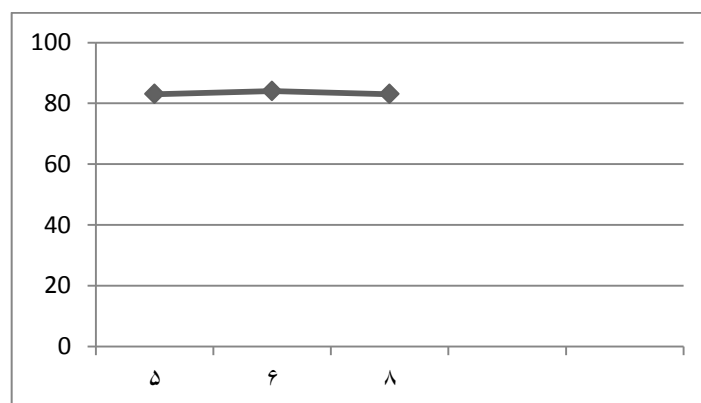


شکل ۱۸-۱ راندمان کاهش فلزات سنگین آب به $\%$ سه دقیقه بعد از پنج دقیقه توسط نانو ذره

اکسید آهن مگنتیت

در این مرحله دیدیم که با افزایش غلظت نانو ذره و زمان بیشتر در این سه دقیقه اضافی باز با همان اندازه فعالیت کرده البته در شروع کار راندمان افزایش داشت و در دقیقه هشتم با همان دقیقه

ششم راندمان حذف برابری میکرد



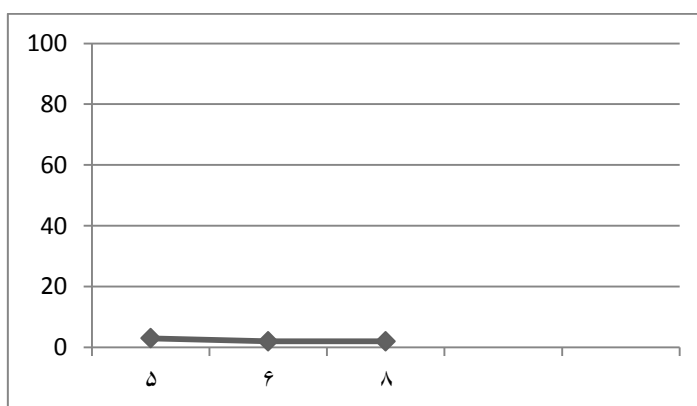
شکل ۱۹-۱ راندمان کاهش فلزات سنگین آب به $\%$ سه دقیقه بعد از پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن

صفر ظرفیتی

میبین که با افزایش غلظت نانو ذره در آب الوده و زمان بیشتر تاثیر حذف بهتر است اما شاید این موضوع از نظر هزینه و زمان بیشتر مناسب نباشد چون خرید یا تولید نانو ذرات بسیار پرهزینه بوده

و در مقیاس کوچکی از آب الوده این مقدار نانو ذره شاید کم باشد اما در مقیاس بزرگتر این حجم هزینه های بالایی به همراه دارد.

در این مرحله تاثیر این روش یعنی افزایش مقدار نانو ذره و زمان بیشتر آزمایش را در حذف نیترات بررسی میکنیم.

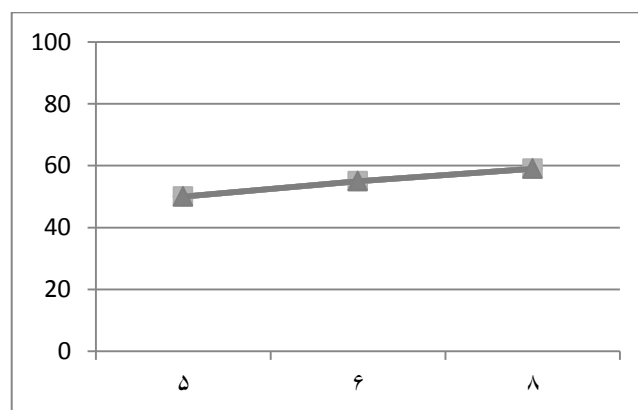


شکل ۲۰-۱ راندمان کاهش نیترات آب به % سه دقیقه بعد از پنج دقیقه توسط نانو ذره اکسید آهن مگنتیت

در این مرحله پس از بررسی توسط نانو ذره اکسید آهن مگنتیت دیدیم که غلظت بیشتر و زمان بیشتر تاثیری در حذف نترات ندارد و تقریباً باز هم بی اثر بوده است.

در نانو ذره آهن صفر ظرفیتی نیز تقریباً همان تاثیر حتی کمتر در غلظت و همان زمان را دارد.

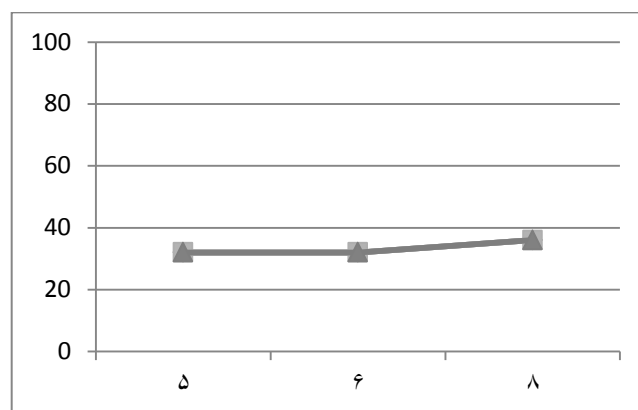
مرحله بررسی تاثیر مقدار بیشتر نانو ذره در آب الوده در بازه زمانی بیشتر برای حذف آرسنیک



شکل ۲۱-۱ راندمان کاهش سم آرسنیک در آب به ٪ سه دقیقه بعد از پنج دقیقه توسط نانو ذره

اکسید آهن مگنتیت

تأثیر حضور غلظت بیشتری از نانو ذره در زمان بیشتر در حذف آرسنیک را میبینیم که در دقیقه آخر یعنی هشتمین دقیقه نزدیک به ۶۰ درصد رسیده است که نشان از تأثیر مثبت این اتفاق دارد.



شکل ۱-۲۲ راندمان کاهش سم آرسنیک در آب به $\%$ سه دقیقه بعد از پنج دقیقه توسط نانو ذره آهن صفر ظرفیتی

تأثیر این افزایش غلظت زمان در حذف آرسنیک در دقیقه هشتم تا نزدیک به چهل درصد میباشد.

۱-۶ بحث و نتیجه گیری

از آنجا که متوسط درصد حذف کدورت در ستون در هردو روش چیزی نزدیک به ۴۰ درصد بود، این ستون در حذف کدورت نسبت به روشهای دیگر موفق عمل نکرده است چون در روش های دیگر (بطور خاص ستونهای شنی که بعنوان مهمترین روش حذف کدورت از رواناب شناخته میشوند) تا نزدیک به ۸۵ درصد کدورت آب حذف میشود. علت این امر را میتوان به دلایلی که در ادامه ذکر خواهد شد نسبت داد؛ در ستونهای شنی مکانیسمهای اصلی در حذف کدورت شامل فیلتراسیون، ته نشینی و جذب - سطحی است، که البته فیلتراسیون و ته نشینی نسبت به گزینه سوم یعنی جذب سطحی در اولویت قرار دارند در ستون حاضر، با توجه به اینکه از الیاف آهنی و فولادی استفاده شده است، بدیهی است که بدلیل باز بودن فضای بسیار زیاد بستر (نسبت به بستر شنی)، مکانیسمهای فیلتراسیون و ته نشینی، به آن معنی که در ستونهای شنی تاثیرگذار هستند، در این ستون تاثیر چندانی نخواهند داشت. در مورد اثر میدان مغناطیسی، در مطالعات مربوط به ستونهای شنی گفته شده که پس از تصفیه مغناطیسی، پتانسیل زتا کاهش میابد و این موضوع منجر به ناپایدار شدن ذرات میشود، که این، خود عاملی برای بهم پیوستن ذرات ۱ و ایجاد ذرات درشت تر و در نتیجه ته نشینی و فیلتراسیون بسیار سریعتر میگردد و از آنجا که قابلیت ته نشینی و فیلتراسیون ذرات کلوئیدی به هم پیوسته بیشتر است، اثر میدان مغناطیسی بر بهبود حذف کلوئیدها در ستون شنی توجیه میشود. اما چون در مطالعه حاضر ته نشینی و فیلتراسیون تاثیری در حذف مواد کلوئیدی ندارند به نظر نمیرسد که از این لحاظ بتوان اثر میدان مغناطیسی را به حذف کدورت تعمیم داد.

بنابراین و بر اساس این توضیحات میتوان گفت که عمده مکانیسم دخیل در حذف کدورت در این ستون جذب سطحی است. در مورد ستون حاضر و تاثیر آن بر روی کدورت ذکر این موضوع الزامی است که چنانچه در مقیاس ناپیوسته و بدون میدان مغناطیسی از نانوذرات اکسید آهن یا نانو ذرات آهن صفر ظرفیتی برای حذف کدورت استفاده شود، نه تنها نتیجه مثبتی بدست نخواهد آمد، بلکه از آنجا که نانوذرات آهن به شدت کدورت را افزایش میدهند، برای کدورت ایجاد شده توسط این مواد بایستی چاره جدیدی اندیشیده شود، اما در این مطالعه، اثر مگنتهای مورد استفاده، سبب شد که در نتیجه کدورت ناشی از وجود این مواد کاهش یابد، و از طرف دیگر چون نانوذرات در پایلوت باقی میمانند، حداکثر استفاده از مساحت سطح آنها به عمل میآید. بالا بودن متوسط راندمان حذف فلزات سنگین بالا بوده است نشان میدهد که این روش روشی بسیار موثر در حذف فلزات سنگین می باشد که حتی در صورت شرایط کاملاً دقیق تا ۹۸ درصد حذف نیز میتوان رسید.

در ادامه نیز تاثیر این روش در حذف آرسنیک را میبینیم درست است که در ابتدای حذف کمی پایین بود و شاید کم تاثیر اما رفته رفته با گذشت زمان و حتی در افزایش غلظت تاثیر مثبت این روش را دیده ایم

اما در حذف نیترات این روش در حضور هر دو نانو ذره بسیار ضعیف و و در مورد اکسید آهن مگنتیت کاملاً بی اثر بوده است هرچند تاثیر حضور نانو ذره آهن صفر ظرفیتی بسیار نتایج قابل

قبول تری داشته و درمقایسه با روش های دیگر تاثیر مناسبی و بسیار بالا تر از نانو ذره اکسید آهن داشته است اما باز تاثیرات کمتر از حذف فلزات سنگین موجود در آب است.

در مجموع و با توجه به مطالب گفته شده به نظر میرسد که ستون نانوذرات اکسید آهن و آهن صفر ظرفیتی همراه با اعمال میدان مغناطیسی روش مناسبی در حذف فلزات سنگینی چون سرب، روی و کادمیوم و سم آرسنیک است. اگرچه این روش برای حذف کدورت کارایی متوسطی داشته و در حذف نیترات نیز تاثیر کم رو به متوسط در آن صفر ظرفیتی و بدون تاثیر در اکسید آهن مگنتیت میباشد.

فصل دوم

۱-۲ مقدمه:

در این فصل به بررسی پژوهشهای تجربی و عددی انجام شده در زمینه نانوسیالات پرداخته میشود. همچنین روابط مختلفی که برای محاسبه خواص نانوسیالات، عدد ناسلت و ضریب اصطکاک ارائه شده است مورد بررسی قرار میگیرد.

نانوسیال عبارتی است که به نوع جدیدی از سیال انتقال حرارت که شامل مقدار کمی از نانوذرات فلزی یا غیرفلزی بود، اتلاق شد. این ذرات به صورت همگن و پایدار در فاز پیوسته ای پراکنده شده بودند. تحقیق و توسعه ابتدایی فناوری نانوسیال، پتانسیل بالای نانوسیالات را برای کاربرد در انتقال حرارت نشان داد و منجر به این شد که هم صنعت و هم دانشگاه های سراسر جهان تلاش هایی را در خصوص پژوهش در این راستا انجام دهند. اندازه میانگین ذرات بکار رفته در نانوسیالات ممکن است از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر باشد. فهم کامل رفتارهای انبوهشی و رئولوژیکی نانوسیالات برای محققین نانوسیال بسیار مهم است. از این رو در این قسمت به بررسی تحقیقات گذشته در خصوص خواص ترموفیزیکی نانوسیالات می پردازیم. تعدادی از نانومواد و سیالات پایه به شرح ذیل اند.

انواع نانومواد

نانوذرات مورد استفاده در نانوسیالات از مواد مختلفی ساخته می شوند، مانند: اکسیدهای سرامیکی (CuO و Al_2O_3)، اکسیدهای نیتريدی (SiN و AlN)، سرامیک های کربیدی (SiC و TiC)، فلزات (Au ، Ag و Cu)، نیمه رساناها (SiC و TiO_2)، ترکیبات کربنی (نانولوله های کربنی، الماس و

گرافیت) و مواد کامپوزیتی مثل نانوذرات آلیاژی $\text{Al}_{70}\text{Cu}_{30}$

انواع سیالات پایه: انواع مختلفی از مایعات نیز بعنوان سیال میزبان بکار گرفته می‌شوند، مانند: آب،

اتیلن گلیکول، روغن موتور، سیالات زیستی و محلول های پلیمری

۲-۲ خواص نانو ذرات:

با توجه به تعریف نانوذرات، یکی از سوال های مهم در تولید مواد نانو این است که آرایش هندسی

و پایداری اتم ها با تغییر اندازه ذرات چه تغییری می کند؟

در تکنولوژی نانو اولین اثر کاهش اندازه ذرات، افزایش سطح است. افزایش نسبت سطح به حجم

نانوذرات باعث می شود که اتم های واقع در سطح، اثر بسیار بیشتری نسبت به اتم های درون حجم

ذرات، بر خواص فیزیکی ذرات داشته باشند. این ویژگی واکنش پذیری نانوذرات را به شدت افزایش

می دهد علاوه بر این افزایش سطح ذرات فشار سطحی را تغییر داده و منجر به تغییر فاصله بین ذرات یا

فاصله بین اتم های ذرات می شود

خواص الکترونیکی و شیمیایی :

در نانو تکنولوژی تغییر در فاصله بین اتم های ذرات و هندسه ذرات روی خواص الکترونیکی ماده هم

تاثیر گذار است وقتی اندازه ذرات کاهش می یابد پیوند های الکتریکی در فلزات ظریف تر می شوند

جالب است که پیرسیم در چه اندازه دانه ای یک ذره فلزی شبیه یک توده فلز رفتار می کند؟ آیا این

تغییر در خواص به تدریج رخ می دهد یا به طور ناگهانی ؟ پاسخ به این سوالات هم از نظر آزمایشگاهی و هم تئوری مشکل است.

کمیت الکترونیکی که راحت تر در دسترس می باشد پتانسیل یونیزاسیون است مطالعات نشان داده اند که پتانسیل یونیزاسیون در اندازه دانه های کوچک (ذرات ریزتر) بیشتر است یعنی با افزایش اندازه ذرات پتانسیل یونیزاسیون آنها کاهش می یابد افزایش نسبت سطح به حجم و تغییرات در هندسه و ساختار الکترونیکی تاثیر شدیدی روی فعل و انفعالات شیمیایی ماده می گذارد و برای مثال فعالیت ذرات کوچک با تغییر در تعداد اتم ها (و در نتیجه اندازه ذرات) تغییر می کند .

خواص سطحی

در فن آوری نانو خواص دیگری مثل نسبت سطح به حجم و انرژی پتانسیل در مقیاس نانو به طور چشمگیری افزایش می یابند که در قابلیت های محصولات تاثیر بسزایی دارد.

ویسکوزیته در مقیاس نانو

آب در مقیاس نانو آب روانی نیست که ما در مقیاس های بزرگ استفاده می کنیم. اشیاء کوچک در آب با ماده چسبنده ای مثل عسل یا آب قند احاطه شده اند. خواص سیالات در مقیاس نانو در ویسکوزیته برجسته می گردد حجم سیالی که مسیر مشخص را در زمان تعیین شده طی می کند درست مثل ویسکوزیته تغییر می کند اگر این سرعت را با v نشان دهیم اندازه حرکت (حاصل ضرب جرم در سرعت) را با p نمایش دهیم و A هم مساحت سطح باشد. μ ویسکوزیته مایع است هرچه عدد

رینولد کوچکتر باشد تاثیر ویسکوزیته بیشتر است بنابراین یک باکتری که یک میلیون بار کوچکتر از یک انسان است باکتری آب را یک میلیون بار از ما ویسکوزتر می بابد.

$$\text{اینرسی نیرو} = \frac{dt}{dt} \approx \rho a v^2$$

$$F = \mu a v \text{ نیروی ویسکوزی}$$

$$\text{عدد رینولد} \quad Re = \rho a v / \mu = \text{Force} / F$$

خواص مغناطیسی

در نانو تکنولوژی پیچیده ترین تاثیر اندازه ذرات تاثیر بر خواص مغناطیسی ماده است. یک ماده توده ای فرومغناطیس با حوزه های مغناطیسی که هر کدام حاوی هزاران اتم هستند، شناخته می شود. در یک حوزه مغناطیسی جهت چرخش الکترون ها یکسان است، اما حوزه های مغناطیسی متفاوت، جهات چرخش متفاوتی دارند. تغییر فاز مغناطیسی وقتی رخ می دهد که یک میدان مغناطیسی بزرگ، تمام حوزه های مغناطیسی را یک جهت کند. به عنوان مثال در مورد نانو ذرات ، حوزه های مغناطیسی مشخصی دیده نمی شود. بنابراین تصور می شود که در این مواد سیستم های ساده تری وجود خواهد داشت اما در حقیقت چیزی برعکس این موضوع وجود دارد. ذرات مغناطیسی کوچک و حتی جامدات غیر مغناطیسی با اندازه دانه کوچک ، نوع جدیدی از خواص مغناطیسی را نشان می دهند. این خواص متأثر از خاصیت کوانتومی اندازه ذرات است که برای فهمیدن آن، نیاز به مطالعه بسیار است. اندازه

ذرات مورد بحث ما، معمولاً کمتر از اندازه حوزه های مغناطیسی در جامدات است بنابراین یک ذره مثل یک اتم مجزا رفتار می کند که گشتاور مغناطیسی بزرگی دارد.

نمونه ای از تقسیم بندی کاربردهای فن آوری نانو

۱) کاربرد در ساخت مواد

۲) کاربردهای نانو در کشاورزی، آب، انرژی و محیط زیست

۳) کاربردهای نانوفناوری در هوافضا و امنیت ملی

۴) کاربرد نانوفناوری در صنایع بهداشتی و آرایشی

۵) کاربرد فناوری در صنعت الکترونیک

۶) کاربرد نانوفناوری در صنعت خودرو

مهمترین فایده های نانو تکنولوژی عبارتند از :

- ۱- کاهش مصرف انرژی
- ۲- تولید انرژی تجدید پذیر یا کاراکتر (با بهره وری بیشتر)
- ۳- کاهش مصرف منابع در فاز تولید یا مصرف
- ۴- کاربرد در برنامه های پاکسازی زیست محیطی
- ۵- کاهش اثرات زیست محیطی صنعت خودرو سازی
- ۶- بهبود دادن فرآیند بازیافت

فرصت های زیست محیطی مرتبط با نانو تکنولوژی

- ۱- تولید مواد و محصولاتی گوناگون بدون تولید محصولات جانبی و خطرناک
- ۲- محصولات نانو تکنولوژی از عناصر ساده و فراوان مانند کربن ساخته شده اند.
- ۳- مواد کمتری نیاز است زیرا مواد نانو قوی تر و نازک تر هستند.
- ۴- حفاظت از منابع از طریق تولید محصولات مینیاتوری
- ۵- صرفه جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از اتلاف، از طریق کاهش حجم و وزن محصولات

۲-۳ کاربرد های نانوذرات:

همانطور که در مطالب پیشین مربوط به (نانو تکنولوژی) بیان شد یکی از خواص مهم نانوذرات نسبت سطح به حجم بالای این مواد است. با استفاده از این خاصیت می توان کاتالیزورهای قدرتمندی را در ابعاد نانومتری تولید نمود. این نانوکاتالیزورها راندمان واکنش های شیمیایی را به شدت افزایش داده و همچنین به میزان چشمگیری از تولید مواد زاید در واکنش ها جلوگیری خواهند نمود. به کارگیری نانوذرات در تولید مواد دیگر می تواند استحکام آنها را افزایش دهد و یا وزن آنها را کم کند و مقاومت شیمیایی و حرارتی آنها را بالا ببرد و واکنش آنها را در برابر نور و تشعشعات دیگر تغییر دهد.

تعریفی از مبدل حرارتی

مبدل های حرارتی وسایلی هستند که جریانی از انرژی حرارتی را بین دو یا چند سیال در دماهای مختلف برقرار می کنند و وظیفه تبادل حرارت را به عهده دارند. این تجهیزات در صنایع تولید برق، صنایع فرایندی، صنایع شیمیایی و غذایی، تجهیزات الکترونیکی، صنایع تولیدی، تهویه مطبوع، سرمایش و کاربردهای فضایی استفاده می شوند. در صنعت حمل و نقل، خنک کاری یک موضوع حیاتی است، زیرا که روند پیش رو در افزایش قدرت موتور ها و یا خودروهای هیبرید، ناگزیر از بکارگیری رادیاتورهای بزرگتر و در نتیجه سطح پیشانی بیشتر است که باعث افزایش نیروی پسا و مصرف سوخت بالاتر میگردد.

توجه به صرفه جویی در مصرف مواد، فضا، انرژی و اقتصاد جهانی، منجر به گسترش تلاش‌هایی برای تولید تجهیزات مبدل‌های حرارتی پربازده تر در جهت کاهش هزینه‌ها شده است. نتیجه این تلاش‌ها کاهش ابعاد فیزیکی این تجهیزات برای یک ظرفیت حرارتی مشخص می‌باشد. بنابراین اصلی ترین اهداف هیدرولیکی حرارتی، کاهش ابعاد یک مبدل حرارتی مورد نیاز برای یک ظرفیت حرارتی مشخص، افزایش ظرفیت و عملکرد یک مبدل حرارتی موجود با اختلاف دمای کوچکتر یا کاهش قدرت پمپ می‌باشد.

مبانی افزایش انتقال حرارت

در مبدل‌های حرارتی بسته به کاربرد، صفحات انتقال حرارت ساده یا افزایشی استفاده می‌شود. سطوح افزایش یافته حرارتی هندسه خاصی دارند که حاصلضرب hA بیشتری نسبت به سطوح ساده فراهم می‌کند. در صنعت خودرو و تبرید، معمولاً سطوح افزایشی در مبدل‌های حرارتی استفاده می‌شود. همچنین در صنایع فرآیندی و در تجهیزات پزشکی نیز سعی در استفاده از سطوح انتقال حرارت افزایشی در مبدل‌های حرارتی می‌باشد.

حرارت انتقال یافته بین یک دیواره و سیال توسط رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad .1$$

یا

$$Q = hA(T_w - T_f) \quad .2$$

که در این رابطه دمای دیواره و دمای بالک سیال است.

نسبت مقدار hA برای یک صفحه افزایشی به مقدار این عبارت برای یک صفحه ساده، توسط نسبت

افزایش بصورت زیر تعیین می شود:

$$3. \quad E = hA / (hA)_p$$

چندین روش جهت افزایش hA وجود دارد:

- افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی بدون افزایش محسوس در مساحت صفحه
 - افزایش مساحت صفحه بدون تغییر محسوس در ضریب انتقال حرارت جابجایی
 - افزایش توام ضریب انتقال حرارت جابجایی و مساحت صفحه
- روش های عملی مختلفی برای افزایش حاصلضرب hA و به دنبال آن انتقال حرارت وجود دارد که در ادامه به توضیح مختصر آن ها می پردازیم.

. روش های افزایش انتقال حرارت

مطابق دسته بندی کاکاش و همکاران^۱ [۱] و همچنین وب^۲ [۲] روش های مختلفی برای افزایش

انتقال حرارت وجود دارد که در سه گروه طبقه بندی می شوند:

الف) روش های فعال^۳ ب) روش های غیرفعال^۴ ج) روش های ترکیبی

^۱ Kakac et al

^۲ Webb

^۳ Active technique

^۴ Passive technique

در روش‌های فعال اعمال یک نیروی خارجی بر صفحه الزامی است (لرزش صفحه، میدان صوتی یا الکتریکی)، در حالی که در روش‌های غیرفعال از هندسه‌های خاص صفحه یا مواد افزودنی برای افزایش انتقال حرارت استفاده می‌شود.

روش های فعال

در این روش برای افزایش انتقال حرارت نیاز به یک نیروی خارجی است. انواع روش‌های فعال شامل روش‌های زیر می‌باشد:

تجهیزات کمکی مکانیکی: شامل به حرکت درآوردن مایع بوسیله تجهیزات مکانیکی یا بوسیله چرخش سطح در مبدل‌های با لوله‌های چرخان می‌باشد.

ارتعاش سطح در فرکانس‌های بالا و پایین: به طور عمده برای افزایش انتقال حرارت جریان تک‌فاز به کار می‌رود.

روش های غیرفعال

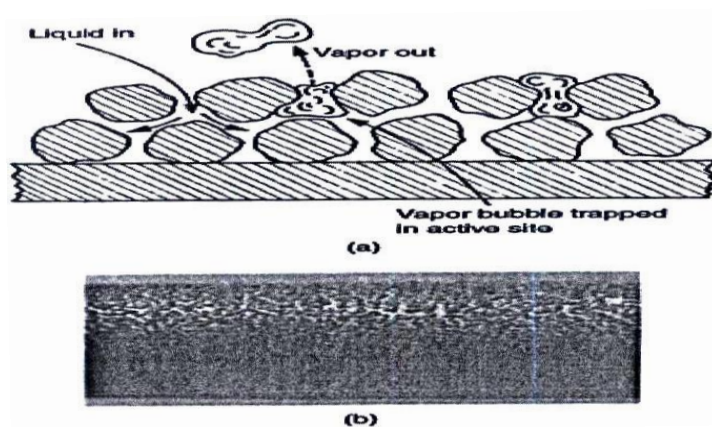
این روش‌ها از طریق ایجاد اغتشاش در جریان و یا تغییر رژیم جریان بدون نیاز به نیروی خارجی، موجب افزایش انتقال حرارت می‌شوند که همواره با افت فشار همراه است. روش‌های غیرفعال شامل موارد زیر می‌باشند:

سطوح روکش شده یا اندود شده^۱: این سطوح دارای پوشش‌های فلزی مانند ذرات فلزی چسبیده به سطح یا پوشش‌های غیرفلزی مانند تفلون هستند. در شکل ۱-۲ نمونه‌های سطوح روکش شده یا

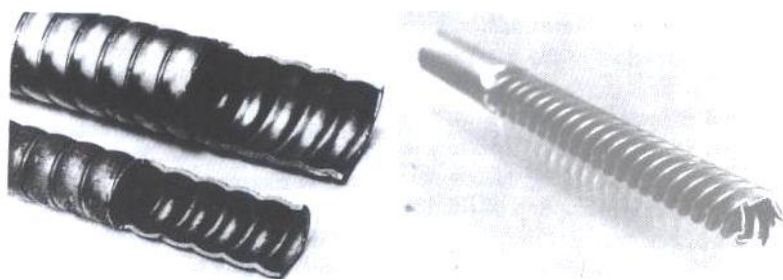
^۱ Treated Surface

اندودشده دیده می‌شود. ایجاد روکش ناصاف فلزی روی سطح و یا ایجاد حفره‌های مکانیکی باعث ایجاد مواضع تشکیل بخار روی سطح می‌شوند که بخار را داخل خود محبوس کرده به حباب تبدیل می‌کنند. افزایش مواضع تشکیل بخار روی سطح موجب افزایش جوشش هسته‌ای تا ۱۰ برابر حالت سطح صاف می‌گردد. ایجاد این روکش ناصاف فلزی از طریق تفت‌جوشی، لحیم‌کاری، پاشش شعله و ته نشین شدن الکترولیتی صورت می‌گیرد. در حالت چگالش این روش با استفاده از تفلون موجب شکسته شدن چگالش فیلمی به چگالش قطره‌ای می‌گردد که موجب افزایش تماس بخار با سطح سرد می‌شود و انتقال حرارت چگالشی را زیاد می‌کند.

سطوح زبر: ساختار این زبری‌ها عموماً برای آشفتن زیرلایه لزج انتخاب می‌شود و هدف از استفاده از سطوح زبر افزایش سطح انتقال حرارت نمی‌باشد (شکل ۲-۲). کاربرد صفحات زبر عمدتاً منحصر به جریان‌های تک فاز می‌شود.



شکل ۲-۱ - سطوح روکش شده یا اندودشده



شکل ۲-۲-- سطوح زیر

۴-۲ مروری بر کارهای انجام شده

افزایش انتقال حرارت و نیز سیالات انتقال دهنده حرارت موضوع بسیاری از تحقیقات در دهه های اخیر بوده است. سیالات انتقال حرارت شرایط را برای تبادل انرژی در یک سیستم مهیا می کنند و اثرات آنها بستگی به ویژگی های فیزیکی از قبیل هدایت حرارتی، لزجت، چگالی و ظرفیت گرمایی دارد. هدایت حرارتی پایین، اغلب مهمترین محدودیت سیالات انتقال حرارت میباشد.

بعلاوه بهبود عملکرد انتقال حرارت بخصوص در مبدل های صفحه ای یا لوله ای می تواند بوسیله تغییر شکل دیوار کانال مورد استفاده تحقق یابد. در مقایسه با لوله های افزایش دهنده دیگر (مانند لوله مارپیچ^۱ یا لوله راه راه متقاطع^۲) لوله دیواره موج سینوسی متقارن محوری^۳ مقاومت جریان کمتری دارد [۳]. از این رو تحقیقاتی نیز در این زمینه انجام گرفته است.

نانوسیال

با پیشرفت علم، تولید نانوذرات از مواد گوناگون میسر شده است. یکی از خصایص مواد در ابعاد نانو، نسبت سطح به حجم بالای آنهاست که توانایی های خاصی به آنها بخشیده است. نانوسیالات به عنوان دسته مهیج جدیدی از فناوری نانو پدیدار شده اند که بر پایه سیالات انتقال حرارت می باشند و در چند سال گذشته به طور فوق العاده ای رشد کرده اند. دانشمندان و مهندسان سعی بر این دارند تا

^۱ Spiral tube

^۲ Traverse corrugated tube

^۳ Axisymmetric sinusoidal wavy-walled tube

قوانین حاکم بر خواص ترموفیزیکی این سیالات را کشف کنند، لذا سازوکارهای جدید پیشنهاد کرده و مدل‌های غیر معمولی را برای توضیح این رفتارها ارائه می‌دهند.

نانوسیال عبارتی است که توسط چوی به نوع جدیدی از سیال انتقال حرارت که شامل مقدار کمی از نانوذرات فلزی یا غیرفلزی بود، اتلاق شد. این ذرات به صورت همگن و پایدار در فاز پیوسته-ای پراکنده شده بودند. تحقیق و توسعه ابتدایی فناوری نانو سیال، پتانسیل بالای نانو سیالات را برای کاربرد در انتقال حرارت نشان داد و منجر به این شد که هم صنعت و هم دانشگاه‌های سراسر جهان تلاش‌هایی را در خصوص پژوهش در این راستا انجام دهند. اندازه میانگین ذرات بکار رفته در نانو سیالات ممکن است از ۱ تا ۱۰۰ نانومتر متغیر باشد. فهم کامل رفتارهای انبوهشی و رئولوژیکی^۱ نانو سیالات برای محققین نانو سیال بسیار مهم است. از این رو در این قسمت به بررسی تحقیقات گذشته در خصوص خواص ترموفیزیکی نانو سیالات می‌پردازیم. تعدادی از نانو مواد و سیالات پایه به شرح ذیل اند:

انواع نانو مواد: نانوذرات مورد استفاده در نانو سیالات از مواد مختلفی ساخته می‌شوند، مانند: اکسیدهای سرامیکی (CuO و Al_2O_3)، اکسیدهای نیتریدی (SiN و AlN)، سرامیک‌های کاربیدی (TiC و SiC)، فلزات (Au ، Ag و Cu)، نیمه رساناها (SiC و TiO_2)، ترکیبات کربنی (نانولوله‌های کربنی، الماس و گرافیت) و مواد کامپوزیتی مثل نانوذرات آلیاژی $\text{Al}_{70}\text{Cu}_{30}$.

انواع سیالات پایه: انواع مختلفی از مایعات نیز بعنوان سیال میزبان بکار گرفته می‌شوند، مانند: آب، اتیلن گلیکول، روغن موتور، سیالات زیستی^۲ و محلول‌های پلیمری.

^۱ Rheological
^۲ Bio Fluids

۵-۲ خواص ترموفیزیکی نانوسیالات

هدایت حرارتی نانوسیالات توجه اصلی در نانوسیال را به خود اختصاص داده است. هرچند برای سیالات ساکن این مهمترین موضوع است ولی با در نظر گرفتن سیالات انتقال حرارت، ضریب انتقال حرارت نانوسیال در جریان مهمترین موضوع می باشد. دیگر خواص مهم غیر از هدایت حرارتی که بر ضریب انتقال حرارت اثر می گذارد، عبارتند از: چگالی، گرمای ویژه و لزجت نانوسیال. با فرض پراکندگی یکنواخت نانوذرات داخل سیال پایه، خواص حرارتی و فیزیکی نانوسیال به صورت زیر هستند.

چگالی

چگالی نانوسیالات را معمولاً از رابطه ی پک و چو^۱ [۵] محاسبه می کنند.

$$\rho_{nf} = (1 - \varphi)\rho_{bf} + \varphi\rho_p \quad ۱$$

تمامی محققین روی استفاده از قانون مخلوط ها برای محاسبه چگالی نانوسیال اجماع نظر دارند.

خانافر و وفایی^۲ براساس اطلاعات آزمایشگاهی هو و همکاران^۳، رابطه ای برای محاسبه ی چگالی نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم به صورت زیر ارائه کردند.

-Error! No text of specified style in document.

که غلظت و دما در محدوده $0 \leq \varphi \leq 4\%$ و $5 \leq T(^{\circ}C) \leq 40$ است.

^۱ Pak and Cho

^۲ Khanafer and vafai

^۳ Ho et al

ویسکوزیته^۱ دینامیکی

گرانروی اندازه‌ی مقاومت یک سیال در برابر تغییر شکل ناشی از تنش‌های طولی یا تنش‌های برشی می‌باشد. به علت ساختار سوسپانسیونی نانوسیالات گرانروی اهمیت ویژه‌ای در طراحی سیستم‌های نانوسیالی بازی می‌کند به طوری که اثرات مستقیم آن بر افت فشار در جریان‌های جابجایی بسیار مشهود است. بنابراین برای استفاده از نانوسیالات در کاربردهای عملی، مقدار افزایش گرانروی نانوسیالات نسبت به سیال پایه آن باید به طور کامل مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

واجها و همکاران^۲ رابطه‌ی ۳- را برای محاسبه‌ی ویسکوزیته‌ی دینامیکی نانوسیال ارائه کردند. مقادیر A_1 و A_2 در جدول ۱ آورده شده است. مشاهده می‌شود که در این رابطه μ_{bf} اثر دما روی ویسکوزیته را شامل می‌شود، بنابراین هیچ عبارت اضافی شامل دما نیاز نیست. این رابطه در محدوده‌ی دمایی $273K < T < 363K$ معتبر است.

$$\mu_{nf} = \mu_{bf} A_1 e^{(A_2 \varphi)} \quad 3-$$

جدول ۱- ضرائب معادله ۶

غلظت (%)	متوسط اندازه ذره (nm)	A_2	A_1	نانوذره
$0 \leq \varphi \leq 10$	۴۵	۱۲/۹۵۹	۰/۹۸۳	اکسید آلومینیوم (Al_2O_3)
$0 \leq \varphi \leq 6$	۲۹	۲۲/۸۵۳۹	۰/۹۱۹۷	اکسید مس (CuO)

^۱ Viscosity

^۲ Vajjha et al

افزایش انتقال حرارت توسط نانوسیالات

نانوسیالات به دلیل هدایت حرارتی بالایی که دارند سیالات انتقال حرارت نوید بخشی جهت کاربرد به جای سیالات گرمایی هستند. نانوسیالات هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت تک فاز بالاتری نسبت به سیال پایه دارند. چون افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی فراتر از اثر هدایت حرارتی محض است با روابط متداول سیال خالص قابل پیش بینی نیست. برای رسیدن به این هدف مهم، محققین بسیاری در مورد عملکرد انتقال حرارت جابجایی نانوسیالات بحث کرده و آن را مورد بررسی و ارزیابی قرار داده اند. در تمامی مطالعات انجام شده، به این نتیجه رسیده اند که عدد ناسلت جریان جابجایی به دست آمده به صورت تابعی از عوامل گوناگون می باشد که به صورت زیر می توان نوشت.

(شکل، ابعاد و کسر حجمی نانوذرات، الگوی جریان)

$$Nu = f(Re, Pr, \frac{k_p}{k_{bf}}, \frac{(\rho C_p)_p}{(\rho C_p)_{bf}}), \quad \text{۴-}$$

انتقال حرارت جابجایی اجباری

• بررسی عددی

لطفی و همکاران در سال ۲۰۱۰ به صورت عددی به بررسی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانوسیال با دو مدل تک فازی^۱ و دو فازی^۲ در جریان آرام و مغشوش پرداختند. نانوسیال آب/اکسید آلومینیوم را داخل یک لوله ی افقی عبور دادند. نتایج را با روابط موجود مقایسه و اعتبار

^۱ Single-phase model

^۲ Two-phase model

سنجی کردند. نتایج هر دو مدل را نیز مقایسه کردند. با مقایسه نتایج آزمایشگاهی و مدل‌ها مشخص شد که مدل مخلوط دقیق‌تر است. هر دو مدل عدد ناسلت را کم تخمین می‌زنند. نتایج آن‌ها نشان داد نرخ بهبود حرارت با افزایش غلظت حجمی^۱ نانوذرات کاهش می‌یابد.

^۱ Volume concentration

حال به بررسی پژوهش‌های تجربی و عددی انجام شده در زمینه نانوسیالات و کانال/لوله‌های سینوسی پرداخته شد. همچنین روابط مختلفی که برای محاسبه خواص نانوسیالات، عدد ناسلت و ضریب اصطکاک ارائه شده است مورد بررسی قرار گرفت. در این فصل با تشریح کامل مسئله، به بررسی روش حل آن پرداخته می‌شود. سپس با ارائه معادلات حاکم، روابط مناسبی نیز برای محاسبه خواص نانوسیال انتخاب می‌شود. پس از حل عددی مساله، به اعتبارسنجی نتایج، بررسی حساسیت به شبکه و نحوه همگرایی حل عددی پرداخته می‌شود

در طی سال‌های اخیر به کمک کامپیوترهای سریع، مهندسين قادر به انجام محاسبات عددی قابل توجهی برای پیش‌بینی پدیده‌های مهندسی و بهبود فرآیند طراحی شده‌اند. استفاده از روش‌های عددی، یکی توانایی به پیش‌نمایش راه حل یک مشکل است که هنوز به مرحله آزمایش نرسیده است و دیگری برای بهبود نتایج تجربی موجود است. دینامیک سیالات محاسباتی^{۱۹} (CFD) روشی استاندارد برای طراحی و تجزیه و تحلیل مسائل مرتبط مهندسی شامل پدیده‌های چندفیزیکی شده است. تعداد زیادی از مطالعات برای حل مکانیک سیالات و مسائل انتقال حرارت مایعات معمولی که از قوانین پایه منتشر شده در متون پیروی می‌کنند، انجام شده‌اند و اغلب آن‌ها با نتایج تجربی همان مساله سازگار هستند. به هر حال با معرفی نانوسیال در حوزه مکانیک سیالات و انتقال حرارت، راه جدیدی همراه با منافع و چالش‌های آن ایجاد گردیده است. روش‌هایی بسیار همانند مورد استفاده در روش‌های مرسوم محاسباتی می‌تواند برای بکارگیری در صنایع مهندسی در ارتباط با نانوسیال اقتباس شود.

^{۱۹} Computational Fluid Dynamics

تشریح مسئله

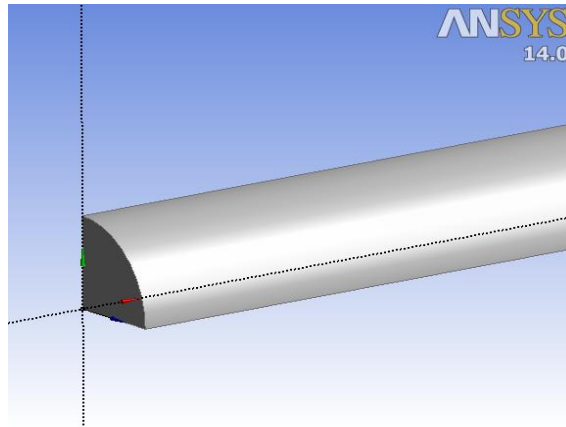
همانطور که در فصل اول نیز گفته موضوع پژوهش حاضر بررسی عددی جریان نانوسیال داخل لوله سینوسی می‌باشد. بدین منظور از نرم افزار FIUENT استفاده شده است. در این بخش ابتدا به توضیح هندسه‌های مورد نظر پرداخته می‌شود. سپس معادلات حاکم، خواص نانوذرات، سیال پایه، روابط مورد استفاده و روش حل آورده شده است. همچنین شبکه بندی هندسه، ارزیابی و بررسی حساسیت به شبکه بندی ارائه می‌گردد. در پایان اعتبار سنجی نتایج با داده‌های موجود انجام می‌شود.

هندسه مسئله

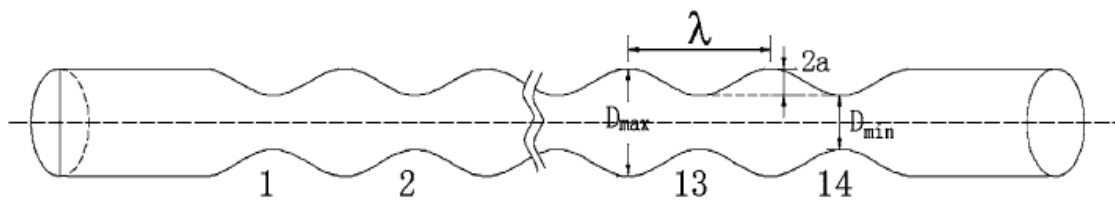
لوله صاف و لوله سینوسی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل نمایی از یک چهارم لوله صاف نشان داده شده است. برای تولید هندسه لوله سینوسی از پروفیل سطح آن که مطابق رابطه ۵ است استفاده می‌شود.

$$y = a \sin\left(\frac{2\pi}{\lambda} x - \frac{3\pi}{2}\right) + \frac{D_{\max} + D_{\min}}{4} \quad 5$$

که λ فاصله پروفیل سطح سینوسی از مرکز لوله است. در جدول ۲- ابعاد دو حالت لوله سینوسی که در شکل پارامترهای آن مشخص شده، آورده شده است.



شکل ۲-۳ نمایی از لوله صاف



شکل ۲-۴ پارامترهای هندسه لوله سینوسی

جدول ۲- ابعاد لوله های سینوسی مورد استفاده در پژوهش حاضر [۳]

ردیف	D_{\max} (mm)	D_{\min} (mm)	$2a$ (mm)	λ (mm)	F_w	طول لوله
حالت اول	۱۰	۳	۳/۵	۱۴	۰/۸۳	۱۴λ
حالت دوم	۱۰	۷	۱/۵	۱۴	۰/۱۵	۱۴λ

۶-۲ معادلات حاکم

در پژوهش حاضر از مدل تک‌فازی برای حل جریان نانوسیال استفاده می‌شود. بنابراین معادلات حاکم همانند جریان سیالات متداول است. برای جریان پایا که خواص فیزیکی سیال تابع دما است، معادله بقا جرم، بقا مومنتم و انرژی به صورت زیر خواهد بود.

معادله بقای جرم :

$$\text{div}(\rho \vec{V}) = 0 \quad 6-$$

معادله بقای مومنتم :

$$\text{div}(\rho \vec{V} \vec{V}) = -\text{grad}P + \nabla \cdot (\mu \nabla \vec{V}) \quad 7$$

معادله بقای انرژی :

$$\text{div}(\rho \vec{V} C_p T) = \text{div}(k \text{grad}T) \quad 8$$

که \vec{V} ، P و T به ترتیب بردار سرعت، فشار و دما هستند.

۲-۷ معرفی مبدل حرارتی

مبدل حرارتی وسیله ای است که برای انتقال حرارت موثر بین دو یا چند سیال ساخته شده است که در آن دو سیال توسط یک دیواره از هم جدا شده اند ، بنابراین دو سیال هیچ وقت در همدیگر مخلوط نمی گردند.

بیشترین استفاده مبدل های حرارتی در : حرارت دادن های فضایی ، یخچال ها ، تهویه مطبوع، تجهیزات قدرت ، واحد های شیمی ، پتروشیمی، پالایشگاه ها و نصفیه گازهای طبیعی می باشد.

یک مثال ملموس از مبدل حرارتی، تشعشع حرارت در اتومبیل ها می باشد که در آن حرارت توسط سیال خنکی از منبع حرارت که موتور ماشین می باشد گرفته می شود.

دسته بندی مبدل های حرارتی

مبدل های حرارتی را می توان از جنبه های مختلف دسته بندی کرد :

- بر اساس نوع و سطح تماس سیال سرد و گرم
- بر اساس جهت جریان سیال سرد و گرم
- بر اساس مکانیزم انتقال حرارت بین دو سیال سرد و گرم
- بر اساس ساختمان مکانیکی و ساختار مبدلها

بر اساس نوع و سطح تماس سیال سرد و گرم

مبدل های حرارتی نوع **Recuperative**

در این مبدل سیال سرد و گرم توسط یک سطح جامد ثابت از یکدیگر جدا شده اند و انتقال از طریق سطح مذکور صورت می گیرد. اکثر مبدل های موجود در صنعت از این دسته هستند.

مبدل های حرارتی نوع **Regenerative**

در این مبدل ، سطح جدا کننده سیال سرد و گرم ثابت نبوده و به طور متناوب قسمت هایی از سطح مذکور در معرض حرکت سیال سرد یا گرم قرار می گیرند. این نوع مبدل ها بیشتر در مقیاس های آزمایشگاهی و تحقیقاتی مورد استفاده قرار می گیرند.

مبدل های حرارتی نوع تماس مستقیم

در این نوع مبدل های حرارتی ، سیال سرد و گرم به طور مستقیم تماس حاصل نموده (هیچ دیواره ای بین جریانه های سرد و گرم وجود ندارد) و تبادل انرژی یا حرارت انجام می گیرد. در مبدل های تماس مستقیم ، جریانه ها ، دو مایع غیر قابل اختلاط و یا یک گاز و یک مایع هستند. این مبدل ها معمولاً از راندمان حرارتی

بالایی برخوردارند. نمونه ای از این مبدل ها ، برج های خنک کن ، کولرهای آبی و گرم کن های Open Feed Water Heater موجود در نیروگاه های بخار می باشند .

بر اساس جهت جریان سیال سرد و گرم

بر این اساس مبدل های حرارتی به سه دسته اصلی تقسیم می شوند :

مبدل های حرارتی از نوع جریان همسو

مبدل های حرارتی از نوع جریان غیر همسو

مبدل های حرارتی از نوع جریان عمود بر هم

مبدل های حرارتی از نوع جریان همسو

در این نوع مبدل ها جریان سرد و گرم موازی یکدیگر و جهت جریان سیال گرم و سرد آن ها موافق یکدیگر می باشند. یعنی دو جریان سیال ، از یک انتها به مبدل وارد می شوند و هر دو در یک جهت جریان می یابند و از انتهای دیگر خارج می شوند. نکته ای که باید به آن توجه داشت این است که دمای سیال سرد خروجی از مبدل هیچگاه به دمای سیال گرم خروجی نمی رسد. نزدیک شدن مقداری عددی دو دمای مذکور مستلزم بکارگیری سطح انتقال حرارت موثر بسیار بزرگی می باشد.

مبدل های حرارتی از نوع جریان غیر همسو

در شرایطی که جریان سیال سرد و گرم موازی یکدیگر و در خلاف جهت هم باشد مبدل را جریان غیر همسو می نامند. باید توجه داشت در این نوع مبدل ها امکان افزایش دمای سیال سرد خروجی نسبت به سیال گرم خروجی وجود دارد. این مبدلها در شرایط یکسان از سطح انتقال حرارت کمتری نسبت به مبدل های همسو برخوردار هستند.

مبدل های حرارتی از نوع جریان عمود بر هم

در این نوع مبدل ها جهت جریان های سرد و گرم عمود بر هم می باشند. به عنوان متداول ترین نمونه می توان از رادیاتور اتومبیل نام برد. در آرایش جریان عمود بر هم ، بسته به طراحی ، جریان مخلوط یا غیر مخلوط نامیده می شود. سیال داخل لوله ها چون اجازه حرکت در راستای عرضی را نخواهد داشت غیر مخلوط است. سیال بیرونی برای لوله های بی پره مخلوط است چون امکان جریان عرضی سیال و یا مخلوط شدن آن وجود دارد و برای لوله های پره دار غیر مخلوط است زیرا وجود پره ها مانع از جریان آن در جهتی عمود بر جهت اصلی جریان می شود.

بر اساس مکانیزم انتقال حرارت بین سیال سرد و گرم

مبدل های حرارتی بر طبق مکانیزم انتقال گرما ، می توانند به صورت زیر دسته بندی شوند :

۱- جابجایی یک فاز در هر دو سمت

۲- جابجایی یک فاز در یک سمت ، جابجایی دو فاز در سمت دیگر

۳- جابجایی دو فاز در هر دو سمت

در مبدل های حرارتی از قبیل اکونومایزرها (مبدل هایی که در آن سیال از شرایط مایع مادون اشباع بسمت شرایط مایع اشباع می رود) و گرمکن های هوا در دیگ بخار ، خنک کن های میانی در کمپرسورهای چند مرحله ای ، رادیاتور خودروها ، ژنراتورها ، خنک کن های روغن ، گرم کن های مورد استفاده در گرمایش اطاقها و غیره ، در هر دو سمت سیال سرد و گرم ، انتقال گرما از طریق جابجایی یک فاز اتفاق می افتد. چگالنده ها ، دیگ های بخار و مولدهای بخار در راکتورهای آب تحت فشار در نیروگاه های هسته ای ، تبخیرکننده ها و رادیاتورهای مورد استفاده در تهویه مطبوع و گرمایش ، دارای مکانیزم های چگالش و جوشش در یکی از سطوح مبدل های حرارتی می باشند. همچنین انتقال گرمای دو فاز می تواند در هر دو سمت مبدل ، مانند شرایطی که چگالش در یک سمت و جوشش در سمت دیگر سطح انتقال گرما است ، اتفاق بیفتد. هر چند ، بدون تغییر فاز نیز می توان شکلی از انتقال گرمای جریان دوفاز داشت ، همانطور که بسترهای سیال ، مخلوط گاز و ذرات جامد ، به سطح گرمایی ، یا از آن سطح ، گرما منتقل می کنند.

بر اساس ساختمان مکانیکی و ساختار مبدل ها

مبدل های حرارتی از نوع تماس غیر مستقیم (مبدل های با انتقال گرما از طریق دیواره) اغلب بر حسب مشخصات ساختاریشان توصیف می شوند. انواع عمده دسته بندی بر اساس ساختمان مکانیکی و ساختار آن ها ، شامل لوله ای ، صفحه ای و سطح پره دار است.

مبدل های لوله ای

این مبدل ها از لوله هایی با مقطع دایره ای ساخته شده اند. یک سیال در داخل لوله ها و سیال دیگر در خارج از لوله جریان دارد. قطر ، تعداد ، طول ، گام و آرایش لوله ها می تواند تغییر کند. بنابراین انعطاف پذیری قابل ملاحظه ای در طراحی آنها وجود دارد.

مبدل های حرارتی لوله ای می توانند به صورت زیر دسته بندی شوند :

دو لوله ای (Double pipe)

پوسته و لوله (shell and tube)

لوله ای حلزونی (spiral tube)

مبدل های حرارتی دو لوله ای

مبدل های دو لوله ای معمولی شامل یک لوله است که با اتصالات مناسب بصورت هم مرکز در داخل لوله ای دیگر با قطر بزرگتر قرار می گیرد تا جریان را از مقطعی به مقطع دیگر هدایت کند. مبدل های حرارتی دو لوله ای می توانند با آرایش گوناگون سری و موازی مرتب شوند تا افت فشار و متوسط اختلاف دمای مورد نظر را برآورده سازند. استفاده عمده مبدل های دو لوله ای ، برای گرمایش و سرمایش محسوس سیال های فرآیندی است که در آنها سطوح انتقال گرمای کوچکی (تا 50 m^2) مورد نیاز می باشد. این شکل بندی ، همچنین در حالتی که یک یا هر دو سیال سرد و گرم ، در فشار زیاد باشند ، مناسب است. عیب اصلی این مبدلها آن است که میزان انتقال گرما در واحد سطح گرمایی آنها کم بوده . به عبارت دیگر برای ظرفیت گرمایی مشخص ، بزرگ و گران قیمت هستند. اگر ضریب انتقال گرما برای سیال عبوری در فضای بین لوله داخلی و خارجی کوچک باشد ، لوله (یا لوله های) داخلی دارای پره های طولی می توانند استفاده شوند.

مبدل های حرارتی پوسته و لوله

مبدل های پوسته و لوله ، از لوله های با مقطع دایره ای که در پوسته های استوانه ای بزرگ نصب شده اند ، ساخته می شوند به طوری که محور لوله ها موازی با محور پوسته است. این مبدل ها به صورت وسیعی به عنوان خنک کن های روغن ، چگالنده ها و پیش گرمکن ها در نیروگاه ها ، و به عنوان مولدهای بخار در نیروگاه های هسته ای و در کاربرد های صنایع فرآیندی و شیمیایی استفاده می شوند.

در مبدل های دارای بافل (تیغه ها و صفحات هدایت کننده جریان) ، جریان سمت پوسته به صورت متقاطع با لوله ها در بین دو بافل مجاور جهت داده می شود و در حالیکه از فاصله مابین دو بافل به فاصله

بعدی منتقل می شود ، موازی با لوله ها ، جهت می یابد. بسته به کاربرد مبدل های حرارتی پوسته و لوله ، تفاوت زیادی در شکل و ساختمان آنها وجود دارد.

اهداف اصلی طراحی در این مبدل ها ، در نظر گرفتن انبساط حرارتی پوسته و لوله ها ، تمیز کردن آسان مجموعه ، و در صورت با اهمیت نبودن سایر جنبه ها ، کم هزینه ترین روش ساخت و تولید آنهاست.

در مبدل های حرارتی پوسته و لوله با صفحه لوله های ثابت (Fixed tube sheet) ، پوسته به صفحه لوله جوش داده شده است و هیچ گونه دسترسی به خارج از دسته لوله ، برای تمیز کاری وجود ندارد. این انتخاب کم هزینه و دارای انبساط گرمایی محدود است که می تواند اندکی توسط فانوسی های انبساط ، افزایش یابد. در این نوع از مبدلها ، تمیز کردن لوله ها ، ساده است.

مبدل های حرارتی پوسته و لوله با دسته لوله U شکل دارای کم هزینه ترین ساختار است ، زیرا در آن فقط به یک صفحه لوله نیاز است. سطح داخلی لوله ها به دلیل خم U شکل تند ، نمیتواند با وسایل مکانیکی تمیز شود. در این مبدل ها تعداد زوجی از گذرهای لوله به کار می رود ولی محدودیتی از نظر انبساط گرمایی وجود ندارد.

آرایش های مختلف جریان در سمت پوسته و لوله ، بسته به ظرفیت گرمایی ، افت فشار ، سطح فشار ، تشکیل رسوب ، شیوه های ساخت و هزینه بری ، کنترل خوردگی و مسائل تمیز کاری ، استفاده می شوند. بافل ها برای افزایش ضریب انتقال حرارت در سمت پوسته و برای نگه داشتن لوله ها استفاده می گردند. مبدل های پوسته و لوله ، بر حسب نیاز ، برای هر ظرفیت و شرایط کارکرد ، طراحی می شوند. این مشخصه مبدل های پوسته و لوله ، متفاوت با بسیاری از انواع دیگر مبدل ها می باشد.

مبدل های حرارتی لوله ای حلزونی

این مبدل ها شامل کویل هایی هستند که به صورت حلزونی پیچانده شده و در یک پوسته قرار گرفته اند و یا به صورت چگالنده های هم مرکز و تبخیر کننده های هم مرکز هستند که در سیستم های تبرید استفاده می شوند. ضریب انتقال گرما ، در لوله حلزونی در مقایسه با لوله مستقیم ، بیشتر است. این مبدل ها، برای انبساط گرمایی و سیال های تمیز مناسب هستند ، زیرا تمیز کردن آنها تقریباً غیر ممکن است.

مبدل های حرارتی صفحه ای

مبدل های حرارتی صفحه ای ، از صفحات نازک که کانال های جریان را تشکیل می دهد ، ساخته می شوند. جریان های سیال ، توسط صفحات مسطح که یا به صورت صاف و یا موجدار هستند ، از هم جدا می شوند. این مبدل ها برای انتقال گرما بین گاز ، مایع یا جریان های دو فاز ، استفاده می شوند. این مبدل ها می توانند به صورت زیر دسته بندی شوند :

صفحه ای واشردار (Gasketed-plat)

صفحه ای حلزونی (Spiral plat)

لاملا (Lamella)

مبدل های حرارتی صفحه ای واشردار

مبدل های صفحه ای واشردار شامل تعدادی از صفحات نازک با سطح چین دار یا موج دار است که سیال های گرم و سرد را از یکدیگر جدا می کند. صفحات دارای قطعاتی در گوشه ها هستند که به نحوی آرایش داده شده اند که دو ماده ای که باید گرما بین آنها مبادله شود ، یکی در میان فضای صفحات ، جریان یابند.

طراحی و واشر بندی مناسب ، امکان آن را ایجاد می کند که مجموعه ای از صفحات ، توسط پیچ ها که از صفحات ابتدا و انتها نیز می گذرند ، در کنار یکدیگر نگه داشته شوند. واشرها از نشتی به بیرون جلوگیری می کنند و سیال ها را در صفحات ، به شکل مورد نظر ، هدایت می نمایند. شکل جریان ، عموماً به نحوی انتخاب می شود که جریان سیال ها در خلاف جهت یکدیگر باشند. مبدل های صفحه ای معمولاً به جریان سیال با فشار پایین تر از ۲۵bar و دمای کمتر از حدود ۲۵۰ درجه سانتیگراد محدود می شوند. جریان قوی گردابه ای موجب بزرگ بودن ضرایب انتقال گرما و افت فشارها می گردد ، بعلاوه بزرگ بودن تنش برشی موضعی ، باعث کاهش تشکیل رسوب می شود. این مبدل ها ، سطح انتقال حرارتی نسبتاً فشرده و با وزن کم ایجاد می کنند. دما و فشار آنها به دلیل جزئیات ساخت و واشر بندی ، محدود هستند. این مبدل ها به آسانی تمیز و استریلیزه می شوند زیرا می توانند کاملاً از یکدیگر باز و جدا گردند و بنابراین استفاده گسترده ای در صنایع غذایی دارند.

مبدل های حرارتی صفحه ای حلزونی

مبدل های صفحه ای حلزونی ، با پیچاندن دو صفحه بلند موازی به شکل یک حلزونی با استفاده از یک میله اصلی (مندرل) و جوش دادن لبه های صفحات مجاور به صورتی که یک کانال را تشکیل دهند ، شکل داده می شوند. فاصله بین صفحات فلزی در هر دو کانال حلزونی ، با استفاده از پین های فاصله انداز که به ورق فلزی جوش می شوند ، حفظ می شود. طول پین های فاصله انداز می تواند بین ۵ تا 20mm تغییر کند. به همین دلیل است که با توجه به نرخ جریان ، می توان فواصل مختلفی برای کانال انتخاب کرد. این بدان معناست که شرایط جریان ایده آل و بنابراین کوچکترین سطوح گرمایش ممکن ، بدست می آیند. در هر یک از دو مسیر حلزونی ، یک جریان ثانویه ایجاد می شود که انتقال گرما را افزایش ، و تشکیل رسوب را کاهش می دهد. این مبدل ها کاملاً فشرده هستند ولی به دلیل ساخت خاص خود ، نسبتاً گران قیمت می باشند.

سطح انتقال گرما برای این مبدل ها ، در محدوده ۰,۵ تا $500 m^2$ می باشد. حداکثر فشار کارکرد (تا 15 bar) و دمای کارکرد (تا ۵۰۰ درجه سانتیگراد) در این مبدل ها محدود هستند.

مبدل های حرارتی حلزونی به ویژه در کاربرد سیال لجن آلود ، مایعات لزج و مایعاتی با ذرات جامد معلق شامل ذرات بزرگ و جریان دو فاز مایع- جامد ، استفاده می شوند. مبدل های حلزونی ، در سه نوع اصلی که در اتصالات و آرایش های جریان ، تفاوت دارند ، ساخته می شود.

مبدل های حرارتی لاملا

مبدل های حرارتی لاملا (ریمن) شامل مجموعه کانال های ساخته شده از صفحات فلزی نازک است که به طور موازی جوشکاری شده اند و یا به شکل لاملا (لوله های تخت یا کانال های مستطیلی) می باشند که به صورت طولی در یک پوسته قرار گرفته اند. این مبدل ، شکل اصلاح شده ای از مبدل های حرارتی پوسته و لوله با صفحه لوله شناور است ، لوله های تخت شده که به آن ها لاملا نیز گفته می شود ، از دو صفحه باریک که برش خورده و در عملیاتی پیوسته ، به یکدیگر جوش نقطه ای یا درزی شده اند ، ساخته شده است . شکل دهی خاص صفحات باریک ، فضای داخل لاملاها را ایجاد می کند و برجستگی هایی به سمت خارج ، بیرون می زند که به صورت فاصله دهنده ، بین لاملاها ، برای ایجاد مقاطع جریان در سمت پوسته بکار می رود. لاملاها در هر دو انتها با قرار دادن میله های فولادی در وسط آنها به یکدیگر جوش می شوند.

اندازه میله های فولادی بسته به فاصله مرد نیاز بین لاملاها دارد. هر دو انتهای دسته لاملا بوسیله جوش های محیطی ، به درپوش کانال متصل می شوند که آن هم خود ، در انتهای خارجی به نازل ورودی و خروجی جوش شده است. بنابراین سمت لاملا کاملاً توسط جوشها آب بندی شده است.

سطوح ما بین لاملاها برای تمیز کاری شیمیایی مناسب هستند بنابراین سیال های رسوب دهنده باید در سمت پوسته جریان یابند. جریان سمت پوسته عموماً یک گذر حول صفحات است و به صورت طولی در فضای بین کانال ها جریان می یابد. هیچگونه بافلی در سمت پوسته وجود ندارد و بنابراین مبدل های لاملا می توانند برای آرایش جریان مخالف جهت واقعی در نظر گرفته شوند. به دلیل آشفتگی زیاد جریان ، توزیع یکنواخت جریان و سطوح صاف ، لاملاها به سادگی رسوب نمی گیرند.

دسته صفحه می تواند به راحتی برای بازرسی و تمیز کاری بیرون آورده شود . این طرح دارای ظرفیت تحمل فشار تا 35 bar و تحمل دما تا ۲۰۰ درجه سانتیگراد برای واشرهای تفلون و ۵۰۰ درجه سانتیگراد برای واشرهای آزبست می باشد

مبدل های حرارتی با سطوح پره دار

مبدل های حرارتی با سطوح پره دار ، دارای پره ها و یا ضمائی در سطح اصلی (لوله ای یا صفحه ای) انتقال گرما به منظور افزایش این سطح می باشند. از آنجا که ضریب انتقال گرما در سمت گاز بسیار کوچکتر از سمت مایع است ، سطوح انتقال گرمای پره دار ، در سمت گاز برای افزایش سطوح انتقال گرما استفاده می شوند. پره ها به صورت وسیع در مبدل های حرارتی گاز - گاز یا گاز - مایع در جایی که ضریب انتقال گرما در یک یا هر دو سمت کوچک باشد و به مبدل های حرارتی فشرده نیاز باشد استفاده می گردند. دو نوع از رایج ترین مبدل های حرارتی دارای صفحات پره عبارتند از :

مبدل های صفحه ای پره دار

مبدل های لوله ای پره دار

مبدل های صفحه ای پره دار

نوع مبدل های صفحه ای پره دار عمدتاً برای کاربردهای گاز- گاز و مبدل های لوله ای پره دار برای کاربردهای مایع- گاز استفاده می شوند. در اکثر کاربردها (ماشین های باری ، اتومبیل ها و هواپیماها) کاهش جرم و حجم مبدل از اهمیت ویژه ای برخوردار است. به دلیل دست یافتن به این کاهش حجم و وزن ، مبدل های حرارتی فشرده همچنین به صورت وسیع در تبرید با دمای خیلی کم (کرایوژنیک) ، بازیابی انرژی ، صنایع فرآیندی ، تبرید و سیستم های تهویه استفاده می گردند.

جریان های سیال با صفحات تخت که بین آن ها پره های موج دار قرار داده شده اند ، از هم جدا می شوند. آن ها می توانند با توجه به جریان های سیال با شکل بندی های متفاوت آرایش داده شوند . این واحدهای بسیار فشرده دارای سطح انتقال گرما در واحد حجم حدود $2000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ میباشند. صفحات عموماً دارای ضخامت ۰,۵ تا ۱ mm و پره ها دارای ضخامت ۰,۱۵ تا ۰,۷۵ mm می باشند. کل مبدل از آلیاژ آلومینیوم ساخته شده است و اجزاء مختلف ، در حمام نمک یا کوره خلاء به یکدیگر لحیم می شوند. ورق های موج دار که بین صفحات تخت قرار داده شده اند ، باعث ایجاد سطح انتقال گرمای بیشتر می شوند و هم تکیه گاهی برای صفحات تخت ایجاد می کنند. شکل های مختلف بسیاری از ورق های موجدار در این مبدل ها استفاده می شوند ولی رایجترین آنها عبارتند از : پره ساده ، پره ساده سوراخدار ، پره دندانه ای یا کنگره ای ، پره جناغی یا موجی شکل.

با استفاده از پره ها که در راستای جریان پیوسته نباشند ، لایه های مرزی کاملاً شکسته می شوند و بهم می خورند ، اگر سطح در راستای جریان دارای موج باشد ، لایه های مرزی یا نازک می گردند و یا قطع می شوند که نتیجه آن ضرایب بزرگتر انتقال گرما و افت فشار بزرگتر است.

کانال های جریان در مبدل های صفحه ای پره دار کوچک هستند که بدین معناست که سرعت جرمی جریان در آنها نیز باید کوچک باشد (۱۰ تا $300 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$) تا از افت فشار اضافی ، اجتناب شود. این موضوع کانال را مستعد برای تشکیل رسوب نماید ، با توجه به این موضوع که این مبدلها نمی توانند به صورت مکانیکی تمیز شوند ، استفاده از این مبدل های صفحه ای پره دار منحصر به سیال های تمیز است. آنها به وفور برای مصارف چگالش در واحدهای مایع سازی هوا استفاده می شوند.

مبدل های صفحه ای پره دار برای استفاده در توربین های گاز ، نیروگاههای مرسوم و هسته ای ، مهندسی پیشرانه (هواپیماها ، ماشین های باری و خودروها) ، تبرید ، گرمایش ، تهویه و تهویه مطبوع ، سیستم های بازیابی گرمای اضافه ، صنایع شیمیایی و سرمایش وسایل الکترونیکی بوجود آمده اند.

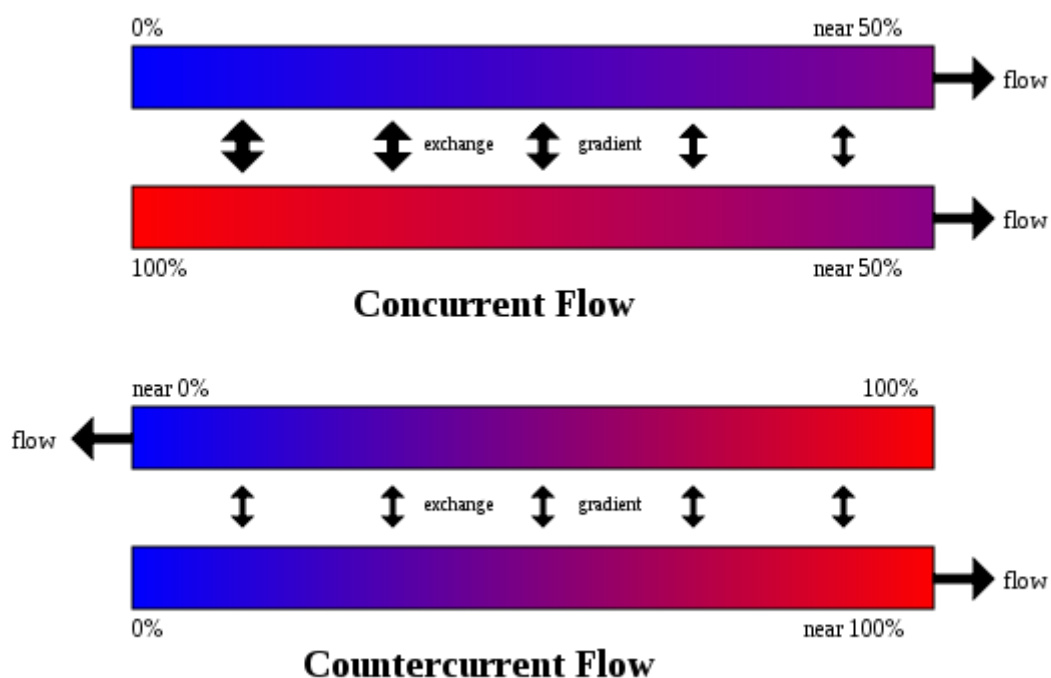
مبدل های لوله ای پره دار

این مبدل ها شامل آرایه ای از لوله ها با پره هایی که در سمت بیرونی ثابت شده اند ، می باشد. پره های سمت خارجی لوله ها ممکن است عمود بر محور لوله ها ، اریب یا مارپیچ نسبت به محور ، یا طولی (محوری) و در امتداد محور لوله باشند. پره های طولی معمولاً در مبدل های دو لوله ای یا پوسته و لوله ای که دارای بافل نیستند استفاده می شوند.

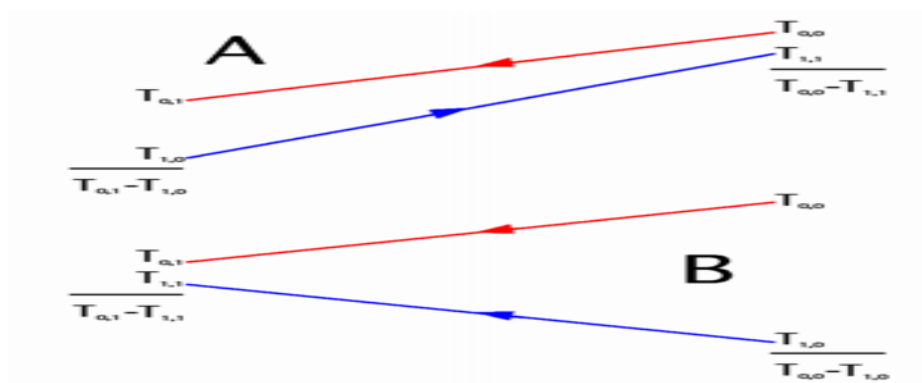
در مبدل های لوله ای پره دار عموماً لوله هایی با مقاطع گرد ، مستطیلی یا بیضوی استفاده می شوند. پره ها با لحیم کاری ، جوش برنجی ، جوشکاری ، اکستروژن ، جا زدن مکانیکی ، پیچاندن کششی و غیره به لوله وصل می شوند. این مبدل ها بطور متداول در سیستم های گرمایش ، تهویه ، تبرید و تهویه مطبوع استفاده می شوند. سطوح داخلی در سمت لوله ها عموماً در چگالنده ها و تبخیر کننده های سیستم های تبرید استفاده می گردند.

چگالنده های خنک شونده با هوا و دیگ های بخار بازیافت، مبدل های حرارتی لوله ای پره دار هستند که شامل یک دسته افقی از لوله ها است که هوا یا گاز از میان لوله ها و متقاطع با آن ها در سمت خارجی دمیده می شود و چگالش یا جوشش، در سمت داخل لوله ها اتفاق می افتد.

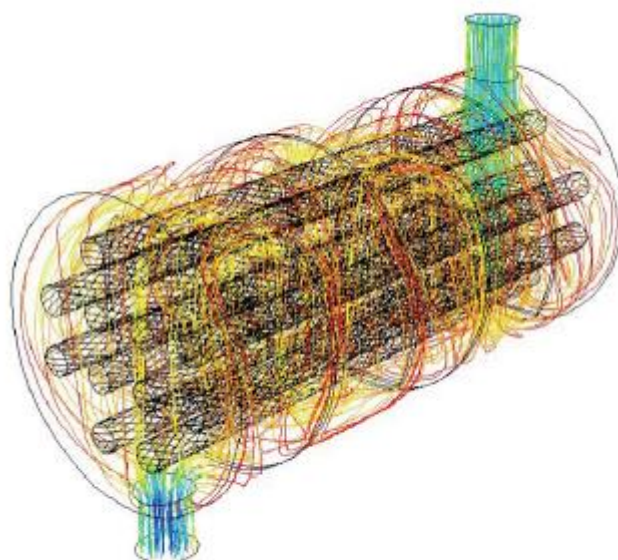
۸-۲ تصاویر انواع مبدل حرارتی



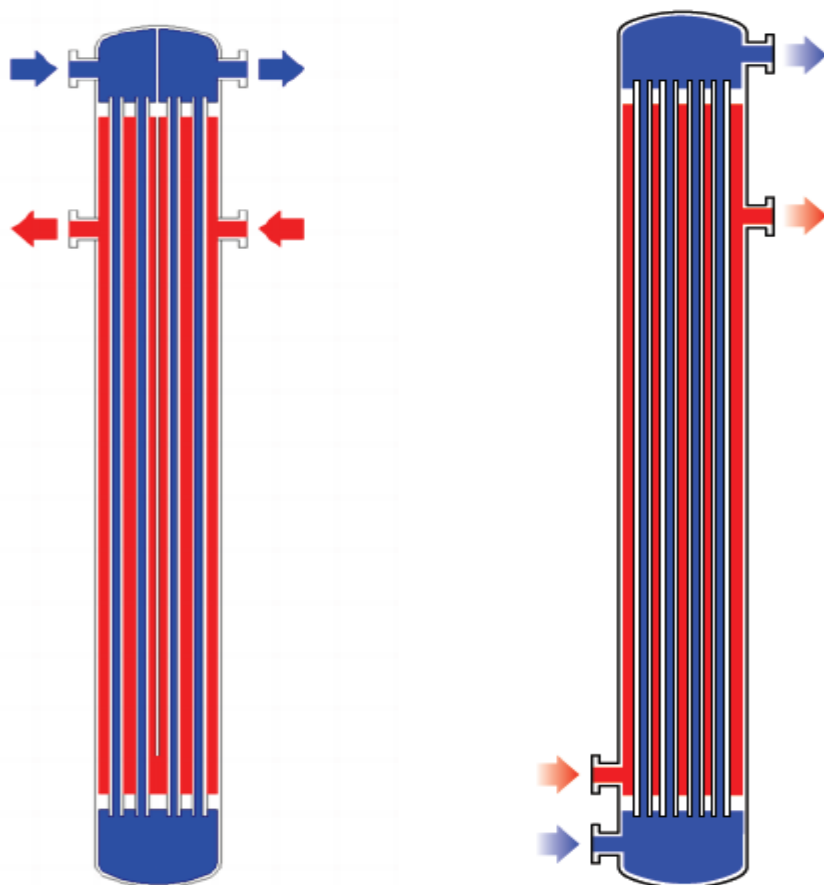
شکل ۵-۲ انواع جریان در مبدل حرارتی



شکل ۲-۶ نمودار دما در طول مبدل حرارتی در انواع جریان ها



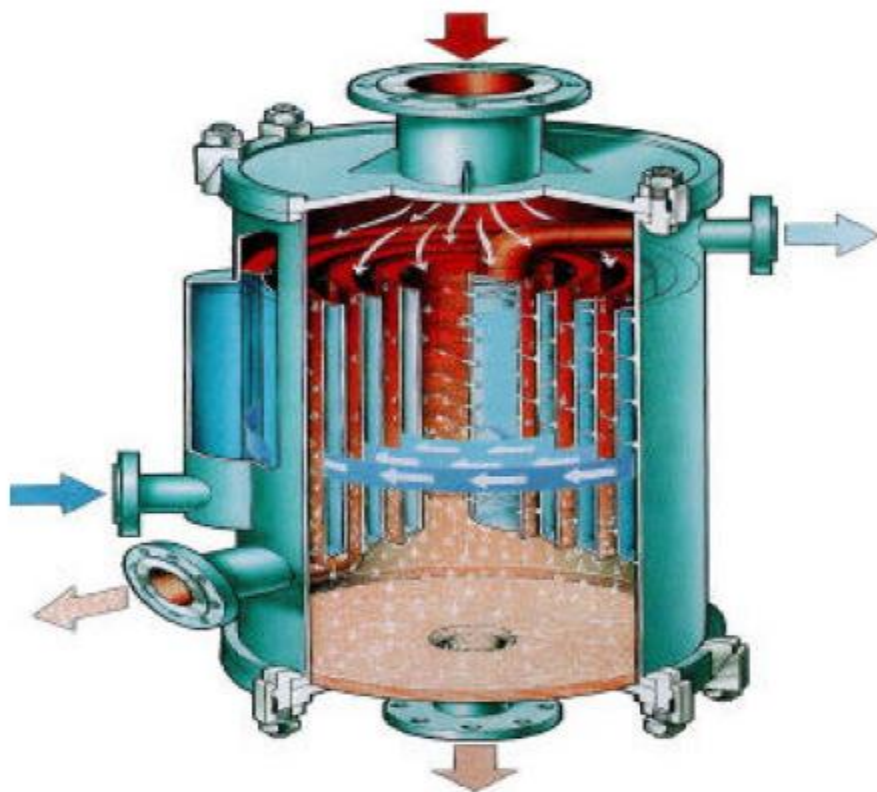
شکل ۲-۷ طرحی از مبدل پوسته لوله



شکل ۲-۸ مبدل پوسته لوله تک پاس جریان همسو و ناهمسو



شکل ۲-۹ مبدل حرارتی پوسته لوله نیمه صنعتی

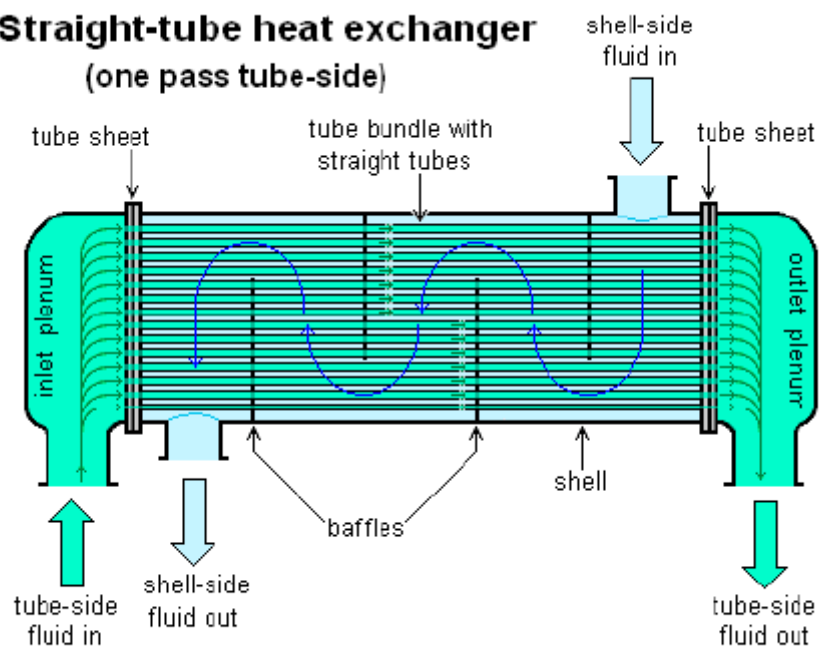


شکل ۲-۱۰ جریان سیال در مبدل حرارتی حلزونی

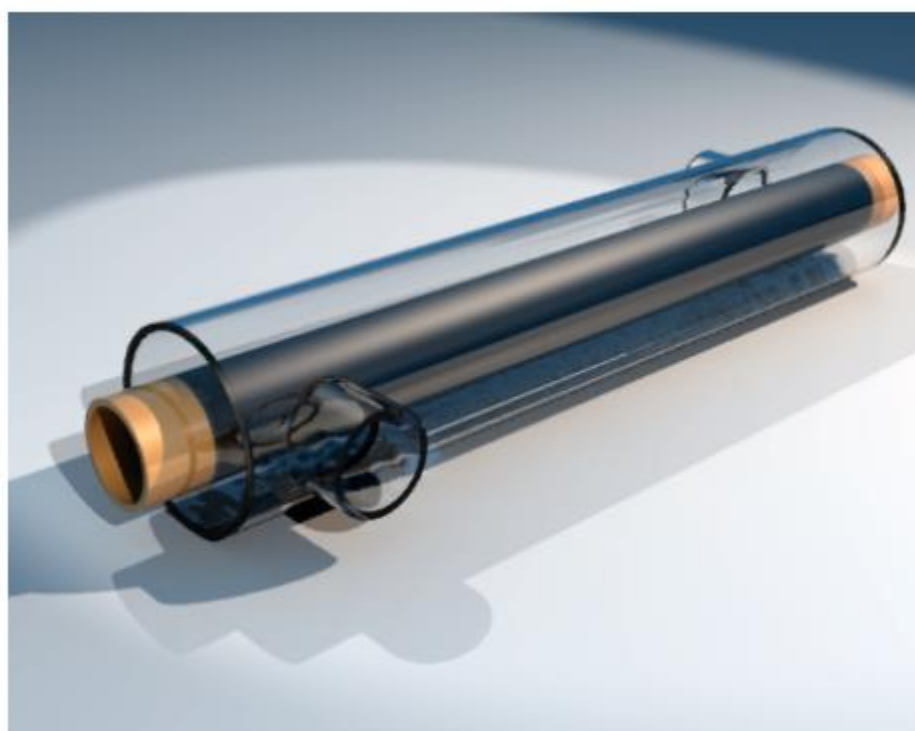


شکل ۲-۱۱ لوله های U شکل مبدل حرارتی

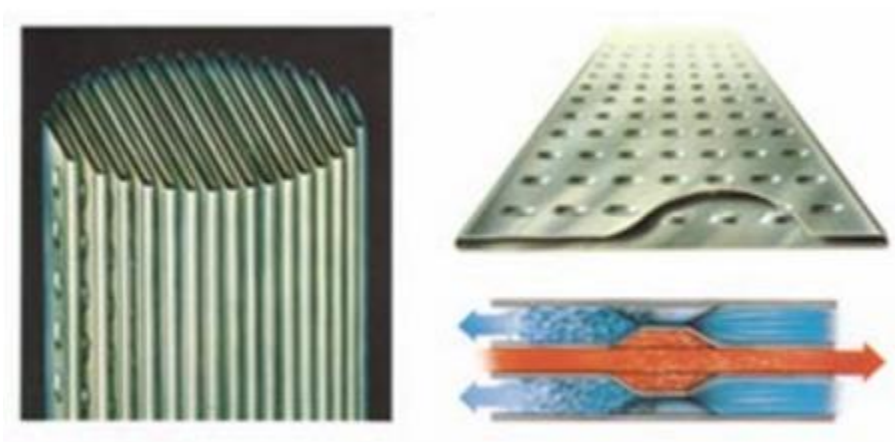
Straight-tube heat exchanger (one pass tube-side)



شکل ۲-۱۲ مبدل حرارتی پوسته لوله



شکل ۲-۱۳ مبدل حرارتی لوله ای هم مرکز



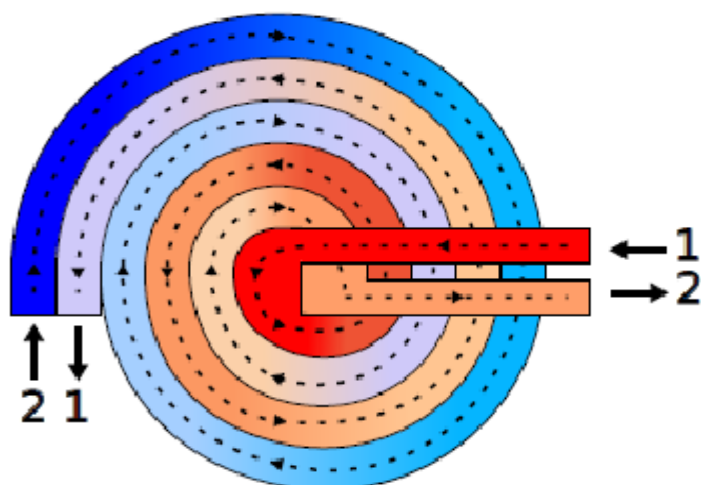
شکل ۲-۱۴ مبدل حرارتی لاملا



شکل ۲-۱۵ مبدل حرارتی صفحه ای اسپیرال



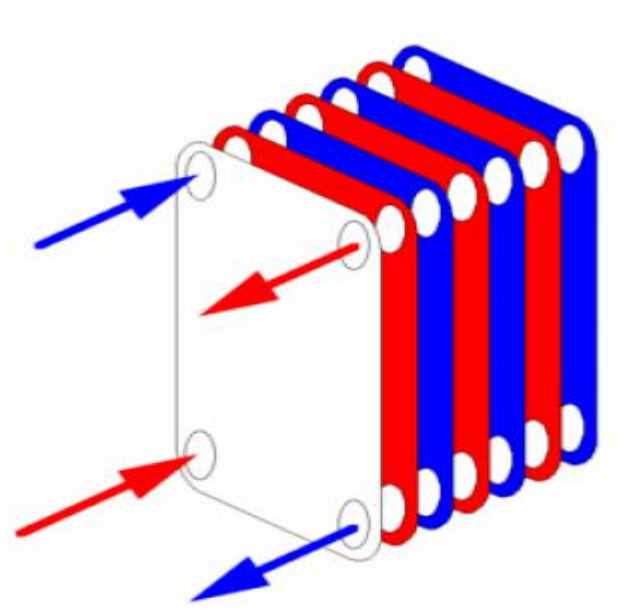
شکل ۲-۱۶ مبدل حرارتی صفحه ای



شکل ۲-۱۷ مبدل حرارتی حلزونی مارپیچ



شکل ۲-۱۸ مبدل حرارتی لوله ای



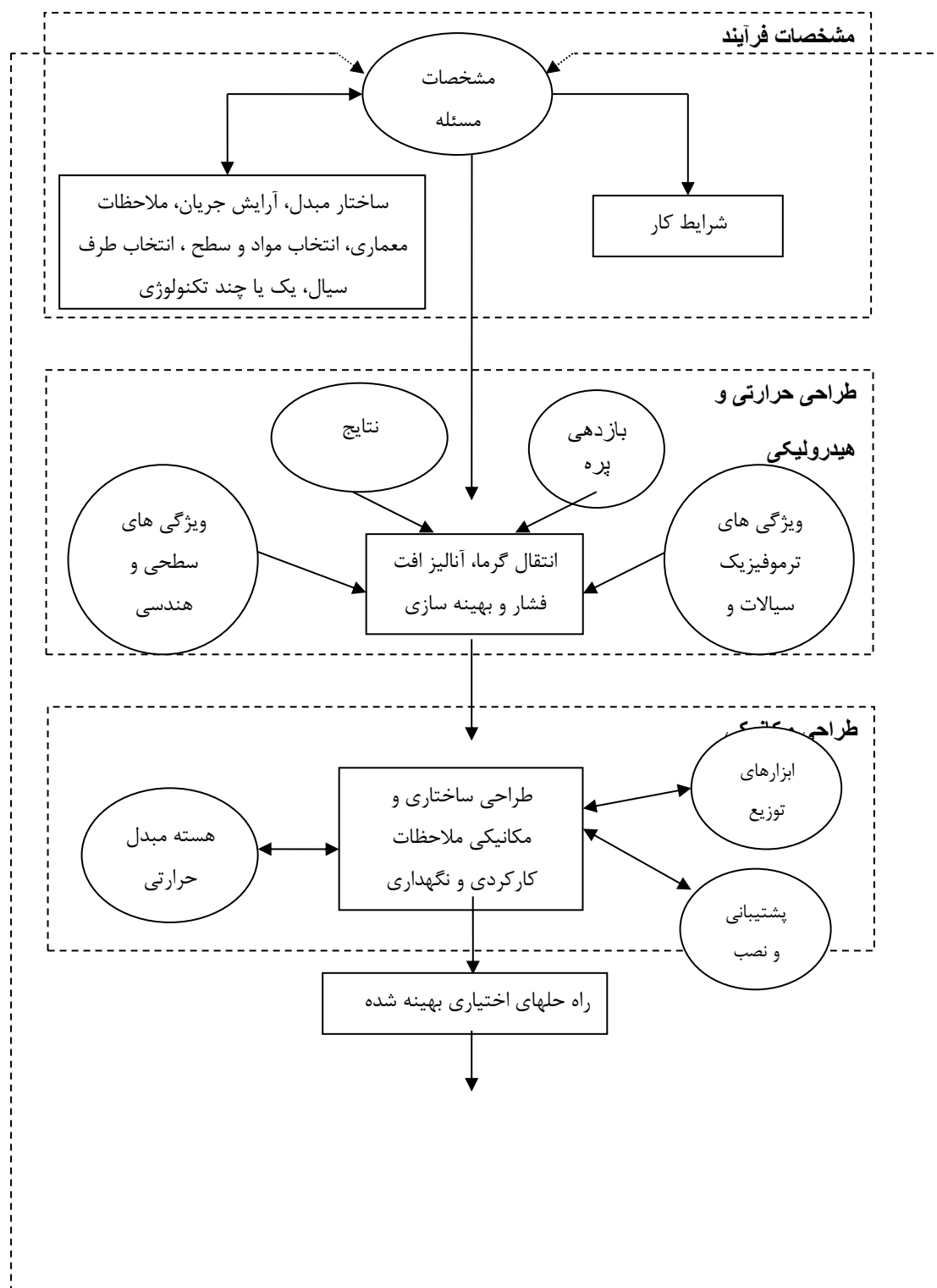
شکل ۲-۱۹ مبدل حرارتی صفحه ای

۹-۲ اصول طراحی مبدل های حرارتی

طراحی برای تهیه یک سیستم مهندسی ، بخشی از آن یا تنها یک مؤلفه سیستم ، در جایگاه بسیار بالایی قرار دارد. توصیف یک سیستم مهندسی بیانگر مشخصات مهم ساختار سیستم، اندازه سیستم، عملکرد سیستم و سایر مشخصاتی که برای ساخت و بهره برداری بسیار مهمند ، می باشد . این موضوع می تواند با استفاده از روش و اصول طراحی محقق گردد.

از فرمول بندی چشم انداز این فعالیت ، کاملاً مشخص است که روش طراحی دارای ساختار پیچیده ای است و از این گذشته، روش طراحی برای یک مبدل حرارتی به عنوان یک مؤلفه ، باید با طراحی چرخه عمر یک سیستم سازگار باشد. طراحی چرخه عمر ملاحظات زیر را فرض کرده است :

- فرمول بندی مسئله (از جمله تعامل با مشتری)
- توسعه مفهوم (انتخاب انواع طراحی ها، طراحی اولیه)
- طراحی دقیق مبدل(انجام همه محاسبات طراحی و مد نظر قرار دادن همه ملاحظات)
- ساخت و تولید
- ملاحظات بهره برداری (کارکرد ، در دسترس بودن ، فرسوده شدن و غیره)
-



شکل ۲۰-۲ روش و اصول طراحی مبدل حرارتی

در مرحله نخست یک مهندس باید به تعیین مشخصات تجهیزات و اهداف کلی طراحی سیستم مبادرت ورزد که این باید بر اساس درکی درست از نیازهای مشتری باشد. اگر موضوع به درستی فرمول بندی گردد و مهندس همه مؤلفه ها را در طراحی سیستم مورد ارزیابی قرار دهد و یک یا چند راه حل طراحی عملی را برای خود مدنظر قرار دهد در آن صورت بر اساس این تحلیل و ارزیابی ها می تواند اندازه گیری های دقیق ، برآورد هزینه ها و بهینه سازی ها را انجام دهد که این کار موجب می شود تا بهترین راه حل برای طراحی پیشنهاد گردد. به طور مشابه ، ملاحظات مهندسی پروژه اعم از ساخت و تولید باید مد نظر قرار داده شود. موضوع مربوط به راه اندازی، حمل و نقل، کارکرد در شرایط پایدار و نهایتاً فرسوده شدن و احتمالاً بازیافت هم باید مد نظر مهندس طراح قرار گیرند . تیم طراحی با در نظر گرفتن همه موارد سعی در برآورده کردن همه نیازها می کند ، همه محدودیت های احتمالی را شبیه سازی می نماید و چندین بار مراحل گوناگون را تکرار می کند تا اینکه مشکلی باقی نماند و همه خواسته ها برآورده شوند. در چارچوب این فعالیت ها، یک روش خاص طراحی ایجاد می گردد.

یک متدولوژی برای طراحی یک مبدل حرارتی در شکل نشان داده شده است . این طراحی توسط آقایان کیز و لندن (۱۹۹۸) ، تابورک (۱۹۸۸) و شاه (۱۹۸۲)^۳ برای مبدل های حرارتی فشرده انجام شده است. این فرآیند طراحی را می توان به عنوان یک مطالعه موردی مد نظر قرار داد.

³ Kays & London , Taborek , shah

۲-۱۰ معرفی نرم افزار

(FLUENT) نرم افزار اوج هنر برنامه نویسی برای مدل کردن جریان سیال و انتقال حرارت در هندسه

های پیچیده می باشد. این نرم افزار امکان تغییر شبکه، به صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه های غیر

ساخت یافته برای هندسه های پیچیده را فراهم می سازد.

نرم افزار فلوئنت در حال حاضر پر کاربرد ترین نرم افزار در کشور ما در زمینه شبیه سازی مکانیک سیالات

و انتقال حرارت هست که در طیف وسیعی از رشته ها مثل مکانیک، هوافضا، مهندسی شیمی، عمران آب و

غیره (به طور کلی هر جا نیاز به شبیه سازی جریان سیالات باشد) استفاده می شود.

این برنامه قابلیت های زیادی دارد و طیف وسیعی از مسائل سیالاتی و انتقال حرارتی رو پوشش می دهد.

استفاده موفقیت آمیز از این نرم افزار نیاز به دانش کافی از مکانیک سیالات و البته آشنایی با

Computational Fluid Dynamics دارد.

نرم افزار فلوئنت یکی از نرم افزارهای صنعتی مشهور می باشد که دارای قابلیت های فراوانی است. این نرم

افزار قابلیت مدلسازی جریانهای دو و سه بعدی را داراست. برای استفاده از این نرم افزار ابتدا توسط یک

نرم افزار کمکی مانند گمبیت هندسه جریان مشخص می گردد و عمل مش بندی نیز صورت می گیرد. نرم

افزار فلوئنت از خروجی نرم افزار گمبیت استفاده می کند.

این نرم افزار قابلیت انجام محاسبات با دقت معمولی و دقت مضاعف را دارد و به عنوان یک اختیار، کاربر

می تواند هر کدام را انتخاب نماید.

این نرم افزار بر پایه روش حجم محدود که یک روش بسیار قویو مناسب در روش های دینامیک سیالات

محاسباتی میباشد، بنا شده است. قابلیت های فراوانی نظیر مدلسازی جریانهای دائم و غیر دائم، جریان لزج و

غیر لزج ، احتراق ، جریان مغشوش ، حرکت ذرات جامد و قطرات مایع در یک فاز پیوسته و ده ها قابلیت دیگر فلوئنت را تبدیل به یک نرم افزار بسیار قوی و مشهور نموده است. آزمایشات عملی و محاسبات تئوری ، دو روش اصلی و مشخص برای پیش بینی میزان انتقال حرارت و چگونگی جریان سیال در کاربردهای مختلف صنعتی و تحقیقاتی می باشند. در اندازه گیریهای تجربی به دلیل هزینه های زیاد ترجیح داده می شود که آزمایشها بر روی مدلی با مقیاس کوچکتر از نسخه اصلی انجام پذیرد. حذف پیچیدگیها و ساده سازی آزمایشها ، خطای دستگاههای اندازه گیری و بعضی موانع در راه اندازه گیری از جمله مشکلاتی هستند که روشهای عملی با آنها رو به رو هستند و کارایی این حالتها را در بعضی موارد مورد سوال قرار می دهند. مهمترین امتیاز محاسبات تئوری در مقایسه با آزمایشهای تجربی، هزینه کم آن است. گرچه در بسیاری موارد ترجیح داده می شود با استفاده از روشهای محاسباتی، آنالیز جریان و انتقال حرارت صورت گیرد و لیتایید تحلیلهای عددی نیاز به مقایسه با نتایج آزمایشگاهی و یا نتایج تایید شده دیگری دارد. در میان محققین، انجام پژوهشهای تجربی ارزش بسیاری دارد و اگر بتوان آزمایش مطلوبی انجام داد ، تحلیلهای زیادی را بر محور آنها میتوان گسترش داد و اطلاعات فراوانی بدست آورد. در هر صورت با دسترسی به دستگاههای محاسبه گر و رایانه های قوی ، امروزه در بسیاری از موارد آنالیز دینامیک سیالات و انتقال حرارت با روشهای عددی انجام می پذیرد. هرچه پدیده مورد بررسی پیچیدگی بیشتری داشته باشد، روشهای عددی اهمیت بیشتری پیدا می کنند.

گمبیت یک مجموعه نرم افزاری طراحی شده برای کمک به محققان و طراحان است، که برای ساخت مدل ها و دیگر کاربردهای علمی استفاده می شود. این نرم افزار ورودی ها CFD مش زدن آنها به منظور کاربرد های را به وسیله ابزاری تحت عنوان رابط گرافیکی کاربر از کاربر دریافت می کند. این قابلیت موجب برداشتن گام های اساسی در ساخت، مش زدن، و تعیین نوع محدوده تخصیص یافته به یک مدل ساده، می شود. به علاوه این نرم افزار انقدر امکانات دارد و به اندازه کافی جامع است، که بتوان از آن

برای طیف گسترده ای از کاربرد های مدل سازی استفاده کرد. انواع سلول، عبارت است از شکل های متفاوتی که المان های اصلی یک مش را شامل می شود. مراحل تحلیل یک مسوله به صورت زیر است: در ابتدا باید اصلی ترین بخش از مسئله را که باید حل شود، تعیین کرد. مراحل را که در ادامه نام برده شده اند باید به ترتیب انجام شوند:

۱. تعیین مدل نهایی و هدف مدل سازی

۲. ایجاد مدل هندسه و مش

۳. تعیین تحلیل گر و مدل فیزیکی

۴. محاسبه و نمایش نتایج

۵. در نظر گرفتن اصلاحاتی برای پارامتر های مدل های عددی و فیزیکی، در صورت لزوم

۲-۱۱ اطلاعات و توصیف مسئله

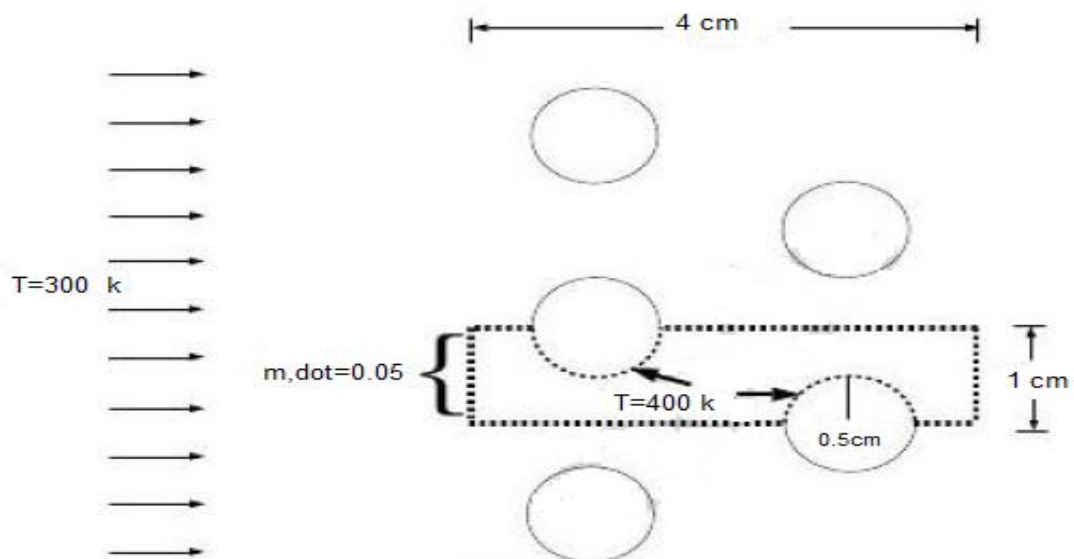
می خواهیم با توجه به هندسه و دبی جرمی و ... و به کمک نرم افزار فلوئنت تحلیل حرارتی انجام بدهیم. نیاز به تولید کل هندسه نیست به کمک شرط تقارن در گمبیت و ایجاد دوره تناوبی در فلوئنت به هدف خود می رسیم. در شکل زیر اطلاعات مسئله داده شده است و فقط منطقه ای که با نقطه چین مشخص شده است منطقه محاسباتی مورد نظر ما است و خواص فیزیکی آب مایع به شرح زیر است:

$$\rho = 998.2 \frac{kg}{m^3} \quad (۱-۴)$$

$$\mu = 0.001003 \frac{kg}{m \times s} \quad (۲-۴)$$

$$c_p = 4182 \frac{j}{kg \times k} \quad (۳-۴)$$

$$k = 0.6 \frac{W}{m \times k} \quad (۴-۴)$$

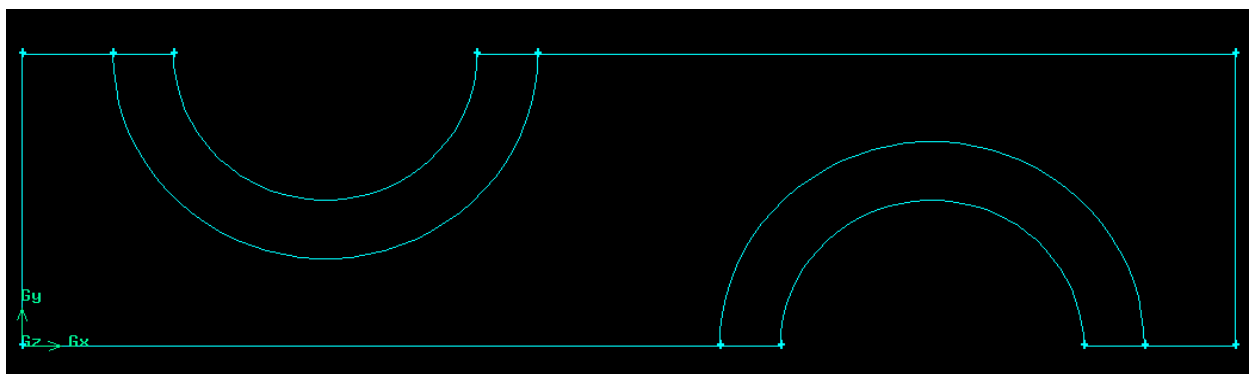


شکل ۲-۲۱ هندسه مبدل حرارتی پوسته لوله

۲-۱۲ رسم هندسه و مش بندی در نرم افزار گمبیت

حال نرم افزار گمبیت را باز کرده و هندسه مبدل حرارتی را در آن رسم می نماییم که شکل مورد نظر به

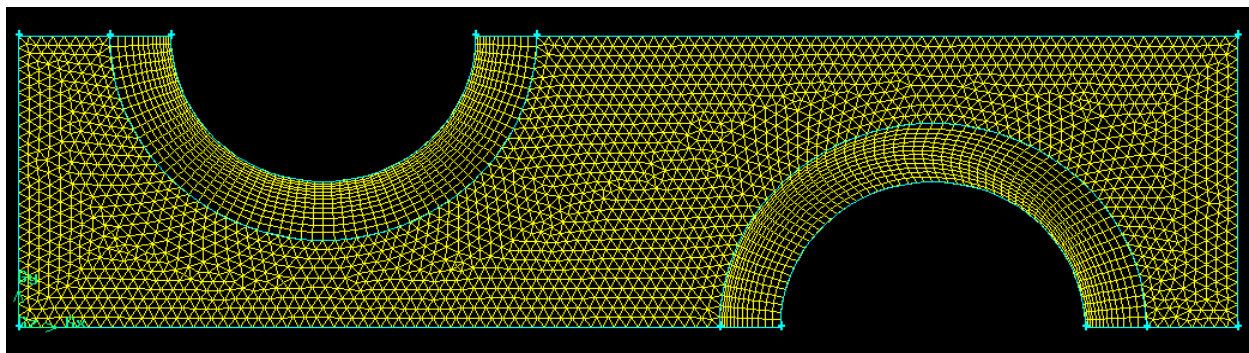
صورت زیر است:



شکل ۲-۲۳ هندسه مبدل حرارتی

هم اکنون هندسه فوق را باید مش بندی نماییم که این کار نیز توسط نرم افزار گمبیت انجام می شود که

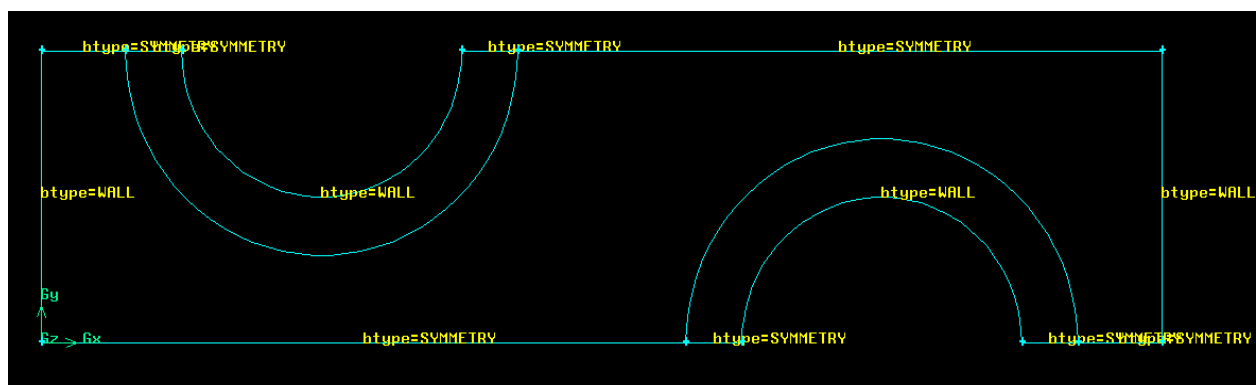
بعد از مش بندی به شکل زیر می رسم:



شکل ۲-۲۴ مش بندی مبدل حرارتی

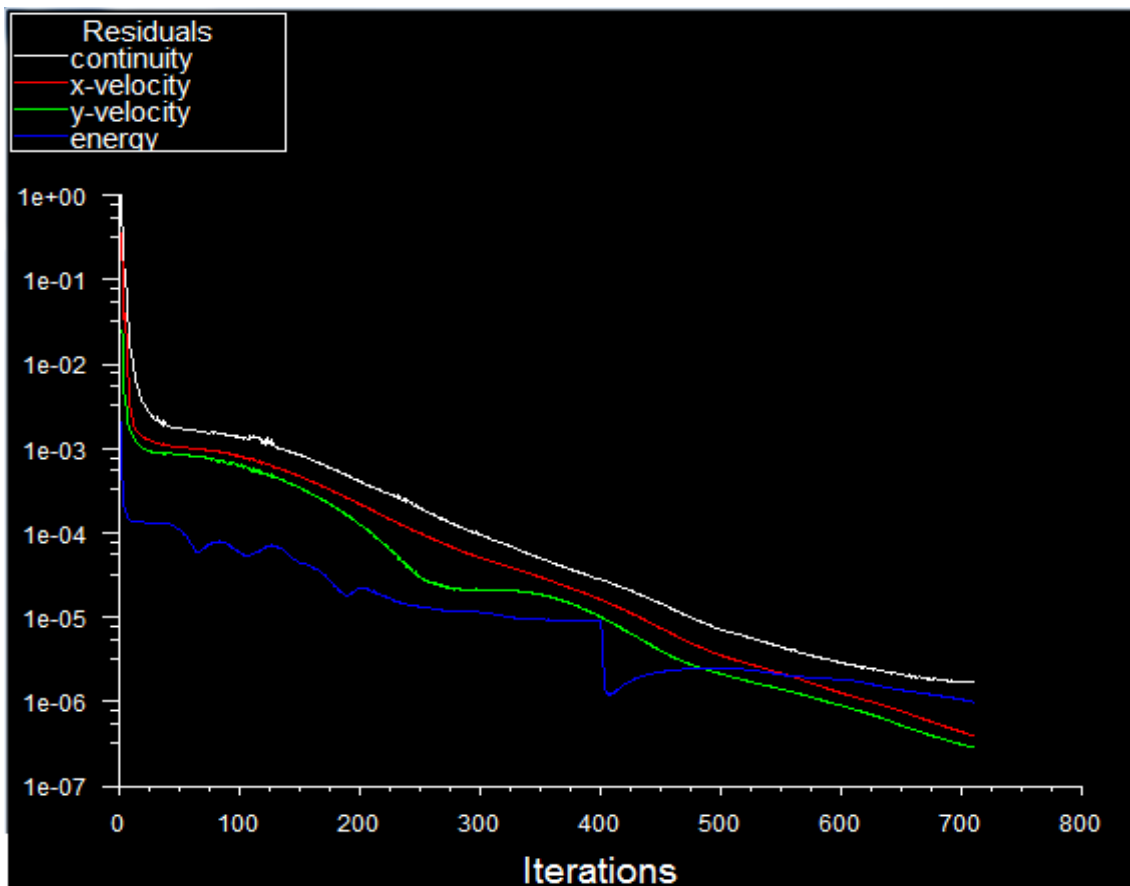
حال باید به هندسه مورد نظر در نرم افزار گمبیت شرایط مرزی دهیم که کار آخر ما در گمبیت می باشد در

زیر هندسه با شرایط مرزی را مشاهده می نمایید.



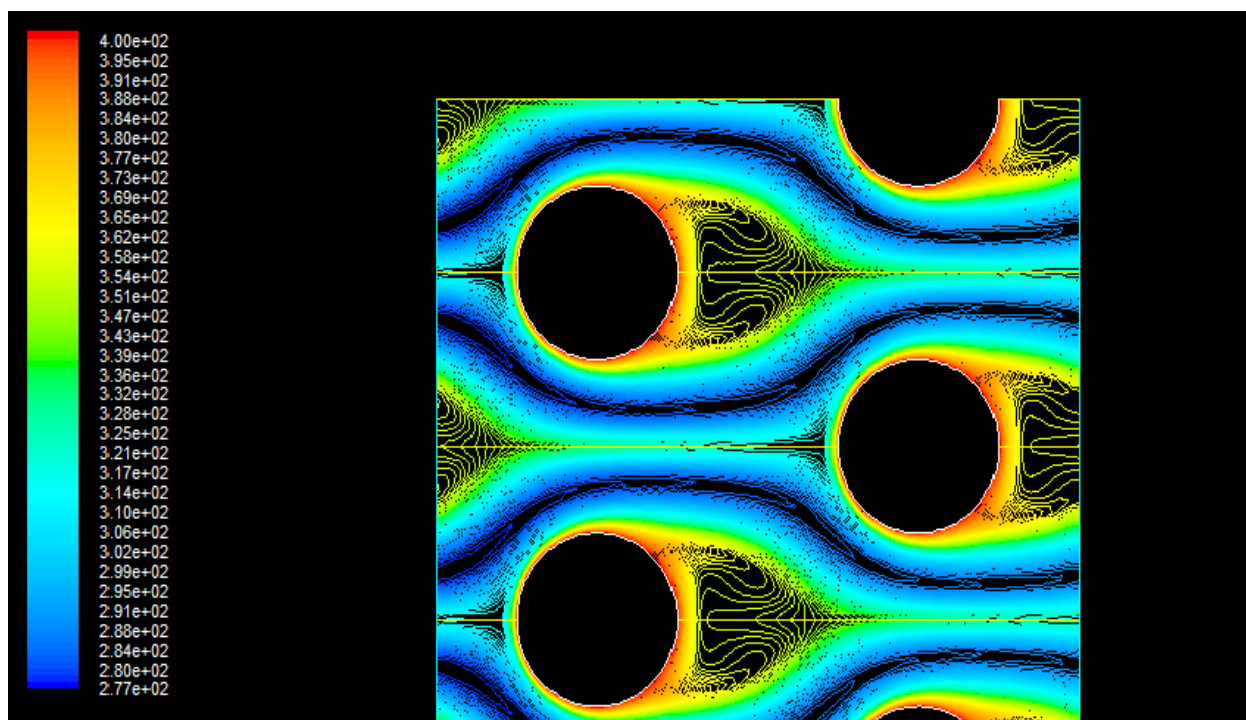
شکل ۲۵-۲ هندسه مبدل حرارتی با شرایط مرزی

حال هندسه را در گمبیت ذخیره کرده و نرم افزار فلوئنت را در حالت دوبعدی و یک دقیقه باز می نمایم
هندسه ذخیره شده را وارد فلوئنت می نمایم و آب مایع را به عنوان ماده مورد استفاده انتخاب می نمایم و
شرایط دمایی و دبی جرمی را در فلوئنت بررسی و تصحیح می نمایم و بعد از انجام مراحل فوق مسئله را
حل می نمایم که نرم افزار فلوئنت نمودار زیر را به ما می دهد.

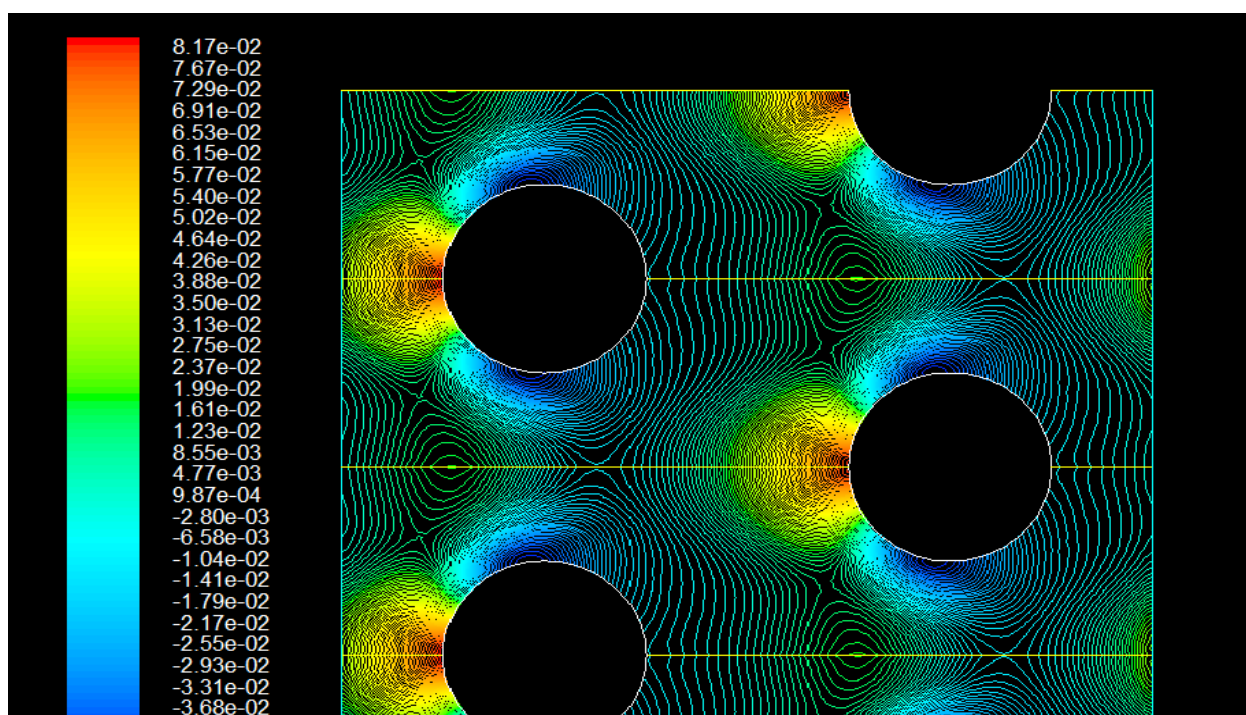


شکل ۲۶-۲ حل نموداری فلوئنت

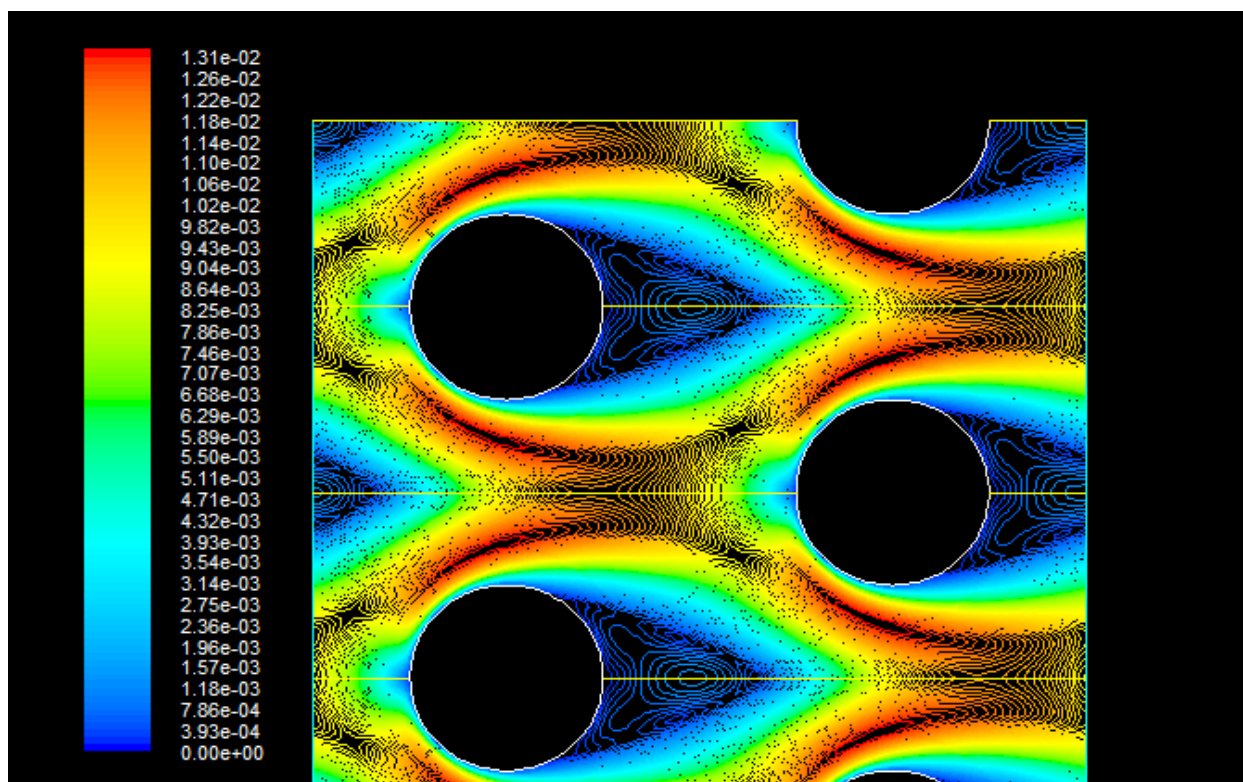
همان طور که از نمودار فوق مشخص است مبدل حرارتی با سیال معمولی در مسئله مورد نظر در مرتبه ۷۱۸ همگرا شده است حال به تحلیل دما فشار و سرعت می پردازیم که شکل های زیر نتایج ما خواهند بود. در مورد دما همان طور که مشاهده می شود در محیط دور لوله دما بسیار زیاد است و در مورد فشار همان گونه که دیده می شود فشار در جهت ورود دما (سمت چپ) زیاد و در بالا و پایین بسیار کم می باشد و در مورد سرعت نیز عکس حالت دما اتفاق می افتد یعنی سرعت دور لوله کم و در فضای خالی زیاد است.



شکل ۲-۲۷ تحلیل دمای مبدل حرارتی



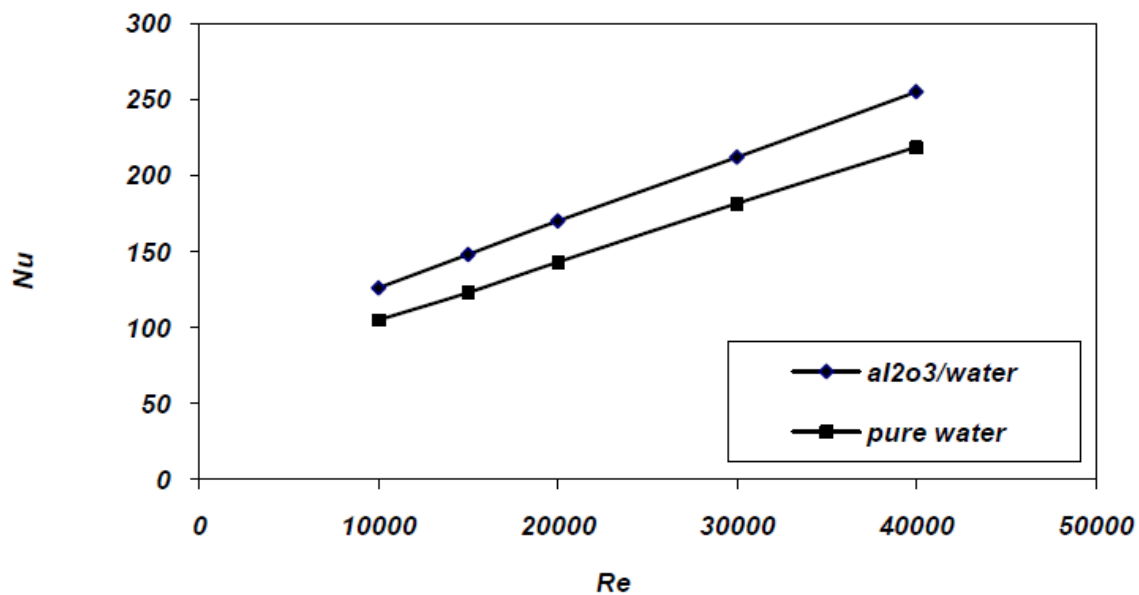
شکل ۲-۲۸ تحلیل فشار در مبدل حرارتی



شکل ۲۹-۲ تحلیل سرعت در مبدل حرارتی

حال دوباره تغییری در داده های اولیه انجام می دهیم که این تغییر مربوط به ماده مورد نظر می باشد. می خواهیم با استفاده از نانو ذرات اکسید آلومینیوم AL_2O_3 در سیال و با استفاده از داد ها و. فرمول های در این فصل گفته با استفاده از نرم افزار داده های مبدل حرارتی پوسته لوله تغییراتی بدهیم و آن را با نرم افزار فلونت حل کرده و با نتایج اولیه مقایسه کنیم. ابتدا طبق غلظت و تغییر ماده و حضور غلظتی از نانو ذره الومینوم اکسید در سیال که این کار در ریلندوزی ثابت به سیال سبب افزایش عدد ناسلت شده و همچنین انتقال حرارت را سریع تر انجام میدهد طبق نمودار نوشته شده واز انجا که دمای محیط لوله نسبت به دمای دیواره لوه کمتر است و دمای دیواره لوله در زمان سیال معمولی نسبت به دمای دیواره لوله در حضور نانو ذره با کاهش چشمگیر دما می باشد و می کنیم. حال در زیر حل نموداری تحلیل دمای تحلیل سرعت را به نمایش در می آوریم.

مشاهده میکنیم حضور نانو سیال اکسید آلومینیوم را که سبب افزایش ناسلت میشود.



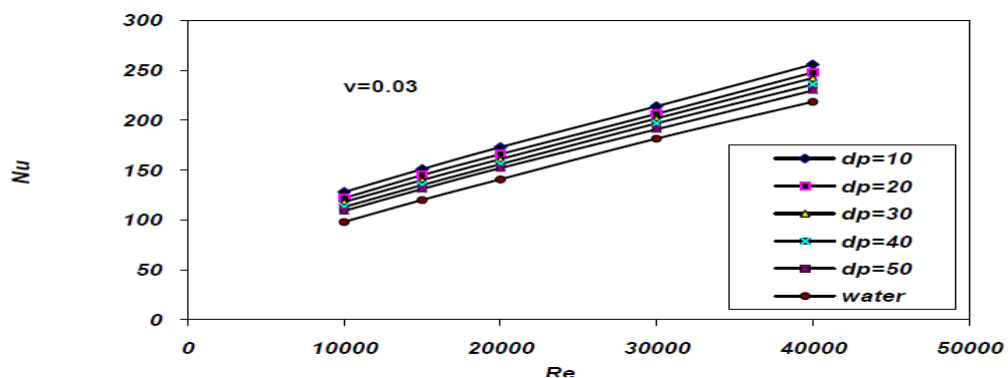
شکل ۲-۳۰ در این شکل تغییرات نسلت در رینولدزی ثابت در هردو سیال نانو سیال و سیال معمولی مشاهده میکنیم

که این شکل نماینگر این می باشد که در به طور مثال رینولدز ۲۰۰۰ افزایش نسبی ناسلت را به نسبت

ناسلت در سیال معمولی میبینیم عدد ناسلت از ۱۵۷ به ۱۷۳ می رسد در قطر ۱۰ نانو متر اما در نظر

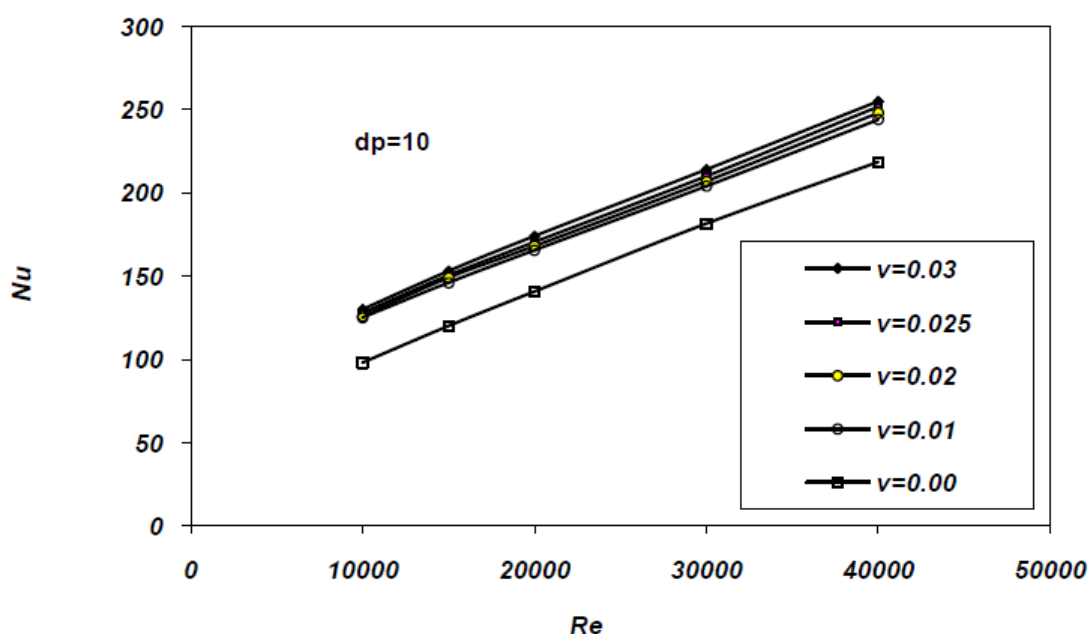
داشته باشیم با افزایش قطر نانو ذره عدد ناسلت کاهش میابد میبینیم که به افزایش قطر ناسلت در

رینولدز معینی کاهش یافته است.

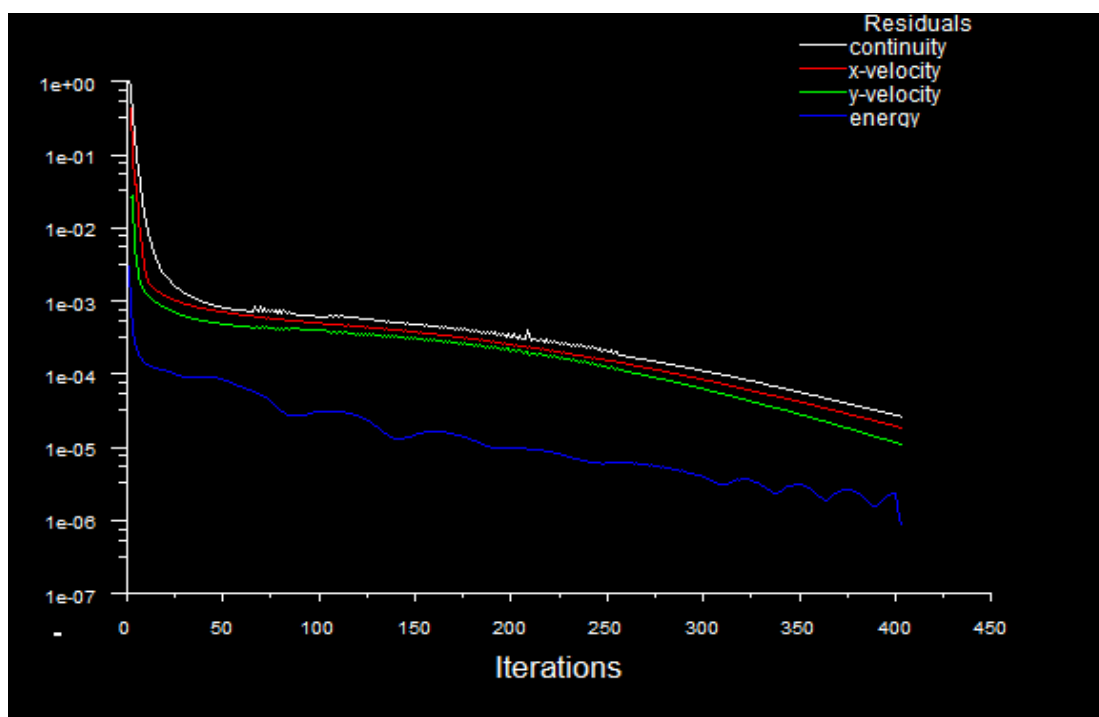


شکل ۲-۳۱ با افزایش قطر در رینولدزی ثابت در نانو سیال کاهش ناسلت را میبینیم

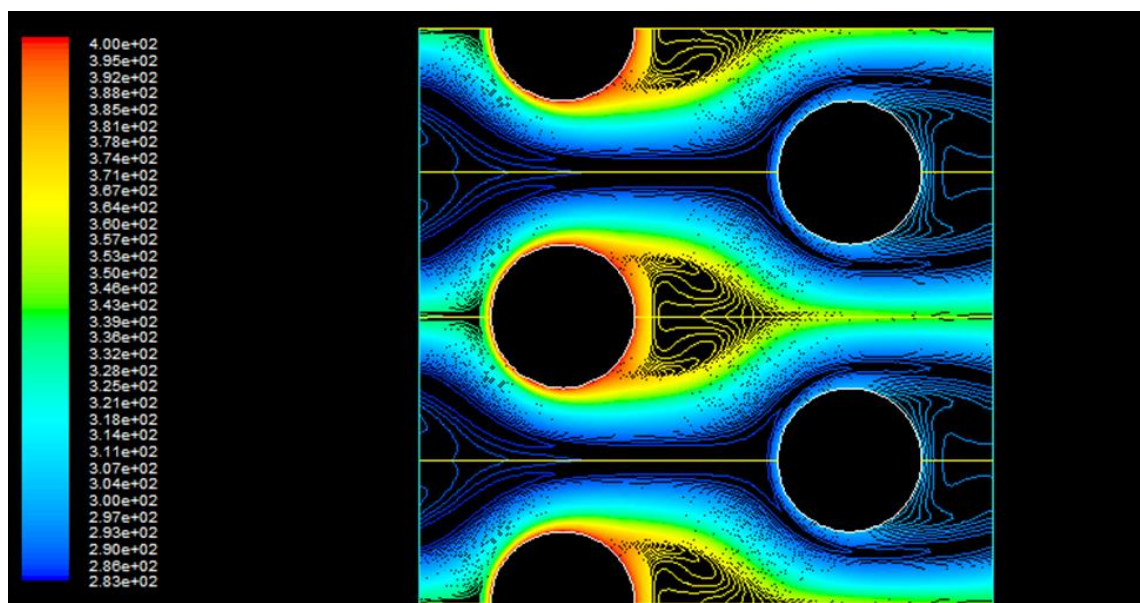
سپس بررسی میکنیم غلظتی متفاوت از نانو ذره را در سیال در غلظت های متفاوت نانو ذره افزایش ناسلت در رینولدزی ثابت را مشاهده میکنیم که این دو حالت سبب انتقال حرارت بهتر می باشد. یعنی حضور نانو ذره و افزایش غلظت حضور آن



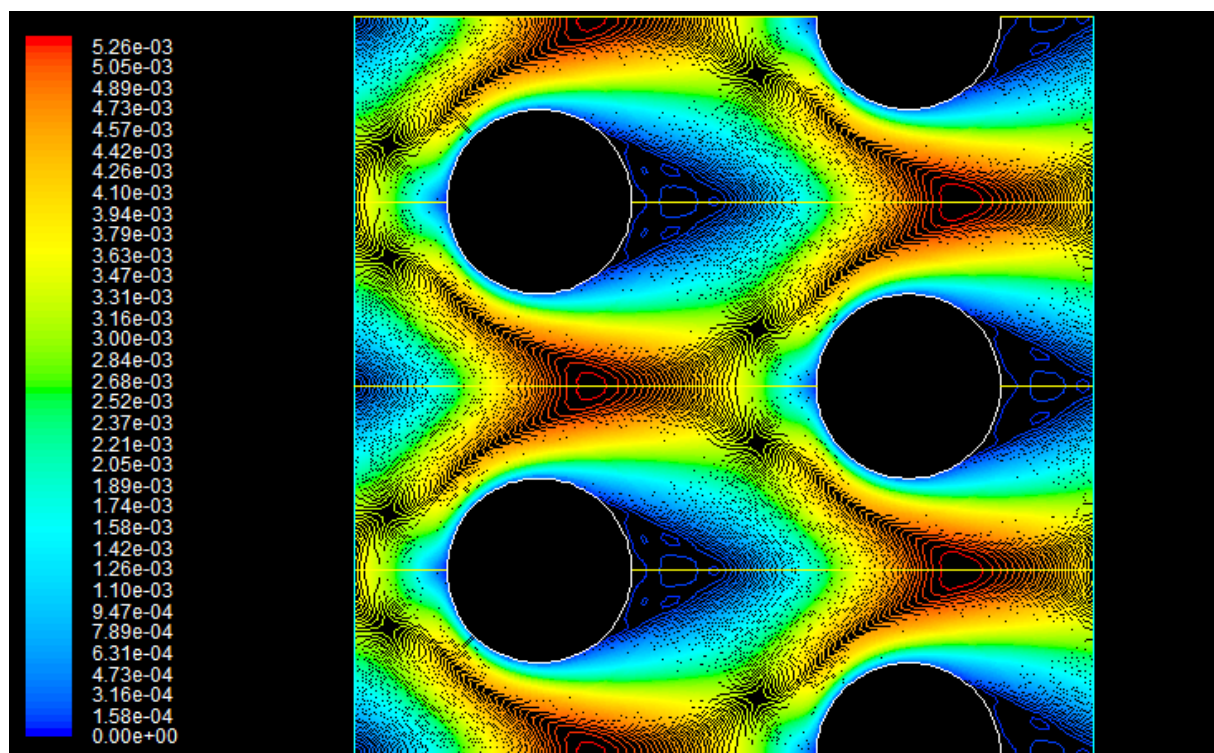
شکل ۳۲-۲ با افزایش غلظت مشاهده میکنیم که ناسلت هر چند بسیار اندک اما رو به افزایش است همان طور که در نمودار زیر مشاهده می شود مسئله در مرحله سیال همراه با نانو ذره ۴۲۰ همگرا می شود در حالی که در حالت اولیه در مرحله ۷۱۸ همگرا شده بود. در مورد تحلیل دمایی همان گونه که مشاهده می شود قسمت دماهای بالا کاهش یافته و در مورد سرعت نیز تغییراتی کم دیده می شد.



شکل ۲-۳۲ حل حالت دوم فلوئنت



شکل ۲-۳۳ تحلیل دمایی مبدل در حالت دوم



شکل ۲-۳۴ تحلیل سرعت در مبدل حرارتی در حالت دوم

۱۳-۲ نتیجه گیری

از تحلیل نموداری و دمایی و فشار و سرعت در مبدل حرارتی می توان نتیجه گرفت که نموداری در همه حالت نسبتاً ثابت است و فرق آن ها در مرتبه همگرا شدن می باشد. از تحلیل دمایی می توان نتیجه گرفت که دما چسبیده به لوله و تمام دور آن همیشه بشتترین مقدار را دارد و هرچه از محیط لوله دور شویم دما با کاهش رو برو می شود اما با حضور نانو ذره در سیال با بهبود انتقال حرارت رو به رو میشویم از این رو که افزودن نانو ذره با سیال سبب افزایش ضریب انتقال حرارت شده است از این رو در مقایسه با سیال معمولی افزایش ۵ تا درصدی ضریب و خود انتقال حرارت میشویم.

اما هدف از بررسی هر دو موضوع این می باشد از تصفیه آب به وسیله نانو ذرات اکسید آهن و بررسی بازه انتقال حرارت با نانو ذرات اکسید الومینیوم که در هر دو حالت تاثیر مثبتی مشاهده شد و جهتی دیگر بررسی دیگر این دو موضوع در کنار هم ورود نانو سیال به درون مبدل و بهبود انتقال حرارت بوده طبق فصل دوم و اب خروجی از مبدل که دارای کدورت و الودگی یا زنگ زدگی می باشد را نیز میتوان طبق فصل اول با استفاده از نانو ذره اکسید آهن و میدان مغناطیسی تصفیه نمود.

پایان

correlation analysis and seasonal influences. Chemosphere.2010; 80(9):991-997

Okochi NC, McMartin DW. Laboratory investigations of stormwater –۲

remediation via slag: Effects

of metals on phosphorus removal. Journal of hazardous materials. 2011;

.187(1):250-257

Collins KA, Lawrence TJ, Stander EK, Jontos RJ, Kaushal SS, Newcomer –۳

TA, Grimm NB, Cole

Ekberg ML. Opportunities and challenges for managing nitrogen in urban

stormwater: A review and

synthesis. Ecological Engineering. 2010; 36(11): 1507-1519

Rosenquist SE, Hession WC, Eick MJ, Vaughan DH. Variability in –۴

adsorptive phosphorus removal

by structural stormwater best management practices. Ecological Engineering.

.2010; 36(5):664-671

Hettler EN, Gulliver JS, Kayhanian M. An elutriation device to measure –۵

particle settling velocity in

urban runoff. Science of the Total Environment. 2011; 409(24): 5444-53

Hsieh C, Davis AP. Evaluation and optimization of bioretention media for –۶

treatment of urban storm

.water runoff. Journal of Environmental Engineering. 2005; 131(11): 1521-1531

Genç-Fuhrman H, Mikkelsen PS, Ledin A. Simultaneous removal of As, Cd, –v

Cr, Cu, Ni and Zn

from stormwater: Experimental comparison of 11 different sorbents. Water

:(Research. 2007; 41(3

.۶۰۲-۵۹۱

Ambashta RD, Sillanpää M. Water purification using magnetic assistance: A –^

review. Journal of

.hazardous materials, 2010; 180(1): 38-49

Zhao X, Shi Y, Wang T, Cai Y, Jiang G. Preparation of silica-magnetite –۹

nanoparticle mixed

hemimicelle sorbents for extraction of several typical phenolic compounds from

environmental water

.samples. Journal of Chromatography A. 2008. 1188(2): 140-147

Merino M, deVicente J, Cruz-Pizarro L, deVicente I. Setting up High –۱۰

Gradient Magnetic

Separation for combating eutrophication of inland waters. Journal of hazardous

;materials. 2011

.۲۰۷۴-۲۰۶۸ :(۲)۱۸۶

منابع فصل دوم

- [1] Fundamentals of Heat Exchanger Design Ramesh K. Shah , Dusan P. Sekulic
- [2] Plate Heat Exchangers: Design, Application and Performance L. Wang, B. Sunden- WIT press- 2007
- [3] Heat transfer, 9th ed.- J.P. Holman- McGrawHill- 2002
- [4] سایت باشگاه مهندسان ایران www.iran_eng.com
- [5] سایت انجمن علمی تامین مقالات رایگان www.gigapaper.com
- [6] سایت مرجع متخصصین ایران www.irexpert.ir
- [7] Heat Exchanger Design handbook- T. Kuppan- Marcel Dekker- 2000
- [8] Guide to compact heat exchangers- Energy Technology Support Unit & WS Atkins Consultants Ltd.