

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران - محیط زیست

امکان سنجی حذف چربی و فلزات سنگین (با تکیه بر آهن) از پساب با فناوری میناب

نگارنده: هاله نظامی

استاد راهنما

دکتر سید فضل اله ساغروانی

مهر ۹۹

شماره: ۹۹ / ۴۹ / ۲ =
تاریخ: ۹۹/۷/۲۱
۱۳۹۹ / ۹ / ۱۶

باسمه تعالی



فرم شماره (3) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم هاله نظامی با شماره دانشجویی 9615144 رشته مهندسی عمران گرایش محیط زیست تحت عنوان امکان سنجی حذف چربی و فلزات سنگین (با تکیه بر آهن) از پساب با فناوری میناب که در تاریخ 1399/7/21 با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

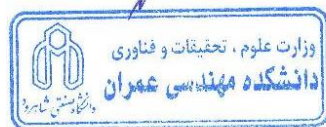
الف) درجه عالی: نمره 19-20 ☐ ب) درجه خیلی خوب: نمره 18-19 ☒
ج) درجه خوب: نمره 16-17 ☐ د) درجه متوسط: نمره 14-15 ☐
ه) کمتر از 14 غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد ☐
نوع تحقیق: نظری ☒ عملی ☐

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
1- استاد راهنمای اول	دکتر سید فضل اله ساغروانی	دانشیار	
2- استاد راهنمای دوم			
3- استاد مشاور			
4- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر گلی	استادیار	
5- استاد ممتحن اول	دکتر رمضان واقعی	استادیار	
6- استاد ممتحن دوم	دکتر محمدابراهیم قاضی	استاد	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رضا نادری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تبصره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیلی) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از 4 ماه برگزار شود).



تقدیم اثر

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پرمهر پدرم

که هر چه آموختم در مکتب عشق تو آموختم و هر چه بکوشم قطره‌ای از دریای بیکران

مهربانیت را سپاس نتوانم بگویم

و تقدیم به همسرم همراه همیشگی و پشتوانه زندگیم.

شکر و قدردانی

اکنون که به یاری پروردگار و راهنمایی اساتید بزرگوار موفق به پایان این رساله شده‌ام وظیفه خود دانسته که نهایت سپاسگزاری را از زحمات اساتید فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر سید فضل اله ساغروانی که با نکته‌های دلاویز و گفته‌های بلندشان، صحیفه‌های سخن را علم پرور نمودند و همواره راهنما و راهگشای این جانب در اتمام و اکمال این پایان‌نامه بوده‌اند تقدیر و تشکر نمایم. با تقدیر و درود فراوان از اساتید بزرگوار آقای دکتر رمضان واقعی و آقای دکتر محمد ابراهیم قاضی که زحمت داوری این پایان‌نامه را متقبل شدند.

تعهدنامه

این جانب هاله نظامی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - محیط زیست دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه امکان سنجی حذف چربی و فلزات سنگین (با تکیه بر آهن) از پساب با فناوری میناب تحت راهنمایی دکتر سید فضل اله ساغروانی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

هدف از پژوهش حاضر استفاده از فناوری میناب برای جداسازی چربی و آهن از محلول آبی در سیستم ناپیوسته بوده است. در این پژوهش ابتدا از شناورسازی با میناب، منعقد کننده پک و کاغذ صافی جهت جداسازی چربی موجود در امولسیون و از میناب ازن جهت اکسیداسیون آهن محلول استفاده گردید. تاثیر عوامل موثر بر فرآیند شناورسازی pH، اندازه حباب، نوع گاز ورودی و غلظت اولیه جهت جداسازی چربی مورد بررسی قرار گرفت. همچنین خصوصیات ماده ته نشین شده از اکسیداسیون آهن به وسیله آنالیزهای XRD، XRF و SEM تعیین گردید. بر اساس نتایج مشخص گردید که بیشینه درصد حذف چربی از امولسیون در غلظت ۴۳۰-۴۴۰ میلی گرم بر لیتر توسط شناورسازی با فناوری میناب، سنگ هوا و هوادهی با کمپرسور، با حجم ثابت $10^{-4} \times 1/8$ متر مکعب هوا، به ترتیب ۶۴/۸، ۵۷/۲ و ۵۵/۵ درصد می باشد. درصد حذف چربی در pHهای ۳، ۷، ۹ و ۱۰ نیز به ترتیب ۳۲/۹، ۴۵، ۵۳/۶ و ۶۲/۳ درصد اندازه گیری شد. با توجه به نتایج XRD، XRF و SEM نیز از اکسیداسیون آهن محلول با میناب اوزون به تولید نانو ذرات اکسید آهن منجر شد. به طور کلی جداسازی چربی و آهن با شناورسازی فناوری میناب نسبت به شناورسازی با اندازه های مختلف حباب کارایی بالاتری دارد.

کلمات کلیدی (۵ تا ۷ کلیدواژه): حذف چربی، حذف آهن، فناوری میناب، فلزات سنگین

فهرست مطالب

ی	فهرست جداول
ک	فهرست اشکال
۱	فصل ۱: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه
۳	۲-۱ بیان مسئله
۵	۳-۱ ضرورت انجام تحقیق
۶	۴-۱ اهداف تحقیق
۷	۵-۱ روش تحقیق
۷	۶-۱ ساختار پایان نامه
۹	فصل ۲ مروری بر تحقیقات پیشین
۱۰	۱-۲ مقدمه
۱۰	۲-۲ آلودگی چربی
۱۰	۱-۲-۲ روش‌های حذف چربی
۱۵	۲-۲-۲ تاثیر چربی بر محیط
۱۵	۳-۲ -آلودگی آهن
۱۶	۱-۳-۲ روش‌های حذف آهن از فاضلاب
۱۹	۲-۳-۲ تاثیر آهن بر محیط
۲۰	۴-۲ بررسی فناوری میناب
۲۳	۱-۴-۲ کاربرد میناب

فصل ۳ مواد و روش‌ها

۲۷

- ۱-۳ مقدمه ۲۸
- ۲-۳ مواد ۲۸
- ۳-۳ روش تهیه نمونه آب آلوده به چربی ۳۰
- ۳-۴ روش تهیه نمونه آب آلوده به فلز آهن ۳۰
- ۵-۳ روش بررسی تاثیر میناب بر کاهش چربی و آهن در پساب ۳۰
- ۳-۵-۱ روند کلی آزمایش جداسازی چربی ۳۰
- ۳-۵-۲ روند کلی آزمایش جداسازی آهن ۳۱
- ۶-۳ آزمایش‌های بهینه‌سازی جداسازی چربی ۳۲
- ۳-۶-۱ روش بررسی تاثیر pH محلول بر میزان درصد حذف چربی ۳۲
- ۳-۶-۲ روش بررسی تاثیر اندازه حباب‌ها بر میزان حذف چربی ۳۳
- ۳-۶-۳ روش بررسی تاثیر نوع گاز میناب بر میزان حذف چربی ۳۳
- ۷-۳ روش محاسبه درصد حذف چربی ۳۳
- ۳-۸ محاسبه میزان گاز ورودی دستگاه میناب ۳۴
- ۹-۳ طیف‌سنج جذب اتمی (AAS) ۳۵
- ۱۰-۳ آنالیز پراش پرتو (XRD) ۳۷
- ۱۱-۳ طیف‌سنج فلورسانس پرتو (XRF) ۳۷
- ۱۲-۳ آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ۳۸

فصل ۴ نتایج و بحث

۳۹

- ۱-۴ مقدمه ۴۰
- ۲-۴ بهینه‌سازی مواد مورد استفاده در فرآیند حذف ۴۰
- ۱-۲-۴ مقایسه غلظت‌های اولیه مختلف بر میزان حذف چربی ۴۰

۴۲.....	۲-۲-۴ مقایسه دو نوع منعقد کننده بر میزان حذف چربی
۴۳.....	۳-۲-۴ تاثیر مقدار منعقد کننده بر میزان حذف چربی
۴۳.....	۳-۴ نتایج آزمایش‌های بهینه‌سازی حذف چربی با میناب
۴۳.....	۱-۳-۴ تاثیر pH محلول
۴۴.....	۲-۳-۴ تاثیر سایز حباب‌ها
۴۵.....	۳-۳-۴ تاثیر نوع گاز وارد شده
۴۶.....	۴-۴ ارزیابی خصوصیات ماده ته‌نشینی از اکسیداسیون آهن
۴۶.....	۱-۴-۴ نتایج آنالیز پراش پرتو X (XRD)
۴۸.....	۲-۴-۴ نتایج آنالیز XRF
۴۹.....	۳-۴-۴ نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

فصل ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۵۱

۵۲.....	۱-۵ مقدمه
۵۲.....	۲-۵ جمع‌بندی نتایج جداسازی چربی
۵۲.....	۱-۲-۵ نوع و مقدار منعقد کننده
۵۲.....	۳-۵ بهینه‌سازی فرآیند جداسازی چربی
۵۳.....	۴-۵ جمع‌بندی نتایج جداسازی آهن
۵۳.....	۵-۵ پیشنهادها برای مطالعات آتی

مراجع ۵۴

فهرست جداول

جدول ۱-۲	تعدادی از مطالعات انجام شده بر حذف چربی	۱۱
جدول ۱-۳	مشخصات آب حاوی میناب	۲۸
جدول ۲-۳	مشخصات آب شهری	۲۹
جدول ۳-۳	اطلاعات معادله ۳-۳	۳۵
جدول ۱-۴	نتیجه حاصل از آنالیز XRD ماده ته‌نشین شده از پساب آلوده به کلراید آهن	۴۶
جدول ۲-۴	نتیجه حاصل از آنالیز XRD ماده ته‌نشین شده از پساب آلوده به سولفات آهن ۷ آب	۴۶
جدول ۳-۴	نتایج آنالیز XRF	۴۹

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ تفاوت رفتار ماکرو، میکرو و نانوحباب‌ها ۲۲
- شکل ۱-۳ روند کلی حذف چربی ۳۱
- شکل ۲-۳ روند کلی آزمایش‌های حذف آهن ۳۲
- شکل ۳-۳ اجزای اصلی یک طیف‌نورسنج جذب اتمی ۳۶
- شکل ۱-۴ میزان غلظت چربی و درصد حذف آن ۴۱
- شکل ۲-۴ تعیین نوع منعقد کننده بر میزان درصد حذف چربی ۴۲
- شکل ۳-۴ تاثیر مقدار منعقد کننده پک بر میزان درصد حذف ۴۳
- شکل ۴-۴ تاثیر pH بر میزان درصد حذف چربی ۴۴
- شکل ۵-۴ تاثیر اندازه حباب‌ها بر میزان حذف چربی ۴۵
- شکل ۶-۴ تاثیر نوع گاز ورودی به دستگاه میناب بر روی درصد حذف چربی ۴۶
- شکل ۷-۴ آنالیز XRD ماده ته‌نشینی کلراید آهن الف) طیف حاصل از XRD، ب) نتایج حاصل از آنالیز XRD ۴۷
- شکل ۸-۴ آنالیز XRD ماده ته‌نشینی سولفات آهن الف) طیف حاصل از XRD، ب) نتایج حاصل از آنالیز XRD ۴۸
- شکل ۹-۴ تصویر SEM از اکسید آهن در بزرگنمایی‌های مختلف ۴۹
- شکل ۱۰-۴ تصویر SEM از اکسید آهن تولید شده با فرزکاری به مدت ۴۸ ساعت ۵۰
- شکل ۱۱-۴ تصویر SEM از اکسید آهن تولید شده با حرارت ۴۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت ۵۰

فصل ۱: کلیات

۱-۱ مقدمه

فاضلاب صنایع حاوی ناخالصی‌هایی است که باعث آلودگی محیط‌زیست می‌گردد. ورود مقادیر ناچیزی از ترکیبات شیمیایی موجود در فاضلاب‌های صنعتی به محیط‌زیست، مشکلات آلودگی و به ویژه تصفیه آن‌ها را سخت‌تر می‌کند. لذا به جرات می‌توان گفت بیشترین صدمات وارده به محیط‌زیست در حال حاضر از طریق تخلیه فاضلاب‌های صنعتی حاصل می‌گردد. خواص فاضلاب‌های صنعتی و پساب کارخانه‌ها کاملاً بستگی به نوع فرآورده و خط تولید کارخانه دارد. تخمین زده‌اند هر مترمکعب فاضلاب می‌تواند حدود ۴۰-۱۵ مترمکعب آب را آلوده نماید (عبدالهی و همکاران، ۱۳۹۴). نگرانی‌های خاصی در مورد شهرهای واقع در نزدیکی تأسیسات صنعتی وجود دارد که جمعیت زیادی را می‌تواند در معرض مواد سمی قرار دهد. بر اساس مطالعه‌های انجام شده بیشترین تولید پسماندهای صنعتی مربوط به پسماندهای صنایع فلزی می‌باشد (پازوکی و جعفری، ۱۳۹۴).

کارخانه‌های فلزی نظیر کارخانه‌های تولید فولاد به دلیل استفاده فراوان از روغن و گریس در روغن‌کاری تجهیزات و ماشین‌آلات هیدرولیکی از بزرگ‌ترین صنایع آلوده‌کننده از نظر روغن و گریس محسوب می‌شوند. نگرانی اصلی در مورد روغن و گریس این است که اگر به دقت کنترل و مدیریت نشود انسان و محیط‌زیست را در معرض خطر قرار خواهند داد. تصفیه پساب روغنی یکی از مهم‌ترین و جدی‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی است که صنایع فلزی و معدنی با آن مواجه هستند. انواع مختلفی از قطرات روغن مانند روغن‌های روغن‌کاری، هیدروکربن‌های سبک و سنگین و چربی گاهی در غلظت‌های پایین هم می‌تواند برای آبریان حساس سمی و خطرناک باشند. حد مجاز روغن در پساب تصفیه‌شده باید صفر باشد (EPA, 2000).

در تحقیقی با بررسی آلودگی فلزات سنگین در محیط یک کارخانه فولاد در دانمارک به این نتیجه رسیدند که منحنی شدت آلودگی با افزایش فاصله از کارخانه کاهش می‌یابد (Vestergaard et al, 1985). فلزات تا حدودی به صورت محلول در آب وجود دارند، اما برخی از فلزات وجود دارند که حتی مقدار بسیار کمی از آن‌ها می‌تواند سلامت انسان را به خطر انداخته و به عنوان یک عامل سمی

تلقى شود (Peavy et al, 1985). یون‌های فلزات در محیط‌زیست قابلیت تجمع زیستی دارند، بنابراین اثر سمیت آن‌ها در جانوران سطوح بالاتر زنجیره غذایی بیشتر نمود پیدا می‌کند (Ahluwalia and Goyal, 2007). آهن یکی از آلاینده‌هاست که اگر غلظت آن از حد مجاز ۰/۳ mg/L در آب بیشتر شود برای محیط‌زیست ایجاد خطر می‌کند (EPA, 2000).

در سالیان اخیر بحث‌هایی مبنی بر آلاینده‌گی صنعت فولاد مطرح شده است که برای حذف چربی و فلزات سنگین از فاضلاب از روش‌های متفاوتی مانند تصفیه شیمیایی، شناورسازی، تبادل یونی، روش‌های الکتروشیمیایی، روش‌های گرانشی، روش‌های غشایی و ... استفاده شده است. لذا به‌کارگیری مناسب‌ترین روش تصفیه جهت حذف این نوع از آلاینده‌ها به منظور حفظ محیط‌زیست بسیار ضروری خواهد بود (Gu and Chiang, 1999).

تحقیقات انجام گرفته در سطح دنیا نشان داده که استفاده از تکنولوژی نانو با توجه به سطح ویژه، واکنش‌پذیری بالا و سطح نامنظم نانو ذرات و جذب سطحی آلاینده‌ها یکی از مؤثرترین روش‌ها به منظور حذف آلاینده‌های مختلف در صنعت تصفیه آب و فاضلاب است. امروزه به منظور پیشبرد اهداف زیست‌محیطی از جمله حذف چربی و یون‌های فلزی درون آب و فاضلاب از تکنولوژی نانو استفاده می‌گردد (Chen et al, 2010, Zhang et al, 2003).

تحقیق حاضر برای بررسی تاثیر میکرو-نانو حباب یا میناب بر عملکرد شناورسازی چربی و اکسیداسیون فلز آهن و کاهش تاثیرات ناشی از چربی و آهن موجود در پساب صنعتی بر روی محیط‌زیست و بهبود کیفیت پساب تصفیه‌شده، صورت گرفته است.

۲-۱ بیان مسئله

با توجه به صنعتی شدن شهرها، شهرک‌های صنعتی در اطراف شهرها رشد چشمگیری کرد که یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های شهرک‌های صنعتی، تصفیه فاضلاب صنایع می‌باشد. تولید صنعتی منجر به تولید انواع مختلفی از فاضلاب می‌شود که بسته به نوع صنعت مربوطه، دارای ویژگی‌ها و سطوح

متفاوتی از آلاینده‌ها هستند. با کاهش منابع آب و شور شدن آب‌های زیرزمینی، تصفیه آب جهت مصارف زمین‌های کشاورزی و گلخانه‌ها بسیار اهمیت پیدا کرده است. اکثر کارخانه‌ها سعی دارند با تصفیه فاضلاب به روش‌های مختلف بتوانند از آب تصفیه‌شده در آبیاری درختان و مزارع و یا ریختن به رودخانه‌ها و آب‌های سطحی مورد استفاده قرار بگیرد که این امر موجب بالا رفتن سطح فلزات سنگین و مواد سمی در موجودات زنده می‌شود (Kunvar et al, 2004).

با توجه به پیشرفت روزافزون در زمینه اندازه‌گیری دقیق غلظت یون‌های فلزی و چربی و شناخت تأثیرات منفی آن‌ها بر سلامت انسان در گذر زمان، مراجع قانون‌گذار استانداردهایی را به منظور تعیین حداکثر غلظت مجاز چربی و عناصر فلزی درون فاضلاب خروجی تدوین نمودند. وجود چربی و آهن در آب می‌تواند باعث بروز مشکلاتی گردد، لذا آژانس آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA, 2000) حد مجاز چربی و آهن موجود در پساب تصفیه‌شده را به ترتیب ۰ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر و سازمان استاندارد ملی ایران برای ورود پساب به محیط‌زیست و مصارف آبریان و ... حد مجاز چربی و آهن موجود در پساب را به ترتیب ۰ و ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر اعلام کرده‌اند. فاضلاب صنایع تولید فلزات اساسی دارای مقادیر قابل توجهی از فلزات سنگین از قبیل کروم، مس، روی، آهن، سرب، نیکل بوده و علاوه بر آن، دارای ترکیباتی از روغن گریس و نفت نیز می‌باشند (نشریه ۵۳۵). با وارد شدن فاضلاب چنین کارخانه‌های صنعتی به محیط‌زیست، بر کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی تأثیر گذاشته و سبب بالا رفتن غلظت آهن و چربی آب می‌شود و در بعضی موارد سلامت آبریان، گیاهان و در نهایت انسان را به خطر می‌اندازد. روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی از جمله روش‌هایی هستند که در زمینه پاک‌سازی انواع آلودگی‌ها از محیط‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این راستا می‌توان به عمل شناورسازی به عنوان یکی از فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی اشاره کرد (Metcalf and eddy, 2002).

با توجه به موارد گفته شده و اهمیت بالای اثرات منفی حضور چربی و آهن در محلول‌های آبی، تحقیق پیش رو بر مبنای استفاده از روش شناورسازی و اکسیداسیون، امکان استفاده از میناب هوا،

اکسیژن و اوزون جهت جداسازی چربی و آهن از محلول‌های آبی را مورد بررسی قرار داده و به بهینه‌سازی این فرآیند پرداخته است.

۳-۱ ضرورت انجام تحقیق

افزایش جمعیت جهان و گسترش صنعت سبب افزایش مصرف آب گردیده است. با توجه به محدودیت منابع آبی، محافظت و پاک‌سازی منابع آبی در برابر آلودگی‌ها امری ضروری است. چربی و آهن از آلاینده‌های خطرناکی هستند که به وسیله فعالیت‌های بشر می‌توانند وارد منابع آبی شوند و آن‌ها را آلوده کنند.

انواع مختلفی از قطرات روغن مانند روغن‌های روغن‌کاری، هیدروکربن‌های سبک و سنگین، چربی و موارد مشابه آن‌ها گاهی در غلظت‌های پایین هم می‌تواند سمی و خطرناک باشد. روغن‌ها معمولاً به دلیل داشتن ساختار غیرقطبی تقریباً در آب غیر محلولند ولی بسته به میزان انحلال‌پذیری و اندازه ذرات روغن در آب ممکن است به صورت محلول یا امولسیون وجود داشته باشد. کارخانه‌های فلزی نظیر کارخانه‌های تولید فولاد به دلیل استفاده فراوان از روغن و گریس در روغن‌کاری تجهیزات و ماشین‌آلات هیدرولیکی از بزرگ‌ترین صنایع آلوده‌کننده از نظر روغن و گریس محسوب می‌شوند. از مشکلات مربوط به وجود چربی در فاضلاب و پساب می‌توان به نکات زیر اشاره کرد: آلودگی‌های فیزیکی، افزایش کدورت، بالا رفتن بار آلودگی و رشد میکروب‌های بیماری‌زا در محیط آبی، انسداد و یا کاهش فضای آبروی مجاری فاضلاب در اثر سرد شدن و انجماد روغن‌ها و چسبیدن به جداره فاضلاب‌رو، مشکلات از لحاظ زیباشناختی فاضلاب، ایجاد خوردگی در بتن، کاهش راندمان تصفیه فاضلاب به روش‌های هوازی و بی‌هوازی و تداخل در امر تصفیه فاضلاب، ایجاد خطرات سلامتی، تهدید حیات آبزیان و آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی است (A.L et al, 2005, A.L et al, 2006، جاوید و همکاران، ۱۳۹۱).

آهن عنصری است با عدد اتمی ۲۶ و چگالی ۷۸۷۴ کیلوگرم بر مترمکعب که به مقدار زیادی در پوسته زمین در ترکیب‌های اکسیژن دیده می‌شود. در صورتی که میزان آهن در آب از حد مجاز ۰/۳ میلی‌گرم بر لیتر فراتر برود، در آبیاری باعث کاهش تحرک و حلالیت فسفر در خاک می‌شود و می‌تواند به اسیدی شدن خاک کمک کند، در نتیجه باعث کمبود فسفر در گیاه می‌شود و در صورت استفاده از پساب در آبی‌پروری موجب آسیب به آبزیان خواهد شد که البته این میزان کمتر از آسیب رساندن به گیاهان است. شایان ذکر است که آهن بالا برای گیاهانی که در خاک‌های با هوای کافی کشت می‌شوند، مسموم‌کننده نیست. در آبیاری‌های تحت فشار غلظت بالای آهن می‌تواند در قطره‌چکان‌ها گرفتگی ایجاد کند و در اثر آبیاری بارانی نیز ممکن است لکه‌های زشتی روی گیاهان، وسایل و ساختمان‌ها بگذارد (نشریه ۵۳۵).

با توجه به خطرات ناشی از وجود آهن و چربی درون آب برای محیط‌زیست و به منظور پاک‌سازی بهتر و موثرتر چربی و آهن می‌توان به شناورسازی، روش‌های گرانشی، تصفیه شیمیایی، انعقاد، روش‌های غشایی، تصفیه بیولوژیکی و ترکیبی از این روش‌ها اشاره کرد. از بین روش‌های ذکر شده فرآیند شناورسازی به دلیل افزایش قابلیت جداسازی، هزینه‌های عملیاتی کمتر مورد توجه بیشتری قرار گرفته است (Gu and Chiang, 1999، نشریه ۵۳۵).

با توجه به محدودیت منابع آب، اثرات سوء و ضرورت حذف عناصر سمی از آب، انجام پژوهش‌هایی به منظور حذف این آلاینده‌ها ضرورت پیدا می‌کند.

۴-۱ اهداف تحقیق

هدف کلی و جامع تحقیق حاضر «حذف چربی و فلزات سنگین (با تکیه بر آهن) از پساب با فناوری میناب» می‌باشد. از جمله اهداف جزئی مورد نظر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بررسی تاثیر پارامتر pH بر حذف چربی
- بررسی تاثیر پارامتر نوع گاز بر حذف چربی

- بررسی تاثیر پارامتر غلظت اولیه بر حذف چربی
- بررسی تاثیر پارامتر سائز حباب‌ها بر حذف چربی
- مقایسه عملکرد حذف چربی با میناب به همراه منعقد کننده و تنها فرآیند انعقاد
- بررسی خصوصیات ماده ته‌نشینی در حذف آهن با استفاده از نتایج SEM, XRD, XRF و جذب اتمی

۱-۵ روش تحقیق

تحقیق حاضر با روش زیر انجام می‌پذیرد:

- ۱- جمع‌آوری اطلاعات
- ۲- آماده‌سازی و تهیه مواد مورد استفاده در تحقیق
- ۳- طراحی آزمایش و انجام آنالیزهای مربوطه
- ۴- رسم جداول، نمودارها و گراف‌های لازم و تفسیر نتایج به‌دست‌آمده
- ۵- جمع‌بندی نتایج و اتمام پایان‌نامه و پیشنهادها جهت مطالعات آتی

۱-۶ ساختار پایان‌نامه

تحقیق زیر به صورت زیر سازمان‌بندی گردیده است:

۱- فصل اول: کلیات

در این قسمت از پایان‌نامه به بیان مسئله آلودگی چربی، آهن و مضرات آن‌ها، ضرورت انجام تحقیق، اهداف تحقیق و روند و ساختار کلی تحقیق حاضر اشاره گردیده است.

۲- فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

در این فصل به توضیحی مختصر در مورد دو آلاینده مورد بررسی، روش‌های مورد استفاده برای پاک‌سازی این آلاینده‌ها و توضیح روش مورد استفاده پرداخته شده است. همچنین مطالعات مشابه انجام گرفته پیرامون موضوع مدنظر نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۳- فصل سوم: مواد و روش‌ها

در این بخش مواد، دستگاه‌ها، روش‌های مورد استفاده جهت انجام آزمایش‌ها، مراحل انجام آن و آنالیز انجام گرفته شرح داده شد.

۴- فصل چهارم: نتایج و بحث

این قسمت از تحقیق حاضر به بررسی نتایج حاصل از آزمایش‌ها، ترسیم گراف‌ها و نمودارها، تجزیه و تحلیل فرآیندهای انجام شده و آنالیزهای انجام گرفته بر روی نمونه‌ها جهت بررسی تاثیر میناب بر غلظت چربی و آهن در آب اختصاص داده شده است.

۵- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این بخش جمع‌بندی کلی از نتایج حاصل از آزمایش‌ها انجام شده و پیشنهادهایی در ارتباط با تکمیل و توسعه تحقیق حاضر ارائه گردیده است.

فصل ۲ مروری بر تحقیقات پیشین

۲-۱ مقدمه

گام نخست در هر پژوهش کسب اطلاعات لازم، از طریق مطالعه و کاوش در تحقیقات پیشین می‌باشد. در این فصل ابتدا چربی و آهن به عنوان آلاینده، اثرات آن‌ها بر محیط‌زیست، روش‌های مختلف پاک‌سازی چربی و آهن و تعریفی از فناوری میناب پرداخته شده است.

۲-۲ آلودگی چربی

گسترش مداوم صنعت فرآوری هیدروکربن و استفاده گسترده از محصولات مرتبط با روغن در اکثر شاخه‌های صنعتی (صنایع اتومبیل، کارخانه‌های هواپیما، صنایع شیمیایی، ماشین‌آلات و ...)، تهدید آلودگی روغن در محیط‌زیست را افزایش داده است. غلظت روغن در پساب از منابع مختلف صنعتی بسیار متفاوت است (Nemerow, 1978). چربی‌ها، روغن، و گریس که در مهندسی فاضلاب FOG¹ نیز نامیده می‌شوند، می‌توانند تأثیرات منفی بر روی دستگاه‌های تصفیه فاضلاب داشته باشند. ترکیبی از چهار حالت برای روغن وجود دارد؛ روغن محلول در آب، روغن امولسیون شیمیایی، روغن آزاد که مایعی است که بر سطح آب شناور می‌شود و روغنی که به صورت مکانیکی امولسیون شده است (Pawlak et al, 2008). اکثر فاضلاب‌های صنعتی حاوی امولسیون‌های روغن-آب هستند. قطرات روغن امولسیون شده با قطر کمتر از میکرومتر به دلیل نیروهای دافعه الکترواستاتیک که دارند، نمی‌توانند خودبه‌خود به هم بپیوندند و قطره‌های بزرگ‌تری تشکیل دهند. این موضوع باعث می‌شود جداسازی روغن به روش ساده گرانشی فرآیندی دشوار و زمان‌بر باشد (Becher, 1983).

۲-۲-۱ روش‌های حذف چربی

پیامدهای مخرب زیست‌محیطی و زیان‌های اقتصادی بزرگی که در اثر آلودگی‌های چربی به وجود آمده، محققین را در جهت یافتن راهکارهایی برای جداسازی چربی از فاضلاب متمرکز نموده است. تکنیک‌های متعددی جهت جداسازی چربی از فاضلاب مثل شناورسازی، تصفیه شیمیایی، غشایی،

¹ Fat, Oil, and Grease

بیولوژیکی و ترکیبی از این تکنیک‌ها استفاده شده است. از لحاظ فنی، برخی از روش‌های جداسازی توسط قطر بحرانی قطرات روغن (ذرات) تصفیه می‌شوند. برای مثال، جداسازی گرانشی برای ذرات بزرگ‌تر از ۶۰ میکرومتر مناسب است. عملیات فیلتراسیون نیاز به اندازه ذرات ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر دارد، در حالی که ذرات روغنی کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر تنها با تصفیه شیمیایی، تصفیه جذبی و تصفیه بیولوژیکی قابل تصفیه هستند؛ اما از نظر اقتصادی، اغلب جایگزین‌های شناورسازی با هوا، هنگامی که برای تصفیه حجم زیادی از فاضلاب به کار می‌روند، مقرون به صرفه نیستند. به همین دلیل استفاده از تکنیک شناورسازی، به ویژه شناورسازی هوای محلول برای حذف روغن امولسیون شده از آب، به دلیل افزایش درصد جداسازی و هزینه‌های عملیاتی کمتر، توجه بیشتری را به خود جلب کرده است (Gu and Chiang, 1999; Angelidou et al, 1977).

حذف چربی به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این ترکیبات و شرایط محیطی و بهره‌برداری تصفیه‌خانه بستگی دارد. برای مثال فرآیندهای بی‌هوازی مناسب برای حذف چربی از فاضلاب لبنی نیست، بنابراین از راکتورهای هوازی استفاده می‌شود اما نیاز به انرژی زیاد توسط روش‌های هوازی اشکال اصلی این فرآیندها است. به منظور کاهش مصرف انرژی در تصفیه هوازی، فرآیندهای تصفیه فیزیکی و شیمیایی ممکن است با تصفیه هوازی ترکیب شوند (Kushwaha and Mall, 2011).

تحقیقات بسیاری جهت جداسازی چربی از فاضلاب انجام شده که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

جدول ۱-۲ اعدادی از مطالعات انجام شده بر حذف چربی

سال انتشار	توضیحات	روش تصفیه	محققان
1993	این مطالعه برای کنترل متغیرهای تاثیرگذار بر فرآیند شناورسازی روغن از آب آغاز شد. با استفاده از نتیجه آزمایش، معادلات همبستگی که می‌تواند پارامترهای مدل را تخمین بزند، به دست آمده است. داده‌های تجربی نشان می‌دهد که مدل جنبشی	شناورسازی	Zheng and Zhao

	با جداسازی روغن و آب در شناورسازی هوای القایی تناسب خوبی دارد. از این مدل می‌توان برای پیش‌بینی میزان حذف روغن و ارزیابی مواد شیمیایی مناسب استفاده کرد.		
2000	محققان به تصفیه امولسیون‌های روغن در آب حاوی n اکتان (به عنوان فاضلاب شبیه‌سازی شده استفاده می‌شود) با استفاده از شناورسازی با هوای محلول و انعقاد پرداختند. اثر چندین پارامتر مثل pH، غلظت مواد افزودنی شیمیایی برای انعقاد و نسبت حذف با اندازه‌گیری زتا پتانسیل مورد بررسی قرار گرفت. بیش از ۹۵ درصد روغن امولسیون شده با شرایط بهینه آزمایش (pH برابر ۶، Fe^{3+} با غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم بر لیتر و اولئات سدیم با غلظت ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر) حذف شد.	شناورسازی و انعقاد	Zouboulis and Avranas
2006	غلظت بالای روغن و گریس در فاضلاب، تصفیه بیولوژیکی را مختل می‌کند؛ بنابراین استفاده از یک پیش‌تصفیه برای هیدرولیز و حل شدن لیپیدها ممکن است تصفیه بیولوژیکی فاضلاب‌های چرب را بهبود بخشد، روند را تسریع کرده و کارایی زمان را بهبود بخشد. تخریب لیپیدها توسط آنزیم‌ها افزایش راندمان حذف مواد آلی را فراهم می‌کند که منجر به دستیابی به پساب با کیفیت بالا در مرحله تصفیه بیولوژیکی بعدی می‌شود. در نتیجه، در حال حاضر طیف گسترده‌ای از تحقیقات علمی در حال انجام در زمینه توسعه فرایندهای هیدرولیز آنزیمی برای مقدمه تصفیه بیولوژیکی سنتی وجود دارد.	هیدرولیز آنزیمی	Cammarota and Freire

2006	تحقیقات نشان می‌دهد که حذف روغن، چربی و گریس با روش‌های غشایی بیشتر از لجن فعال معمولی می‌باشد. حذف این ترکیبات توسط روش‌های غشایی بیش از ۹۰ درصد می‌باشد.	غشایی	Kurian and Nakhla
2006	فناوری تابش یونیزه برای تصفیه فاضلاب شهری ممکن است یک گزینه برای کاهش هزینه‌های تصفیه باشد. به طور کلی، فناوری تابش می‌تواند به طور موثری خصوصیات فاضلاب از جمله غلظت FOG را کاهش دهد.	تابش گاما	Al-Ani and Al-Khalidy
2008	روش‌های جذب سطحی با استفاده از جاذب‌های مختلف مانند رسی‌های معدنی برای حذف روغن و چربی موثر است.	جذب	Pawlak et al
2008	راندمان حذف روغن و چربی با استفاده از کلروفریک همراه با پلیمر کاتیونی به میزان بیشتر از ۹۷ درصد امکان‌پذیر است.	انعقاد	Kangala and Krystyna
2009	این تحقیق اثر pH را با تنظیم اسیدها و استفاده از کمک منعقد کننده در ترکیب با کنترل pH بر چربی و حذف روغن در فاضلاب بررسی کرد. فاضلابی که به صورت امولسیون می‌باشد با فرآیند معمولی قابل تصفیه نیست. روش عملی برای حذف روغن و گریس از فاضلاب، استفاده از کلرید فریک با پلیمر کاتیونی و pH کنترل شده بود. مواد آلی آلوده از نظر COD و راندمان‌های حذف روغن و گریس در این مطالعه تا ۹۷٪ می‌رسد.	انعقاد و تنظیم pH	Sawain et al
2011	شناورسازی با هوای محلول (DAF) به‌تنهایی و حتی با اسیدی شدن نمی‌تواند روغن و گریس را از فاضلاب بیودیزل جدا کنند. تصفیه فاضلاب بیودیزل با اسیدی شدن قبل از انعقاد آلوم باعث	شناورسازی و انعقاد	Rattanapam et al

	می‌شود غلظت آلودگی ۶۰-۹۰٪ در مقایسه با تصفیه بدون اسیدی شدن کاهش یابد. علاوه بر این، راندمان حذف گریس و روغن از فاضلاب بیودیزل توسط DAF با آلودگی و اسیدی سازی ۸۵-۹۵ بود. در نتیجه فرآیندهای پیش تصفیه نظیر اضافه کردن مواد شیمیایی و شناورسازی با هوای محلول (DAF)، غلظت روغن و چربی را قبل از تصفیه بیولوژیکی به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.		
2012	روغن و چربی به میزان قابل توجهی با استفاده از آنزیم لیپاز حذف می‌شود. نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان می‌دهد که استفاده از یک فرآیند پیش تصفیه ممکن است تصفیه بیولوژیکی فاضلاب‌های چرب را بهبود بخشد، روند را تسریع کرده و زمان هضم بی‌هوازی را کاهش دهد؛ بنابراین، بدیهی است که استفاده از فناوری ترکیبی (تصفیه آنزیمی - بیولوژیکی) می‌تواند به عنوان گزینه‌ای دیگر برای تصفیه فاضلاب پرچرب استفاده شود.	آنزیمی	Qamsari et al
2011	با ادغام روش فیزیکی با لجن فعال از فرار چربی و روغن جلوگیری کرده و منجر به حذف روغن و چربی به میزان ۷۰ تا ۹۵ درصد می‌شود. در این تحقیق از مواد هیومیک زغال سنگ نارس به عنوان تصفیه فیزیکی قبل از تصفیه بیولوژیکی استفاده شده است.	فیزیکی با بیولوژیکی	Hunnemeder
2012	با افزایش سیستم DAF قبل از UASB می‌توان راندمان حذف روغن و چربی را افزایش داد.	شناورسازی	Meesap et al
2019	چربی، روغن و گریس (FOG) نامحلول بر اساس جداسازی ثقلی حذف می‌شود که در این تحقیق جهت جداسازی FOG از روغن	گرانشی	Al-Gheethi

	جداسازی گرانشی به عنوان پیش تصفیه از مبدا استفاده کردند.		
--	--	--	--

۲-۲-۲ تاثیر چربی بر محیط

از مشکلات مربوط به وجود چربی در فاضلاب و پساب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- انسداد و یا کاهش فضای آبروی مجاری فاضلاب در اثر سرد شدن و انجماد روغن‌ها و چسبیدن به جداره فاضلاب‌رو که باعث ریختن فاضلاب و سرریز چاله می‌شود. شهرها سالانه میلیاردها دلار صرف جدا کردن یا تعویض لوله‌های مسدود شده چربی، تعمیر ایستگاه‌های پمپاژ و پاک‌سازی نشت فاضلاب‌ها می‌کنند (Pawlak et al, 2008).
- تبادل اکسیژن از هوا به فاضلاب و از فاز گازی به فاز مایع در سطح حوضچه‌ها کاهش می‌یابد.
- اگر روغن و چربی به مقدار زیاد وجود داشته باشد؛ به دلیل کاهش عمق نفوذ موثر نور خورشید به منظور انجام فعالیت‌های میکروارگانیسم‌ها و سنتز سلولی، در روند تصفیه بیولوژیکی تداخل ایجاد می‌شود و منجر به کاهش کارایی تصفیه فاضلاب شود (Williams et al, 2012).
- تهدید حیات آبزیان و آلودگی منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی (عبداللهی و همکاران، ۱۳۹۴).
- همچنین محتوای بالای چربی و روغن در داخل لجن‌های ثانویه گلوله‌ای ایجاد می‌کند که مانع رسوب و تولید بوی نامطبوع می‌شود (Eckenfelder, 2000).

۲-۳- آلودگی آهن

آهن دومین فلز بعد از آلومینیوم و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است (Cox, 1989, wedepohl, 1995). آهن آن‌قدر مهم است که بدون آن عملاً تمام زندگی متوقف خواهد شد. همه موجودات زنده برای زنده ماندن و رشد به آهن احتیاج دارند (Sanchez et al, 2015). هنگامی که

زندگی برای اولین بار حدود ۳۵۰۰ میلیون سال پیش آغاز شد، آهن محلول (Fe^{2+}) در غلظت‌های بالایی در دریا وجود داشته و در دسترس اولین ارگانیسم‌های زنده قرار گرفته است. امروزه آهن در آب به طور آهن نامحلول (Fe^{3+}) وجود دارد (Holland, 2006). آهن به طور طبیعی در آب به صورت آهن محلول (Fe^{2+}) یا مخلوطی از Fe^{3+} وجود دارد که منشا آن‌ها صنعت آهن و فولاد، معدن و خوردگی فلزات می‌تواند باشد. (Choo et al, 2005).

استفاده از آهن در موارد مختلف از جمله: استفاده در داروها، کودهای کشاورزی، به عنوان منعقد کننده در تصفیه‌خانه‌ها، خورده شدن منابع ولوله‌های انتقال آب باعث افزایش آهن موجود در آب و فاضلاب می‌شود و با ورود به محیط‌زیست باعث ایجاد مشکلاتی می‌گردد (اخوان و کلاه چی، ۱۳۹۶).

۲-۳-۱ روش‌های حذف آهن از فاضلاب

به منظور حذف آهن از محلول‌های آبی روش‌های مختلفی وجود دارد، در ادامه به چند نمونه از این روش‌ها اشاره می‌شود:

ترسیب شیمیایی

ترسیب شیمیایی، مؤثرترین و به مراتب پرکاربردترین فرآیند است که در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، به دلیل این‌که نسبتاً ساده و کم‌هزینه است. در فرآیند رسوب‌دهی واکنش شیمیایی با یون‌های فلزات سنگین انجام و رسوبات غیرقابل حل تشکیل می‌شود. آب تصفیه‌شده به این روش برای تخلیه به محیط و یا استفاده مجدد مناسب است (Fu and Wang, 2011). ترسیب شیمیایی به مقدار زیادی مواد شیمیایی نیاز دارد تا فلزات را به میزان قابل توجهی کاهش دهد، همچنین باعث تولید لجن بیش از حد می‌شود و در پی آن تجمع رسوبات فلزی و اثرات زیست‌محیطی را به همراه دارد (Hamidi et al, 2008).

تنظیم pH مهم‌ترین پارامتر است که ترسیب شیمیایی باعث حذف قابل توجه فلزات سنگین می‌شود.

تبادل یونی

تبادل یونی روش دیگری است که برای حذف فلزات سنگین از پساب استفاده می‌شود. مبدل یونی یک ماده جامد است که قادر به جایگزین کردن یون‌های نامطلوب در محلول با همان مقدار از یون مطلوب با بار الکتریکی مشابه می‌باشد. از یکی از معایب این روش این است که در غلظت بالای فلزات، رزین‌های یونی سریع تخلیه می‌شوند. علاوه بر این، تبادل یونی هزینه بالایی دارد و نسبت به pH محلول بسیار حساس است (Kurniawan et al, 2006).

الکتروشیمیایی

بازیافت الکترولیتی یکی از فناوری‌های رایج است که برای کاهش فلزات از آب استفاده می‌شود. در این فرآیند یون‌های فلزی با بار مثبت به کاتدهای دارای بار منفی می‌چسبند و رسوب فلزی تشکیل می‌شود که قابل برداشت است. یک نقطه ضعف قابل توجه این روش خوردگی می‌باشد که در این صورت الکترودها اغلب باید تعویض شوند (Coman et al, 2013).

انعقاد

انعقاد غیر متحرک کردن کلوئیدها توسط خنثی کردن نیروها می‌باشد و زمانی اتفاق می‌افتد که یک ماده شیمیایی یا منعقد کننده به آب اضافه شود. ماده منعقد کننده مواد کلوئیدی موجود در آب را به هم متصل می‌کند و به شکل توده‌های کوچک درمی‌آورد که فلاک نامیده می‌شوند (Lakherwal, 2014).

جذب

این روش قابلیت تصفیه حجم زیادی از روان آب‌های آلوده را خواهد داشت. علاوه بر این به دلیل این که جذب سطحی گاهی اوقات برگشت پذیر است، جاذب‌ها می‌توانند احیا شوند. جذب اساساً یک فرآیند انتقال جرم است که توسط آن ماده از فاز مایع به سطح یک جامد منتقل می‌شود و با واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی محدود می‌گردد (Tripathi and Ranjan, 2015).

فرآیند غشایی (اولترافیلتراسیون)

اولترافیلتراسیون (UF)^۱ یک نوع غشا است که در آن فشار هیدرو استاتیک مایع در مقابل یک غشاء نیمه تراوا از یک لایه نازک که قادر به جدا کردن مواد تا زمانی که یک نیروی محرکه در سراسر غشاء وجود دارد می‌باشد. اولترافیلتراسیون اصولاً یک روش جداکننده برای آب با فشار پایین است. فیلترهای UF معمولاً در فشارهای مختلف بین ۰.۵ تا ۱ بار عمل می‌کنند و دارای منافذی بین ۰/۱ تا ۱ میکرون می‌باشند؛ بنابراین ممبرین‌های UF از عبور ذرات بزرگ‌تر از تقریباً ۰/۱ تا ۱ میکرون جلوگیری می‌کند (Landaburu-Aguirre et al, 2009).

Choo و همکاران حذف سطوح مختلف آهن از آب دریاچه به همراه دوزهای کلرین با استفاده از دستگاه‌های مختلف UF مورد بررسی قرار داده‌اند. برای آب حاوی ۱ میلی‌گرم بر لیتر Fe، بدون اضافه شدن کلرین، میزان قابل توجهی از آهن به خاطر اکسیداسیون و تبدیل Fe^{2+} به Fe^{3+} با اکسیژن حل شده حذف شد (Choo et al, 2005).

نانولوله‌های کربنی (CNTs)^۲ فیلترهایی هستند که در مقایسه با فیلترهای تجاری که در حال حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرند از مزیت بالقوه‌ای برخوردارند، زیرا وزن آن‌ها بسیار کم است و برای کار به برق نیاز ندارند. Elsehly و همکاران اثر پارامترهای مختلفی از جمله غلظت آهن در محلول آبی و pH محلول آبی بر حذف این آهن با روش فیلتر CNT را آزمایش کردند. بر اساس این نتایج، راندمان حذف آهن برای غلظت ۵۰ mg/L به ۵۲ درصد می‌رسد و افزایش قابل توجهی در راندمان حذف در pH = 8 برای آهن وجود داشت. در این آزمایش‌ها مشخص شد که فیلترهایی بر پایه CNT در حذف آهن از محلول‌های آبی کارآمدتر هستند (Elsehly et al, 2016).

¹ Ultra Filtration

² Carbon nanotubes

روش‌های جدید

جذب سطحی فلزات به وسیله نانو ذرات یک فناوری جدید است که به دلیل سطح ویژه بالا، مکان‌های فعال بیشتر، راندمان جذب بالا، واکنش‌پذیری زیاد و توانایی نانو ذرات در پراکنده شدن در محلول آبی توانایی بالاتری در میزان حذف فلزات سنگین نسبت به همان ماده در اندازه معمولی دارد (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۲). همچنین نانوحباب‌ها در مقایسه با حباب‌های بزرگ‌تر، دارای ظرفیت حمل بار بالایی هستند و بنابراین سرعت انتقال زیادی دارند. نانوحباب‌ها به دلیل سطح دارای بار منفی و حلالیت زیاد گاز، ماندگاری طولانی‌مدت در محلول آبی دارند که حذف آلاینده بیشتر را به دنبال دارد (Radhika et al, 2016).

در بخش ۲-۴ بیشتر به فناوری جدید مذکور پرداخته می‌شود.

۲-۳-۲ تاثیر آهن بر محیط

آهن یک عنصر اساسی برای موجودات زنده است زیرا در طیف گسترده‌ای از فرآیندهای متابولیک از جمله حمل اکسیژن در خون، سنتز DNA و انتقال سیگنال‌های الکترونیک در بدن شرکت می‌کند. به دلیل تشکیل رادیکال‌های آزاد، غلظت آهن باید در بافته‌ای بدن به دقت تنظیم شود؛ زیرا در مقادیر بیش از حد می‌تواند منجر به آسیب بافت شود (Abbaspour et al, 2014). غلظت بیش از حد آهن در بدن باعث ایجاد عفونت، کاهش فعالیت سلول‌های کشنده طبیعی و اختلال در سیستم ایمنی بدن می‌شود (Porto and Sousa, 2007).

وجود آهن زیاد در خاک می‌تواند منجر به سمیت مستقیم یا غیرمستقیم در گیاهان شود. سمیت مستقیم آهن هنگامی رخ می‌دهد که جذب بیش از حد آهن، به بافته‌ای سلول آسیب برساند و منجر به کاهش رشد گیاه و صدمه به شاخ و برگ بشود. در حالی که سمیت غیرمستقیم آهن زمانی اتفاق می‌افتد که روی ریشه‌ها، یک لایه آهنی تشکیل و مانع ورود آهن و سایر مواد مغذی از طریق ریشه شود (Saaltink et al, 2017).

معمولاً آهن دلیل بسیاری از مشکلات کیفیت آب است؛ زیرا ظاهر و طعم آب را تغییر می‌دهد. همچنین می‌تواند در اثر خوردگی لوله‌های فاضلاب توسط میکروارگانیزم‌ها و باکتری‌های آهن باشد. باکتری‌های آهن باعث ایجاد بو و خرابی تجهیزات لوله‌کشی می‌شود. غلظت‌های بالاتر آهن در آب باعث خراب شدن کیفیت آب و کاهش سطح مقطع جریان لوله می‌شود (Choo et al, 2005).

۴-۲ بررسی فناوری میناب

به دلیل هزینه بالا و کیفیت پایین روش‌های حذف فلزات سنگین امروزه نیاز به روش‌های جدید و بهینه برای این امر بیشتر احساس می‌شود. با توسعه فناوری نانو، به صورت فزاینده‌ای برای بسیاری از کاربردهای پزشکی و سایر صنعت‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. با اختراع نانوحباب‌ها کمک بزرگی به صنعت شد که در ادامه به معرفی میکرو نانوحباب‌ها پرداخته می‌شود. از جمله محصولات کمتر شناخته شده نانو مقیاس، نانوحباب‌ها هستند که در ادامه به معرفی آن‌ها پرداخته می‌شود.

هرچند در جامعه علمی تعریف مشخصی برای نانوحباب وجود ندارد، اما معمولاً در ادبیات فنی حباب‌هایی با قطر کمتر از $50\ \mu\text{m}$ را میکرو حباب (MB)^۱ و با قطر کمتر از $200\ \text{nm}$ را نانوحباب (NB)^۲ می‌گویند. از آنجا که در روش‌های تولید امکان جداسازی این دو از هم نیست، به ترکیب این دو میکرو-نانوحباب یا به طور مخفف میناب می‌گویند. میناب تکنولوژی جدیدی است که در آن می‌توان گازهای مختلف (اکسیژن، هوا، ازن و ...) را به صورت حباب‌هایی با قطر میکرو و نانومتری وارد محلول‌های آبی کرد که پتانسیل بالایی در پاک‌سازی محیط‌زیست دارند (Agrawal et al, 2011). از خصوصیات میناب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

سطح ویژه بالا

منظور از سطح ویژه نسبت سطح کل به حجم می‌باشد. با فرض کروی بودن حباب‌ها، سطح ویژه از رابطه زیر به دست می‌آید:

^۱ Microbubble

^۲ Nanobubble

$$a = \frac{A}{V} = \frac{4\pi r^2}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{\pi d_b^2}{\frac{1}{6}\pi d_b^3} = \frac{6}{d_b} \quad (1-2)$$

a: سطح ویژه

A: مساحت حباب

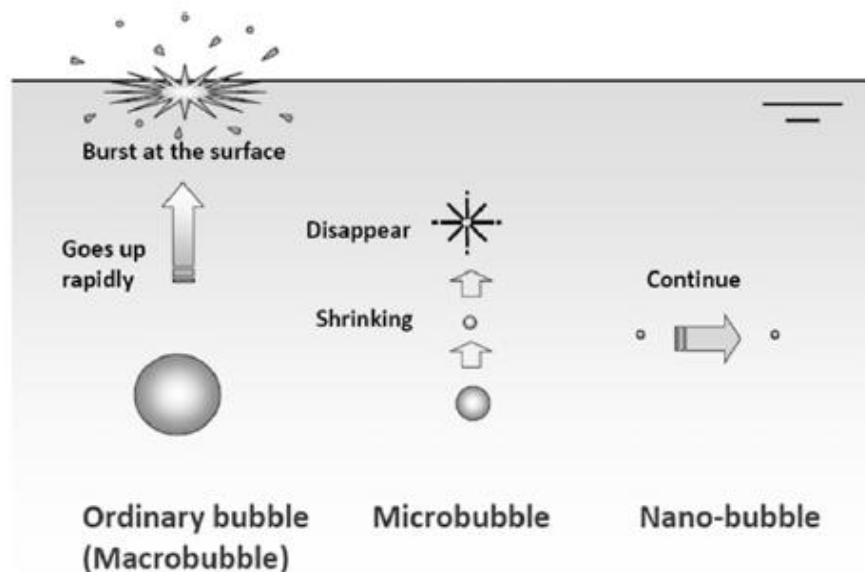
V: حجم حباب

d_b : قطر حباب

با توجه به رابطه ۱-۲ سطح ویژه با قطر حباب رابطه عکس دارد، با کاهش قطر حباب سطح ویژه افزایش می‌یابد؛ بنابراین میکرو-نانوحباب‌ها با داشتن قطر کم دارای سطح ویژه بالایی هستند (Li et al, 2013).

ایستایی بالا و آهسته بالا آمدن

میکرو حباب‌ها و نانوحباب‌ها با توجه به رفتار منحصربه‌فردی که دارند کاربردهای متفاوتی در تصفیه آب خواهند داشت. با توجه به شکل ۱-۲ یک حباب معمولی (ماکرو حباب) مسیری به سمت بالا را با سرعت زیاد طی می‌کند و پس از رسیدن به سطح آب متلاشی می‌شود. یک میکرو حباب نیز مسیری به سمت بالا را طی می‌کند با این تفاوت که معمولاً در داخل آب متلاشی می‌شود و یک نانوحباب می‌تواند درون آب در جهت‌های مختلفی حرکت کند و سطح گسترده‌ای را پوشش دهد و برای مدت زمان طولانی مثلاً چند ماه پایدار بماند و به تدریج حباب کوچک شود تا محو گردد (Agrawal et al, 2011).



شکل ۱-۲ تفاوت رفتار ماکرو، میکرو و نانوحباب‌ها

اندازه کوچک

محققین بر اساس نوع کاربرد میناب اندازه‌های متفاوتی تعریف کرده‌اند. به عنوان مثال در مطالعات فیزیولوژیکی موجودات زنده، میکرو حباب به حباب‌هایی با اندازه ۴۰-۱۰ میکرومتر و در مهندسی مکانیک به حباب‌هایی با قطر ۵۰۰-۱۰۰۰ میکرومتر اطلاق می‌شود. میناب به دلیل اندازه کوچک حباب‌ها در مقایسه با میلی حباب‌ها ویژگی‌های متفاوتی دارند (Li and Tsuge, 2006).

افزایش فشار داخلی و انحلال زیاد گازها

طبق رابطه ۲-۲ و ۳-۲ با کاهش قطر حباب، فشار داخلی حباب افزایش می‌یابد و با افزایش فشار داخلی، انحلال‌پذیری نانوحباب‌ها در آب افزایش می‌یابد. با افزایش انحلال گازها در آب، نرخ کوچک شدن میکرو حباب‌ها نسبت به ماکرو حباب‌ها بیشتر است (Tsuge, 2014).

$$\Delta P = 4\sigma/d \quad (2-2)$$

$$N = k_L A \Delta P / H \quad (3-2)$$

σ : کشش سطحی

d : قطر حباب

ΔP : اختلاف فشار داخلی

N : نرخ انحلال گاز در آب

k_L : ضریب انتقال جرم مایع

H : ضریب ثابت هنری

A : مساحت سطح

بار سطحی منفی

بار سطحی هر میکرو حباب با توجه به سرعت حرکت آن و مقدار پتانسیل زتا تعیین می‌گردد. در حقیقت به علت ایستایی بالای میکرو حباب‌ها مقدار پتانسیل زتای آن‌ها را می‌توان به راحتی اندازه‌گیری کرد؛ بنابراین می‌توان گفت که میکرو حباب‌ها در محدوده وسیعی از pH بار منفی دارند و قسمتی از ثبات نانوحباب‌ها به بار الکتریکی سطح حباب مربوط می‌شود (Takahashi, 2005).

افزایش اکسیژن محلول در آب

در حضور میناب، میزان اکسیژن محلول در آب به طور چشمگیری افزایش می‌یابد. به علت تاثیر اکسیژن محلول بر فعالیت‌های بیولوژیکی و مواد آلی، میناب می‌تواند باعث بهبود تصفیه بیولوژیکی هوازی شوند (Tsuge, 2014).

تولید رادیکال‌های آزاد

اندازه میکرو حباب‌ها به علت انحلال گازهای درونی در آب و ایستایی بالا به تدریج کاهش می‌یابد. زمانی که میکرو حباب‌ها در میانه راه متلاشی‌شده منجر به تولید نانوحباب‌ها و رادیکال‌های آزاد می‌شوند که به علت واکنش‌پذیری بالا رادیکال‌ها به عنوان ضد باکتری و ضد بو مورد استفاده قرار می‌گیرند (Takahashi, 2009).

۲-۴-۱ کاربرد میناب

با توجه به خصوصیات ذکر شده محققین از میناب در زمینه‌های مختلف از جمله گندزدایی آب (Li and Tsuge, 2006)، پاک‌سازی سطح جامدات (Wu et al, 2008) و تصفیه پساب‌ها (Yamasaki et al, 2009) استفاده کردند. در ادامه به چندین تحقیق که از فناوری میناب استفاده شده، به تفصیل پرداخته می‌شود.

Gotoh و همکاران در ۲۰۰۶ از فرآیند شناورسازی با میکرو حباب‌ها برای حذف نفت از خاک استفاده کردند. نتایج این تحقیق، حذف ۷۰ تا ۸۰ درصدی نفت بود. این امر به دلیل ویژگی‌های فوق‌العاده جذب فیزیکی و سرعت بالا آمدن آهسته میکرو حباب‌ها گزارش شد (Gotoh et al, 2006).

محققین در ۲۰۱۵، تاثیر فرآیند اوزون زنی به کمک میکرو حباب در تصفیه فاضلاب تولید شده در کارخانه تولیدکننده الیاف اکرولیک مورد بررسی قرار گرفت. محققین در این پژوهش به بررسی فرآیند اوزون زنی به کمک میکرو حباب در مقایسه با اوزون زنی توسط حباب‌های ماکرو پرداختند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که اثربخشی حذف COD فاضلاب در میکرو حباب اوزون ۲۵٪ بیشتر از ماکرو حباب اوزون بوده است که این امر به دلیل حلالیت بالاتر اوزون، تولید بیشتر رادیکال‌های هیدروکسید و زتا پتانسیل نسبتاً بالای میکرو حباب‌ها است. همچنین تجزیه بیولوژیکی فاضلاب با میکرو حباب اوزون تا اندازه زیادی افزایش یافته است که دلیل آن، تجزیه ترکیبات آلی مقاوم است (Zheng et al, 2015).

چو^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۸ طی پژوهشی از میکرو حباب اوزون برای تصفیه فاضلاب نساجی استفاده کردند. آن‌ها بیان کردند که استفاده از میکرو حباب‌ها حذف رنگ و COD بیشتری نسبت به حباب‌های معمولی دارد. ترکیبی از فرآیند شناورسازی هوا و انعقاد یک روش مؤثر برای تصفیه فاضلاب رنگرزی است. اندازه حباب، یکی از فاکتورها در شناورسازی است. محققین در این پژوهش از PAC به عنوان منعقد کننده استفاده کردند و میزان کاهش COD و رنگ را در ۲ حالت فرآیند شناورسازی انعقاد میکرو حباب و شناورسازی و انعقاد معمولی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که زمان مورد نیاز برای حذف ۸۰ درصد رنگ توسط میکرو حباب و حباب معمولی اوزون به ترتیب ۱۴۰ و ۲۸۰ دقیقه است. همچنین میکرو حباب اوزون توانست بیش از ۲۰ درصد از COD پساب نساجی را حذف کند (Chu et al, 2008).

¹ Chu

تصفیه فاضلاب صنعتی به وسیله ترکیب فرآیند کاویتاسیون هیدرودینامیک و فرآیند فنتون پیشرفته مورد بررسی قرار گرفت. آن‌ها به حذف ۶۰ درصدی TOC از نمونه‌های مورد آزمایش رسیدند. همچنین بیان کردند که ترکیب کاویتاسیون هیدرودینامیکی با فرآیند فنتون پیشرفته، در مرحله پیش‌تصفیه در تصفیه بیولوژی بسیار مؤثر و کارا است (Chakinala, 2008).

Li و همکاران در سال ۲۰۰۹ از تکنولوژی فروپاشی میکرو حباب برای تصفیه فاضلاب حاوی فنول استفاده شد. فنول از فراوان‌ترین آلاینده‌ها در فاضلاب صنعتی کارخانه‌های شیمیایی، رنگریزی، نساجی و آفت‌کش‌ها است. محققین در این تحقیق توانستند حدود ۶۰ درصد از فنول را در مدت زمان ۲ ساعت توسط میکرو حباب هوا کاهش دهند. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد هنگامی که pH محلول از ۴ به ۲ کاهش یافت، نرخ کاهش فنول تا اندازه زیادی افزایش یافته است. استفاده از میکرو حباب اکسیژن در مقایسه با میکرو حباب هوا کاهش بیشتر فنول را در پی داشته است (Li et al, 2009).

کاواهارا^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۲ به بررسی اثر هم‌زمان میکرو حباب‌ها و باکتری‌های هوازی در تصفیه آب آلوده مصنوعی پرداختند. محققین مولد میکرو حباب را با ماکرو حباب‌ساز هوا مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که نرخ انتقال اکسیژن در مولد میکرو حباب به صورت قابل ملاحظه‌ای بیشتر از ماکرو حباب‌ساز هوا است. به طوری که ضریب انتقال جرم حجمی برای مولد میکرو حباب ۸ برابر بیشتر نسبت به ماکرو حباب‌ساز هوا به دست آمد. برای تصفیه آب نیز نرخ کاهش اکسیژن خواهی بیولوژیک، اکسیژن خواهی شیمیایی و جامدات معلق در مولد میکرو حباب بسیار سریع‌تر بود. دست آورد دیگر این محققان کاهش ۶۰ درصد توان مصرفی برای تصفیه آب آلوده با استفاده هم‌زمان باکتری‌های هوازی و میکرو حباب می‌باشد (Kawahara et al, 2012).

¹ Kawahara

جیگنش کومار^۱ در سال ۲۰۱۵، اثر کاویتاسیون هیدرودینامیکی بر تصفیه فاضلاب کارخانه داروسازی را مورد بررسی قرار داد. وی پارامتر COD را برای بررسی تاثیر این روش در تصفیه فاضلاب اندازه گیری کرد. برای دست یافتن به زمان بهینه، یک مجموعه آزمایش در فواصل زمانی مشخص در بازه ۱۵۰ - ۰ دقیقه انجام داد. طبق نتایج بیشترین راندمان حذف COD، 80.36 درصد و زمان بهینه آزمایش ۹۰ دقیقه به دست آمد (Jigneshkumar, 2015).

¹ Jigneshkumar

فصل ۳ مواد و روش ها

۳-۱ مقدمه

در این فصل به معرفی مواد مورد استفاده در آزمایش‌ها، پارامترهای مورد بررسی و روش اندازه‌گیری آن‌ها، آماده‌سازی نمونه‌ها، مراحل بهینه‌سازی پارامترهای مورد نظر و شرح آنالیزهای انجام شده بر روی نمونه‌ها پرداخته شده است.

۳-۲ مواد

➤ روغن مورد استفاده که ترکیبی از چند روغن هیدرولیکی و روان کاری (بهران ۴۶، بردبار ۶۸، بردبار ۱۰۰، بردبار ۱۵۰، بردبار ۲۲۰، بردبار ۳۲۰، بردبار ۴۶۰ و بهران آذرخش ویژه ۱۰) در مخزن شماره ۳ فاز نورد کارخانه فولاد اسفراین بود. این روغن زرد تیره و چگالی آن در دمای محیط ۸۶۶/۱۳ گرم بر لیتر است.

➤ کلراید آهن (III) ظرفیتی به شکل پودر خشک با فرمول مولکولی FeCl_3 به شدت جاذب رطوبت است. این نوع کلرید آهن به دلیل جذب رطوبت ممکن است به شکل کلوخه مشاهده شود. برای مشابه‌سازی با شرایط و محیط غیر آزمایشگاهی و صرفه اقتصادی، از نمونه تجاری آن استفاده شد.

➤ میناب توسط دستگاه مولد هیدرودینامیکی میناب به شماره ثبت اختراع ۸۳۹۹۸ در آزمایشگاه تحقیقاتی نانو سیالات در محیط‌های متخلخل دانشگاه صنعتی شاهرود تهیه گردید. نتایج تست DLS^۱ بر روی نمونه آب تولید شده از دستگاه تولید میناب طبق جدول ۳-۱ می باشد.

جدول ۳-۱ مشخصات آب حاوی میناب

ضریب انتشار ($\mu\text{m}^2/\text{s}$)	طول موج لیزر (nm)	قطر هیدرودینامیکی حباب (nm)
۱/۲	۶۵۸	۴۱۸/۶

^۱ Dynamic light scattering

- منعقد کننده PAC^۱ ($Al_2(OH)_nCl_6$) و آلوم^۲ ($Al_2(SO_4)_3$) تجاری
- کاغذ صافی Whatman انگلستان گرید ۴۲ سایز ۱۲۵ mm و فیلتر ریز با تخلخل ۲/۵ میکرون با سرعت پایین ashless می باشد.
- برای اندازه گیری فشار یک نمونه گاز محبوس شده از مانومتر استفاده می شود. با استفاده از مانومتر، میزان فشار گاز ورودی به دستگاه در تمام آزمایش ها یکسان گردید.
- استفاده از کپسول اکسیژن (O_2) صنعتی فشرده (کپسول اکسیژن) جهت تولید ازن و ورودی دستگاه میناب
- جهت تولید اوزون (O_3)، دستگاه ازن ساز سری ARDA ساخت کشور فرانسه که از عملکردی بالا و مطمئن برخوردار است استفاده شده است. این دستگاه از تکنولوژی High Frequency که همراه با دی الکتریک از آلیاژ خاص استفاده می کند، سبب کاهش تلفات حرارتی در دستگاه می گردد. نحوه کار این دستگاه به این صورت است که لوله اکسیژن را به ورودی دستگاه متصل کرده و با روشن کردن آن از قسمت خروجی دستگاه ازن خارج می شود.
- آب شهری مورد استفاده در آزمایش ها جهت تولید آب حاوی میناب دارای خصوصیت زیر می باشد (جدول ۲-۳):

جدول ۲-۳ مشخصات آب شهری

pH	کدورت (NTU)	دما ($^{\circ}C$)	اکسیژن محلول (mg/L)	جامدات محلول کل (mg/L)
8.56	0.41	22	3.01	411

^۱ پلی آلومینیوم کلراید
^۲ سولفات آلومینیوم

۳-۳ روش تهیه نمونه آب آلوده به چربی

روش تهیه نمونه آلوده به چربی به این صورت بود که مقداری آب شهری و روغن را بر اساس درصد روغن مورد نظر به صورت حجمی محاسبه و پیمانه نموده و به دستگاه میناب خورانده شد. سپس راه ورودی هوا را بسته و به مدت ۵ دقیقه محلول حاصل توسط سامانه مولد به طور کامل مخلوط گردید تا امولسیون روغن و آب با غلظت‌های مختلف به دست آید.

۳-۴ روش تهیه نمونه آب آلوده به فلز آهن

برای تهیه نمونه پساب آلوده به فلز آهن وزن‌های مختلفی از کلراید آهن (FeCl_3) تجاری را درون حجم مناسبی از آب شهری ریخته و به مدت ۲ دقیقه روی دستگاه استیرر مدل DRAGONLAB MS-H-S قرار داده شد تا کامل حل شود. با این روش نمونه‌های پساب دارای فلز آهن به دست آمد.

۳-۵ روش بررسی تاثیر میناب بر کاهش چربی و آهن در پساب

مبنای انتخاب میناب به عنوان عامل اکسیدکننده به صورت زیر می‌باشد:

- از جمله ویژگی میناب‌ها که آن‌ها را از حباب‌های معمولی متمایز می‌کند می‌توان به سطح ویژه خاص، اندازه کم و ایستایی بالا اشاره کرد.
- میناب‌ها در زمینه معلق سازی ذرات در سیالات و تصفیه پساب، گندزدایی آب، پاک‌سازی سطح جامدات و به عنوان ضد باکتری و ضد بو استفاده شده‌اند.
- آزمایش‌های اولیه جهت اطمینان از مناسب بودن میناب جهت کاهش چربی و آهن انجام شد.

۳-۵-۱ روند کلی آزمایش جداسازی چربی

در تمامی آزمایش‌ها به منظور بررسی تاثیر میناب بر غلظت چربی، نمونه آب آلوده به چربی (نمونه تهیه شده در بخش ۳-۳) با نسبت مشخص و برابر از آب شهری و آب حاوی میناب مخلوط گردید. به عبارتی دیگر در هر مرحله از آزمایش دو نوع نمونه تهیه گردید که نمونه اول از اختلاط نمونه آب

آلوده و آب شهری و نمونه دیگر از اختلاط نمونه آلوده و آب حاوی میناب تهیه گردیده است. با توجه به مطالعات کرامتی بعد از نمونه‌گیری، منعقد کننده به هر دو نمونه زده تا طبق اصول دستگاه جارتست فلاک‌ها تشکیل شود. پس از اتمام زمان مورد نظر جهت اندازه‌گیری چربی، به دلیل سمی بودن هگزان، پساب را از کاغذ صافی عبور داده و در آون خشک کرده، از محاسبه تفاوت وزن کاغذ صافی قبل و بعد از عبور دادن پساب، درصد کاهش چربی محاسبه می‌شود. خلاصه روند کلی آزمایش در شکل ۱-۳ نشان داده شده است (کرامتی و همکاران، ۱۳۸۶).



شکل ۱-۳ روند کلی حذف چربی

۳-۵-۲ روند کلی آزمایش جداسازی آهن

به منظور بررسی تاثیر میناب بر غلظت آهن، نمونه آب آلوده به آهن (نمونه تهیه شده در بخش ۳-۴) با نسبت مشخص و برابر از آب شهری و آب حاوی میناب مخلوط گردیده است. بعد از اختلاط کامل با سرعت ۳۷۵ rpm روی استیرر، برای جداسازی ذرات ته‌نشین شده به مدت ۲ دقیقه از سانتریفیوژ با سرعت ۲۰۰۰ rpm استفاده می‌شود. با توجه به تست XRD و XRF گرفته شده از مواد ته‌نشین شده، مشخص می‌شود که مقدار زیادی از این ماده اکسید آهن است. با اندازه‌گیری آهن به روش جذب

اتمی در نمونه اولیه و نمونه ثانویه که پس از جداسازی مواد ته‌نشین شده گرفته می‌شود، می‌توان درصد کاهش غلظت آهن را محاسبه کرد. با گرفتن تست SEM نیز از تشکیل نانوذره اکسید آهن در نهایت اطمینان حاصل شد. خلاصه روند کلی آزمایش در شکل ۲-۳ نشان داده شده است.



شکل ۲-۳ روند کلی آزمایش‌های حذف آهن

۳-۶ آزمایش‌های بهینه‌سازی جداسازی چربی

شرایط آزمایش (pH محلول، نوع گاز مورد استفاده در میناب، اندازه حباب‌ها و غیره) می‌تواند بر روی درصد حذف تأثیرگذار باشند. به جهت استفاده از حداکثر درصد حذف چربی باید پارامترهای موثر بر حذف بررسی و بهینه‌سازی شود. در این تحقیق پارامترهای موثر بر درصد حذف چربی شامل pH، نوع گاز مورد استفاده در میناب، اندازه حباب‌ها در غلظت اولیه چربی ۴۳۰-۴۴۰ میلی‌گرم بر لیتر مورد بررسی قرار گرفت.

۳-۶-۱ روش بررسی تأثیر pH محلول بر میزان درصد حذف چربی

به دلیل تأثیر بسزایی که پارامتر pH بر فرآیند حذف چربی دارد به عنوان اولین مرحله مورد بهینه‌سازی قرار گرفت. به منظور تعیین pH آزمایش‌ها در حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر با غلظت چربی ۴۳۱ mg/L و استفاده از میناب هوا به مدت ۲ دقیقه انجام گردید. آزمایش در pHهای اولیه ۳، ۷، ۹ و ۱۰ انجام شد. به منظور تنظیم pH محلول از NaOH و HCL ۲ مولار استفاده شد. پس از تنظیم pH

اولیه با هوادهی میناب، ذرات چربی شناور شده و با اضافه کردن منعقدکننده PAC ذرات بهم چسبیده و با کاغذ صافی جدا می‌شود. پس از قرار گرفتن کاغذ صافی در آون با محاسبه وزن قبل و بعد کاغذ صافی، میزان درصد حذف چربی اندازه‌گیری شد. با توجه به حداکثر میزان حذف چربی به‌دست‌آمده در هر یک از pHها، pH بهینه انتخاب گردید.

۳-۶-۲ روش بررسی تاثیر اندازه حباب‌ها بر میزان حذف چربی

سومین پارامتری که مورد بررسی قرار گرفت اندازه حباب‌ها می‌باشد. در این مرحله برای تمامی نمونه‌ها pH و مدت زمان تزریق میناب به‌دست‌آمده از مراحل قبلی، در غلظت چربی اولیه معادل ۴۴۴ mg/L در حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر مورد استفاده قرار گرفت. اندازه حباب‌ها مورد استفاده در حد ماکرو، میکرو و نانو بود.

۳-۶-۳ روش بررسی تاثیر نوع گاز میناب بر میزان حذف چربی

در این مرحله تمامی آزمایش‌ها در غلظت اولیه ۴۳۶/۸ mg/L، در حجم ۳۰۰ میلی‌لیتر و با pH بهینه به‌دست‌آمده از مرحله قبل بوده است. بهینه‌سازی نوع گاز میناب برای دو نوع گاز، هوا و اکسیژن انجام گرفت.

۳-۷ روش محاسبه درصد حذف چربی

برای به دست آوردن درصد حذف چربی و آهن از فرمول ۱-۳ استفاده شد.

$$R = \frac{C_0 - C_t}{C_0} \times 100 \quad (1-3)$$

در این رابطه:

R: درصد حذف

C₀: غلظت اولیه چربی یا آهن پساب (mg/L)

C_t: غلظت نهایی چربی یا آهن بعد از تصفیه (mg/L)

در محاسبه غلظت نهایی چربی به دلیل استفاده از آون برای خشک شدن کاغذ صافی‌ها، درصد تبخیر چربی در آون هم محاسبه شده است. همچنین میزان آلومینیوم باقی‌مانده به روی کاغذ نیز در آن محاسبه شده است.

۳-۸ محاسبه میزان گاز ورودی دستگاه میناب

در راستای انجام آزمایش به تولید میناب گازهای متفاوت در فشار ثابت پرداخته می‌شود. جهت ایجاد فشار ثابت، ابتدا میزان افت هد را در زمان استفاده از هوا با استفاده از مانومتر اندازه‌گیری نموده و سپس فشار سایر گازها با توجه به این میزان فشار تنظیم می‌گردد. جهت محاسبه میزان میناب تولید شده با گازهای متفاوت در فشار ثابت از رابطه داری استفاده می‌شود.

$$h_f = f \frac{L}{d} \frac{V^2}{2g} \quad (2-3)$$

که در آن:

h_f : هد تلف شده به علت وجود اصطکاک می‌باشد.

L : طول لوله بوده

d : قطر هیدرولیکی لوله است (که در مورد لوله با سطح مقطع دایروی همان قطر دایره می‌باشد).

V : سرعت میانگین سیال جاری در لوله می‌باشد.

g : شتاب گرانشی محلی زمین

f : ضریب اصطکاک داری است که عدد بی‌بعدی می‌باشد و مقدار آن با توجه به نوع زبری لوله‌ها و عدد رینولدز و به کمک نمودار مودی چارت یا رابطه کلبروک تعیین می‌شود.

$$f = \frac{64 \nu}{Vd} \quad (3-3)$$

با توجه به این که ν ویسکوزیته سیال می‌باشد، برای هوای ۲۰ درجه در نظر گرفته می‌شود. در فرمول

۳-۳، V سرعت میانگین سیال و d قطر هیدرولیکی لوله می‌باشد. با توجه به جدول ۳-۳ مقدار سرعت میانگین سیال (V) به دست می‌آید.

جدول ۳-۳ اطلاعات معادله ۳-۳

پارامتر	$v \text{ (m}^2/\text{s)}$	$g \text{ (m/s}^2)$	$d \text{ (m)}$	$L \text{ (m)}$	$h_f \text{ (m)}$
مقدار	15.11E-6	9.81	0.006	0.4	0.03

با جایگذاری مقدارهای جدول ۳-۳ در معادله ۲-۳، $V=0.055 \text{ m/s}$ به دست می‌آید. با جایگذاری سرعت در معادله $Q = AV$ مقدار دبی گاز ورودی به دستگاه میناب $1.5 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ معادل ۱.۵ میلی‌لیتر بر ثانیه محاسبه گردید.

از معادله ۴-۳ می‌توان به حجم هوای ورودی در ۲ دقیقه زمان هوادهی رسید:

$$Q=Vt \quad (4-3)$$

در معادله ۴-۳ میزان حجم هوای ورودی دستگاه $1/8 \times 10^{-4}$ متر مکعب معادل ۰.۱۸ لیتر است.

۳-۹ طیف‌سنج جذب اتمی (AAS)^۱

اتم‌های آزاد برخلاف مولکول‌ها، دارای ترازهای چرخشی و ارتعاشی نیستند و در آن‌ها فقط جهش‌های الکترونی صورت خواهد گرفت. بدین ترتیب هنگامی که انرژی توسط اتم‌ها جذب یا نشر می‌گردد، خطوط طیفی مجزا مشاهده خواهد شد که اساس روش‌های طیف‌سنجی اتمی را تشکیل می‌دهد. روش‌های طیف‌سنجی اتمی تحت عنوان نشر اتمی، جذب اتمی و فلوئورسانس اتمی مورد بررسی قرار می‌گیرند. گاهی روش‌های اتمی را برحسب اتمی شدن، یعنی فرآیندی که در آن اجزای محلول به یون و اتم‌های گازی و یا یک پلاسما تبدیل می‌شوند، تقسیم‌بندی می‌کنند. طیف‌نورسنجی جذب اتمی بر مبنای اندازه‌گیری جذب اتم‌های حاصله می‌باشد. حساسیت و دقت زیاد از ویژگی‌های این روش است.

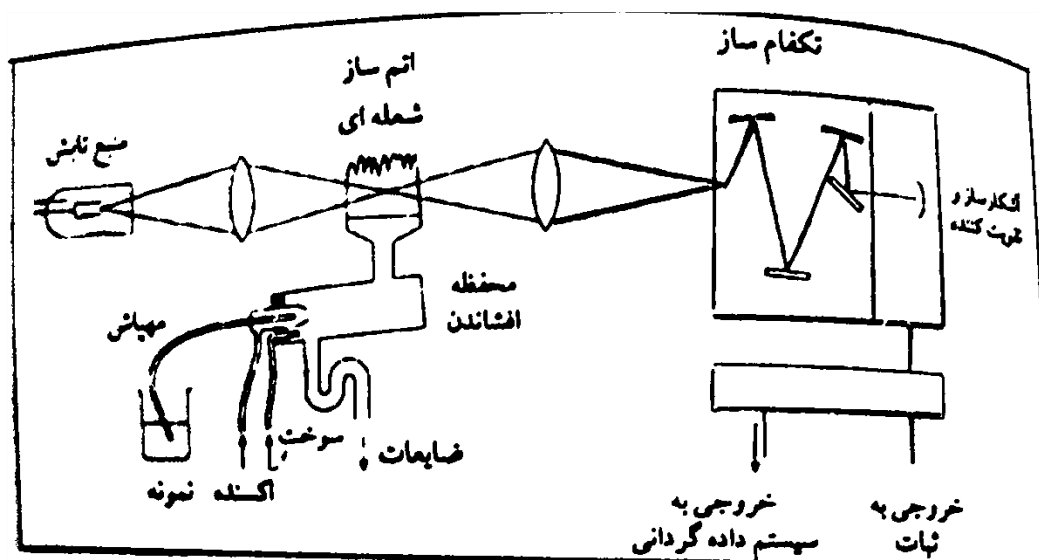
در طیف نورسنجی جذب اتمی میزان شدت نور جذب شده توسط اتم‌های به وجود آمده در شعله اندازه‌گیری می‌شود که با غلظت نمونه متناسب می‌باشد رابطه جذب و نشر بدین‌صورت بیان شده که

¹ Atomic Absorption Spectro Photometry

تمام مواد، نور را در طول موجی که جذب می کنند نشر می کنند؛ بنابراین نور قابل جذب برای اتم های یک عنصر باید توسط اتم های آزاد همان عنصر که به حالت برانگیخته هستند منتشر گردد.

جذب اتمی یک روش طیف سنجی برای اندازه گیری میزان غلظت عناصر شیمیایی بر اساس جذب نور تولید شده توسط لامپ هالوکاتد دستگاه توسط اتم در حالت پایه است. مجموعه لامپ های هالوکاتد موجود در آزمایشگاه جذب اتمی شامل $\text{Al, Ag, As, Au, Ba, Ca, Cd, Cr, Co, Cu, Fe, K, Hg, Mn, Mo, Na, Pb, Se, Ti, W, Zn}$ می باشند. البته حد تشخیص برای همه عناصر یکسان نیست.

طیف جذبی یک عنصر در شکل گازی و اتمی آن یک سری خطوط باریک کاملاً مشخص است که از جهش های الکترونی بیرونی ترین الکترون ها به وجود می آیند. الکترون های لایه ظرفیت اتم، تابش الکترومغناطیس در گستره فوق بنفش و مرئی را جذب یا نشر می کند. پرتو نشری حاصل از منبع تابش از بین بخار اتمی (جایی که اتم های جزء مورد نظر تابش منبع را جذب می کنند) عبور می کند. سپس خط طیفی مورد نظر توسط تکفام ساز جدا شده و به آشکارساز می رسد. نهایتاً سیگنال حاصله توسط یک تقویت کننده مناسب تقویت شده و توسط ثبات، ثبت می گردد. (حبیبی و کنوز، ۱۳۷۸).



شکل ۳-۳ اجزای اصلی یک طیف نورسنج جذب اتمی

آنالیز جذب اتمی بر روی پساب آلوده به چربی که از کاغذ صافی عبور کرده، جهت تعیین وجود آلومینیوم در آن و پساب حاوی آهن قبل و بعد از ازن میناب زدن جهت تعیین غلظت آهن انجام شد.

۳-۱۰ آنالیز پراش پرتو (XRD)^۱

آنالیز پراش پرتو X یک آنالیز کمی غیر مخرب است که در زمینه‌های مختلفی مانند کانی‌شناسی، متالوژی، علوم مواد، علوم پزشکی، زیست‌شناسی، صنعت داروسازی و غیره کاربرد دارد. نمونه‌های استفاده شده در این تست به صورت پودری می‌باشد و الگوهای موجود همچون یک اثرانگشت برای هر نمونه عمل می‌کنند. با استفاده از XRD می‌توان فازهای غیرمتعارف و مشخصات آن‌ها و ساختار بلوری نمونه را تخمین زد. به منظور تشخیص و اندازه‌گیری فاز و ساختار بلوری نمونه در این تست از الگوی انکسار استفاده می‌شود (Tedesco and Brunelli, 2017).

آنالیز XRD بر روی پودر ته‌نشین شده پس از ازن زنی پسابی که دارای نمک کلراید آهن و پسابی که دارای نمک سولفات آهن ۷ آبه بود در شرکت بیم گستر تابان انجام شد.

۳-۱۱ طیف‌سنج فلورسانس پرتو (XRF)^۲

فلوئورسانس اشعه ایکس، از روش‌های آنالیز عنصری است. در این روش، اشعه ایکس به نمونه می‌تابد و در اثر برانگیختن اتم‌ها و ایجاد الکترون، اشعه ایکس ثانویه، تولید می‌شود. هر نمونه بر اساس ترکیب شیمیایی خاصی که دارد، از طیف مشخصه اشعه ایکس خاصی برخوردار خواهد بود. با استفاده از این تکنیک، می‌توان آنالیز عنصری نمونه‌های بلورین، باستانی، زمین‌شناسی، کانی‌ها، سنگ‌ها، شیشه، سیمان، سرامیک‌ها و آلیاژهای فلزی را انجام داد (Beckhoff et al, 2007).

آنالیز XRF بر روی پودر ته‌نشین شده پس از ازن زنی پسابی که دارای نمک کلراید آهن می‌باشد جهت اندازه‌گیری درصد آهن موجود در ماده ته‌نشین شده در شرکت بیم گستر تابان انجام شد.

¹ X-ray powder diffraction

² X-ray Fluorescence Spectroscopy

۳-۱۲ آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)^۱

میکروسکوپ الکترونی، میکروسکوپی است که در آن به جای نور از پرتوی الکترونی تولید شده توسط تفنگ الکترونی یا کائنده الکترونی و به جای عدسی نوری از لنز مغناطیسی که قادر به تغییر و جابجایی پرتو الکترونی است، استفاده می‌شود.

میکروسکوپ الکترونی روبشی یا SEM، قابلیت عکس‌برداری از سطوح با بزرگنمایی ۱۰ تا ۱۰۰۰۰۰ برابر و بسته به نوع نمونه قدرت تفکیکی در حد ۳ تا ۱۰۰ نانومتر را دارا می‌باشد. میکروسکوپ الکترونی روبشی شامل دو بخش اصلی ستون و کابین می‌باشد. با توجه به رسانا بودن ستون، الکترون‌های منتشرشده از آن عبور کرده و به نمونه می‌رسند. آشکارسازهای نصب‌شده سیگنال‌های پراکنده را در نتیجه فعل‌وانفعال بین الکترون و نمونه جذب می‌کنند. آشکارسازها مبدل‌های انرژی هستند که سیگنال‌های دریافتی را به سیگنال الکتریکی تبدیل کرده و به کابین کنترل می‌فرستند. کابین کنترل مجهز به دستگاه‌های الکترونیکی است که قادر به اندازه‌گیری سیگنال‌های الکتریکی فرستاده شده توسط آشکارسازها و تبدیل آن‌ها به اطلاعات تجزیه و تحلیل شده مانند تصاویر و نمودارها می‌باشند (Pereira-da-silva and Ferri, 2017).

بنا بر توضیحات داده شده در مورد روش SEM، در پژوهش حاضر این روش به منظور اندازه ذرات اکسید آهن تشکیل شده در شرکت بیم گستر تابان مورد استفاده قرار گرفت.

¹Scanning Electron Microscopy

فصل ۴ نتایج و بحث

۴-۱ مقدمه

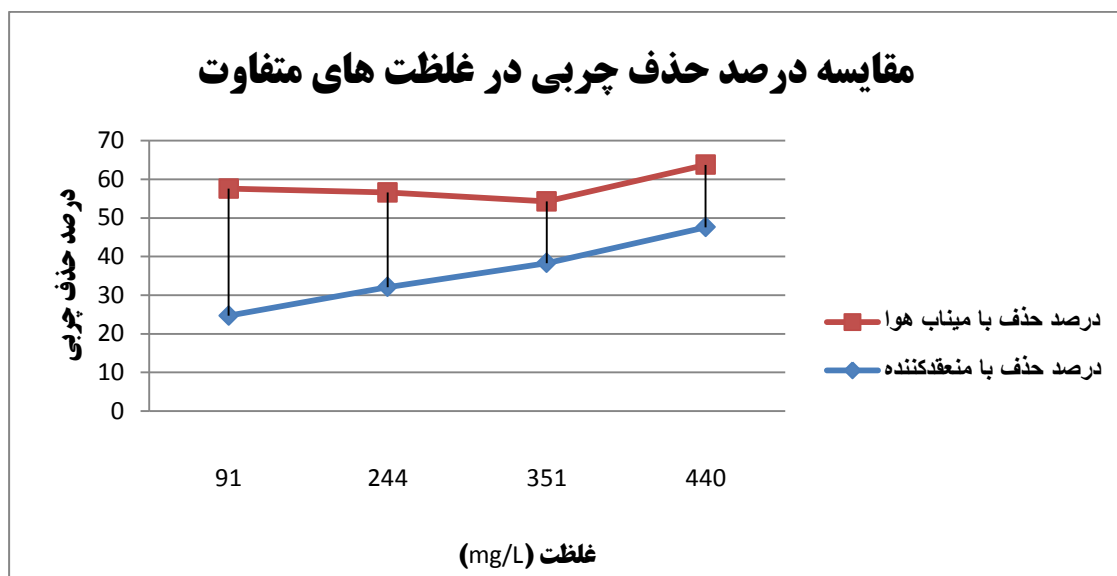
هدف از انجام این تحقیق، در گام نخست امکان‌سنجی جداسازی چربی از محلول آبی به وسیله میناب و بهینه‌سازی روند آزمایش‌های مربوط به آن و در مرحله بعدی امکان‌سنجی حذف آهن از محلول آبی بود. در این راستا اثر شرایط مختلف تأثیرگذار بر فرآیند حذف و راندمان حذف مورد بررسی قرار گرفت. در این بخش تمامی نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌ها، تحلیل نتایج و تفسیر نتایج حاصل از آنالیزها گزارش گردیده است.

۴-۲ بهینه‌سازی مواد مورد استفاده در فرآیند حذف

به منظور انتخاب نوع و مقدار منعقد کننده و غلظت اولیه چربی آزمایش‌هایی صورت گرفت که در ادامه نتایج این آزمایش‌ها آورده شده است.

۴-۲-۱ مقایسه غلظت‌های اولیه مختلف بر میزان حذف چربی

نتایج آزمایش‌هایی با غلظت‌های متفاوت چربی طبق شکل ۴-۱ آورده شده است. باید به مقدار غلظت اولیه که میناب می‌تواند بیشترین تأثیر را داشته باشد، در نظر گرفت. فرآیند جداسازی چربی با میناب برای غلظت‌های متفاوت انجام شد. در غلظت‌های مختلف میزان درصد حذف چربی با میناب بیشتر از بدون میناب می‌باشد و با افزایش غلظت میزان درصد حذف چربی نیز افزایش می‌یابد.

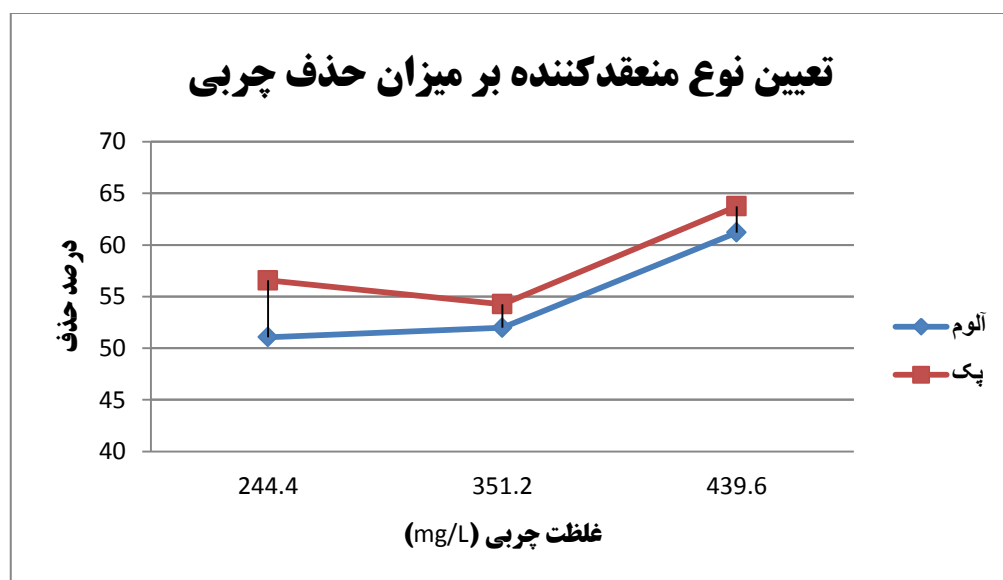


شکل ۴-۱ میزان غلظت چربی و درصد حذف آن

بر اساس نتایج حاصل از شکل ۴-۱، در دما و میزان هوادهی ثابت میزان درصد حذف چربی با بالا رفتن غلظت اولیه چربی در پساب آماده شده، افزایش می‌یابد. به دلیل محدود بودن محیط آزمایشگاه توانایی ساخت پساب آلوده به چربی با غلظت‌های بالاتر از ۵۰۰ mg/L امکان‌پذیر نبود و دقت آزمایش بسیار کاهش پیدا می‌کرد. با توجه به شکل ۴-۱ مشخص است که در غلظت‌های پایین اختلاف میزان حذف چربی با میناب هوا با زمانی که از فناوری میناب استفاده نشده بیشتر است. نتایج را چنین می‌توان توجیه نمود که در غلظت‌های پایین چربی به دلیل کم بودن مقدار روغن موجود در آب و ثابت بودن سرعت و زمان هم زدن پساب، ذرات روغن موجود در امولسیون آلوده ریزتر شده و بیشتر به نانوحباب‌های هوا می‌چسبند و جدا می‌شوند اما منعقد کننده پک به‌تنهایی نمی‌تواند درصد حذف بالایی در غلظت‌های پایین که ذرات آلاینده ریزتر هستند، داشته باشد. بر اساس نتایج حاصل از این آزمایش‌ها، در مقدار غلظت اولیه چربی پساب حدود ۴۳۰-۴۴۰ mg/L و دمای اتاق و با ۰.۱۸ لیتر هوادهی، میزان درصد حذف ۶۳ درصد است.

۲-۲-۴ مقایسه دو نوع منعقد کننده بر میزان حذف چربی

شکل ۲-۴ نشان دهنده نتایج آزمون تعیین نوع منعقد کننده در غلظت‌های اولیه مختلف، دما و میزان هوادهی ثابت می‌باشد. در مقایسه پک و آلوم باید توجه شود که در آلومینیوم سولفات فقط بخش کوچکی از آلومینیوم به صورت مونومر^۱ (Monomer) ظاهر می‌شود و در مولکول پک بخش عمده آلومینیوم به شکل ساختمان الیگومری^۲ (Oligomer) ظاهر می‌شود. ساختمان الیگومری و پلیمری پک فلاک‌های پایدارتری را با ناخالصی‌های معلق در آب تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر، به علت بهبود لخته‌سازی، مقدار کمتری از آلومینیوم در آب تصفیه شده باقی می‌ماند. در نتیجه این اختلاف در ترکیب دلیل اصلی برتری پک می‌شود (Daryabeigi Zand and Hoveidi, 2015).



شکل ۲-۴ تعیین نوع منعقد کننده بر میزان درصد حذف چربی

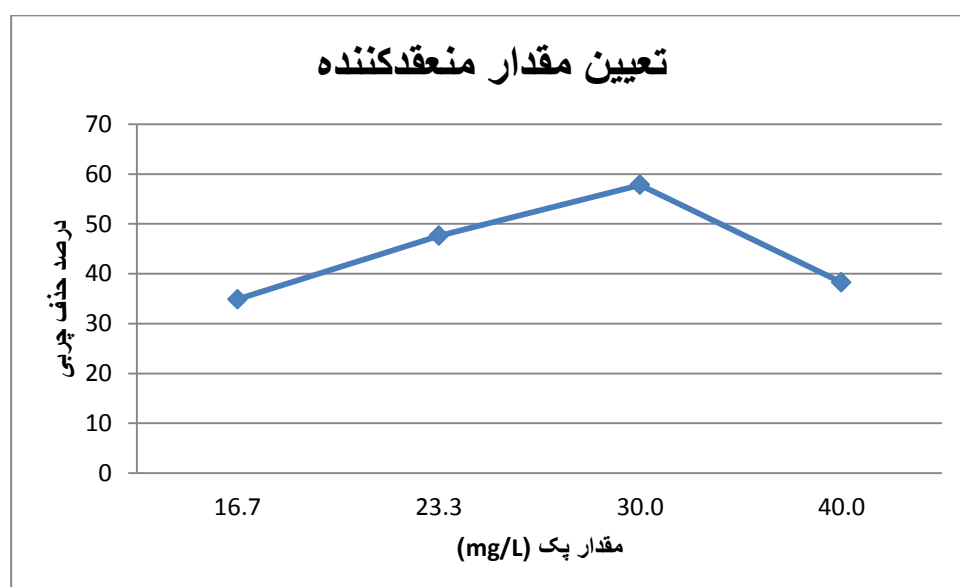
با توجه به شکل ۲-۴ میزان درصد حذف چربی منعقد کننده پک نسبت به آلوم به مقدار ۲-۳ درصد بیشتر می‌باشد. طبق این آزمایش‌های انجام شده، جهت بهینه‌سازی از منعقد کننده پک در آزمایش‌های بعدی استفاده می‌شود.

^۱ مواد تشکیل شده از مولکول های واحد است.

^۲ ماده پلیمری است که شامل تعداد واحدهای تکراری است.

۳-۲-۴ تاثیر مقدار منعقد کننده بر میزان حذف چربی

در شکل ۳-۴ تاثیر مقدار منعقد کننده بر میزان درصد حذف چربی نشان داده شده است. آزمایش‌های انجام شده مربوط به شکل ۳-۴، در غلظت اولیه چربی $439/6 \text{ mg/L}$ و با حجم هوادهی ثابت با تغییر مقدار منعقد کننده پک از $16/6-40 \text{ mg/L}$ انجام شده است. طبق نتایج حاصله از شکل ۳-۴، مقدار بهینه پک 30 mg/L می‌باشد.



شکل ۳-۴ تاثیر مقدار منعقد کننده پک بر میزان درصد حذف

۳-۴ نتایج آزمایش‌های بهینه‌سازی حذف چربی با میناب

تاثیر پارامترهای pH، سایز حباب‌ها و نوع گاز در غلظت چربی $430-440 \text{ mg/L}$ در فرآیند جداسازی چربی به وسیله میناب مورد بررسی قرار گرفت که در ادامه به طور مفصل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۳-۳-۴ تاثیر pH محلول

به دلیل اثر بسزای pH در انحلال و جداسازی چربی درون محلول، این پارامتر در اولین مرحله از بهینه‌سازی مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌های مرحله بهینه‌سازی pH مطابق با روند ذکر شده در

بخش ۳-۶-۱ انجام شد و نتایج حاصل در شکل ۴-۴ ارائه گردید. مقدار درصد حذف چربی به pH محلول بستگی دارد. با توجه به نتایج ارائه شده در شکل ۴-۴ مشاهده می‌شود که میزان درصد حذف چربی در pH های اسیدی درصد حذف کمتری داشته و در این محدوده pH، دارای بازده پایین است. علت حذف کمتر چربی در pH های پایین، عدم استفاده از امولسیون‌فایر است، با توجه به تحقیق sawin در سال ۲۰۰۹ که ابتدا با اسیدی کردن محلول امولسیون‌فایر را حل می‌کند و از منعقد کننده و شناورسازی استفاده می‌کند که در pH برابر ۱ انعقاد روغن بیشتر از زمانی است که pH برابر ۳ می‌باشد. همچنین در تحقیقی دیگر برای pH بهینه آلوم و کلراید فریک به ترتیب ۷/۵ و ۵/۵ میانگین حذف شاخص روغن، ۷۸/۲۷٪ به دست آمد (کرامتی و همکاران، ۱۳۸۶).

با توجه به نتایج (شکل ۴-۴) در pH های قلیایی میزان حذف چربی بیشتر می‌شود.



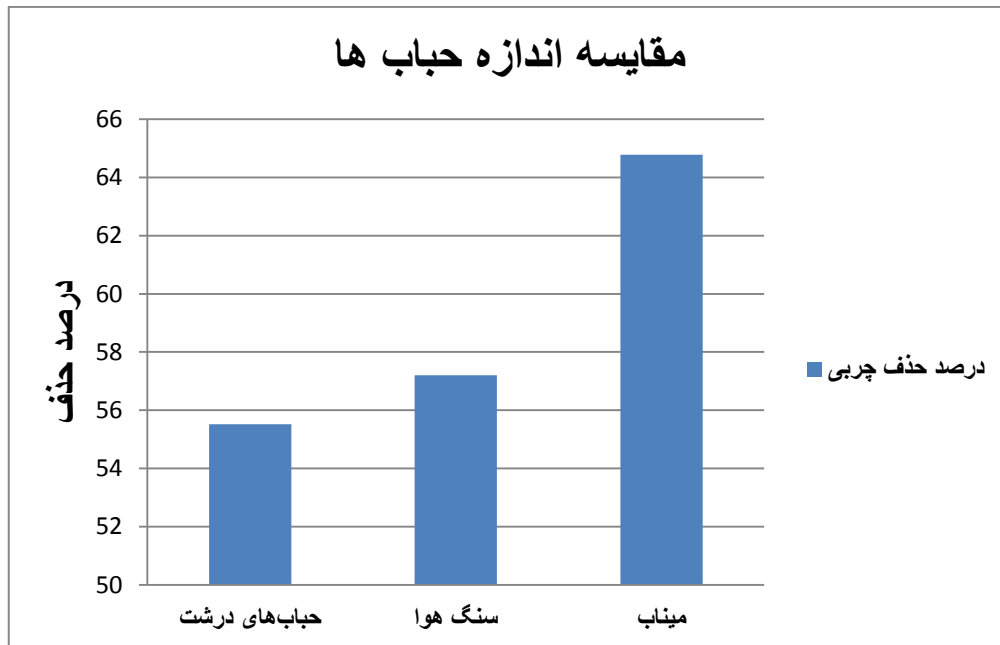
شکل ۴-۴ تأثیر pH بر میزان درصد حذف چربی

۳-۲-۴ تأثیر سایز حباب‌ها

سایز حباب‌ها در فرآیند شناورسازی بسیار موثر می‌باشد که آزمایش‌های مرحله بهینه‌سازی سایز حباب‌ها مطابق با روند ذکر شده در بخش ۳-۶-۲ انجام شد و نتایج حاصل در شکل ۴-۵ ارائه گردید.

با کوچک شدن اندازه حباب‌ها بار روی آن‌ها افزایش می‌یابد، در نتیجه تأثیر شدیدی بر میزان شناورسازی می‌گذارد و ذرات بیشتری را شناور می‌کند (Collinst and Jameson, 1976).

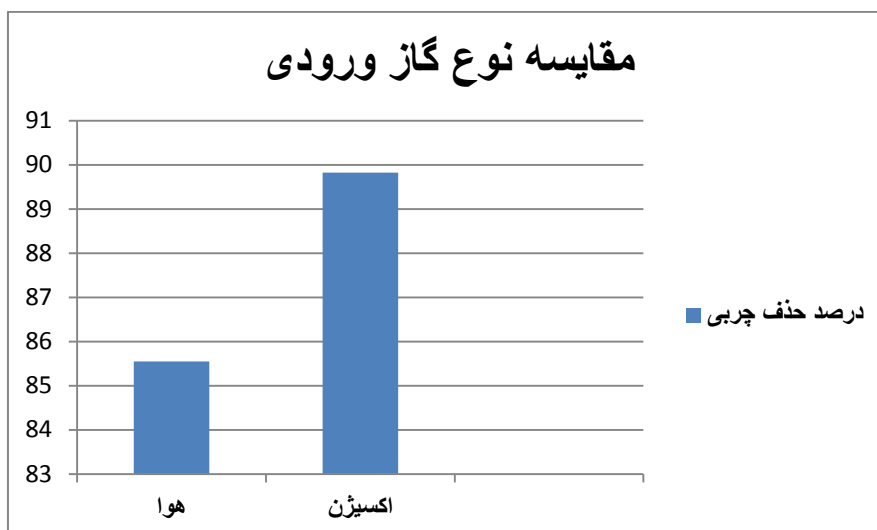
با توجه به نتایج، با استفاده از حباب‌های میکرو-نانو در برابر حباب‌های ماکرو می‌توان درصد بیشتری از چربی را حذف کرد.



شکل ۴-۵ تأثیر اندازه حباب‌ها بر میزان حذف چربی

۳-۳-۴ تأثیر نوع گاز وارد شده

نوع گاز ورودی دستگاه میناب در فرآیند تصفیه بسیار موثر می‌باشد که آزمایش‌های مرحله بهینه‌سازی نوع گاز ورودی مطابق با روند ذکر شده در بخش ۳-۶-۳ انجام شد و نتایج حاصل در شکل ۴-۶ ارائه گردید. با توجه به نتایج، ورودی هوا به دلیل این‌که فقط ۲۱ درصد حجم گاز ورودی را اکسیژن تشکیل می‌دهد نسبت به ورودی اکسیژن میزان کمتری از چربی را حذف می‌کند.



شکل ۴-۶ تاثیر نوع گاز ورودی به دستگاه میناب بر روی درصد حذف چربی

۴-۴ ارزیابی خصوصیات ماده ته نشینی از اکسیداسیون آهن

در این بخش تفسیر آنالیزهای انجام شده به منظور بررسی ماده ته نشین شده از اکسیداسیون آهن به تفصیل ارائه می گردد.

۴-۴-۱ نتایج آنالیز پراش پرتو X (XRD)

نتایج آنالیز XRD انجام شده بر روی ماده ته نشین شده از پسابی که با نمک کلراید آهن و سولفات آهن ۷ آبه درست شده به ترتیب در جدول ۴-۱، ۴-۲ و شکل ۴-۷، ۴-۸ آورده شده است.

جدول ۴-۱ نتیجه حاصل از آنالیز XRD ماده ته نشین شده از پساب آلوده به کلراید آهن

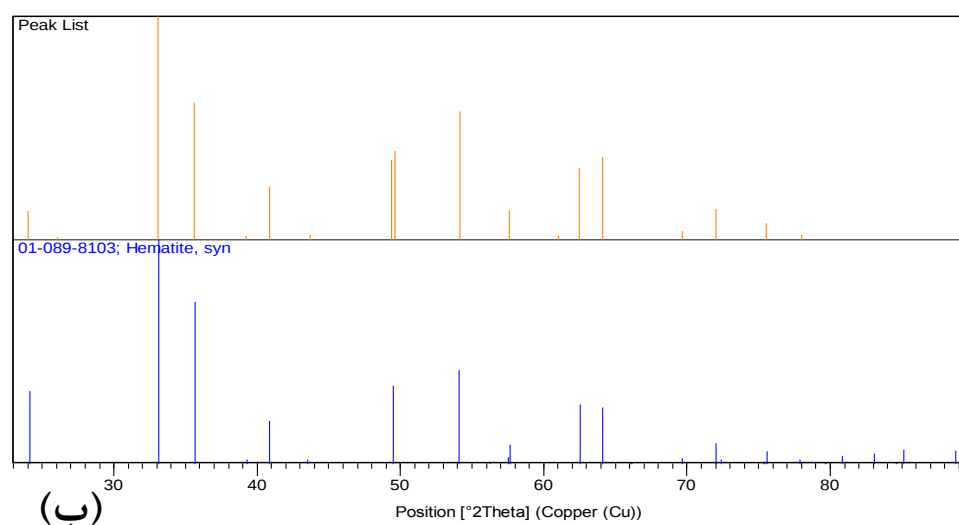
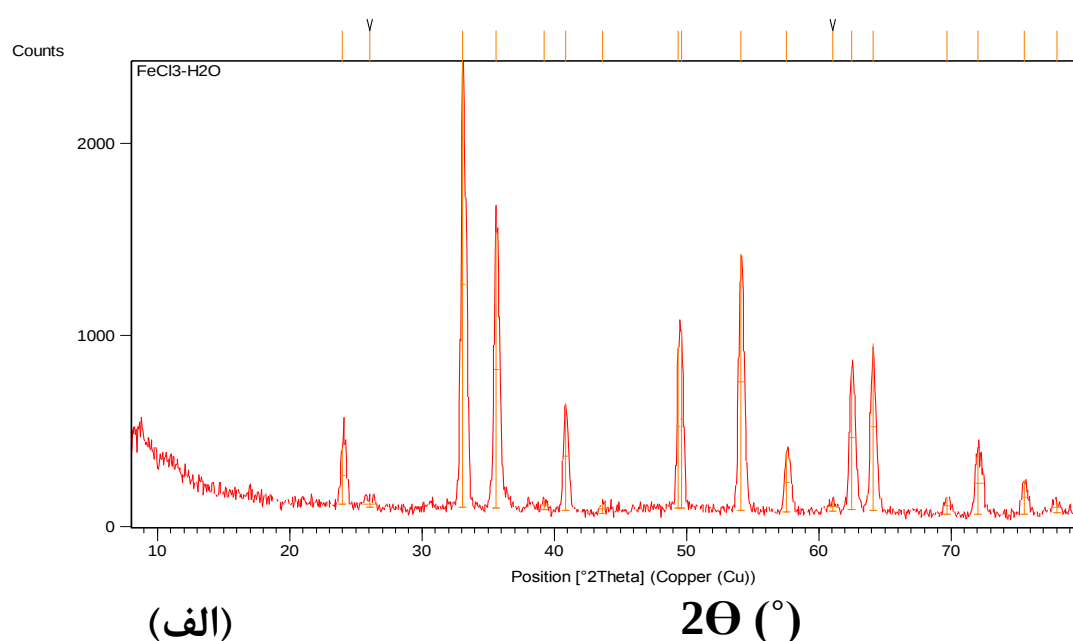
نام ترکیب	فرمول	درصد	PDF Number
Iron Oxide	Fe_2O_3	98	01-089-8103

جدول ۴-۲ نتیجه حاصل از آنالیز XRD ماده ته نشین شده از پساب آلوده به سولفات آهن ۷ آبه

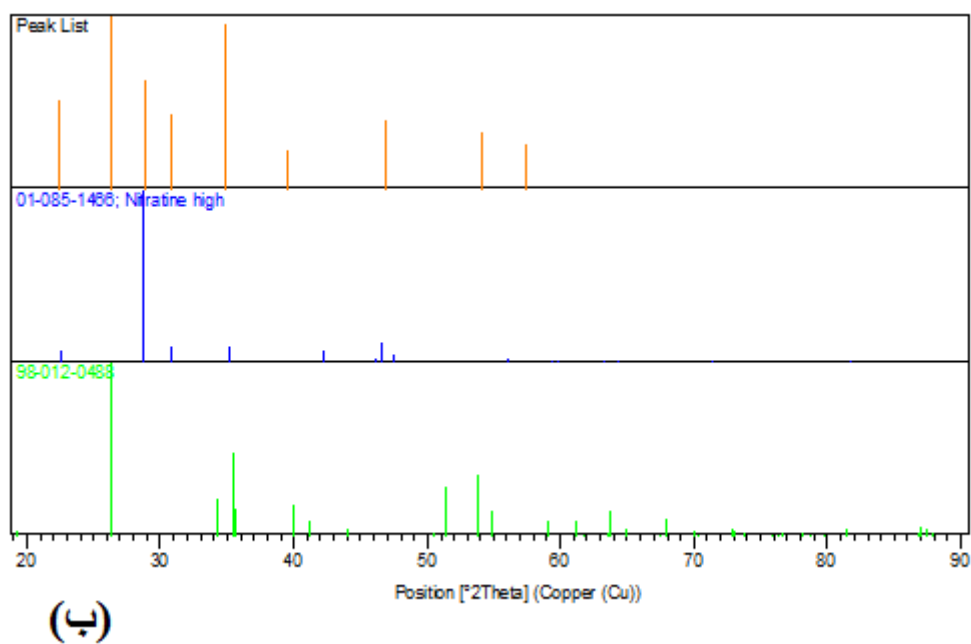
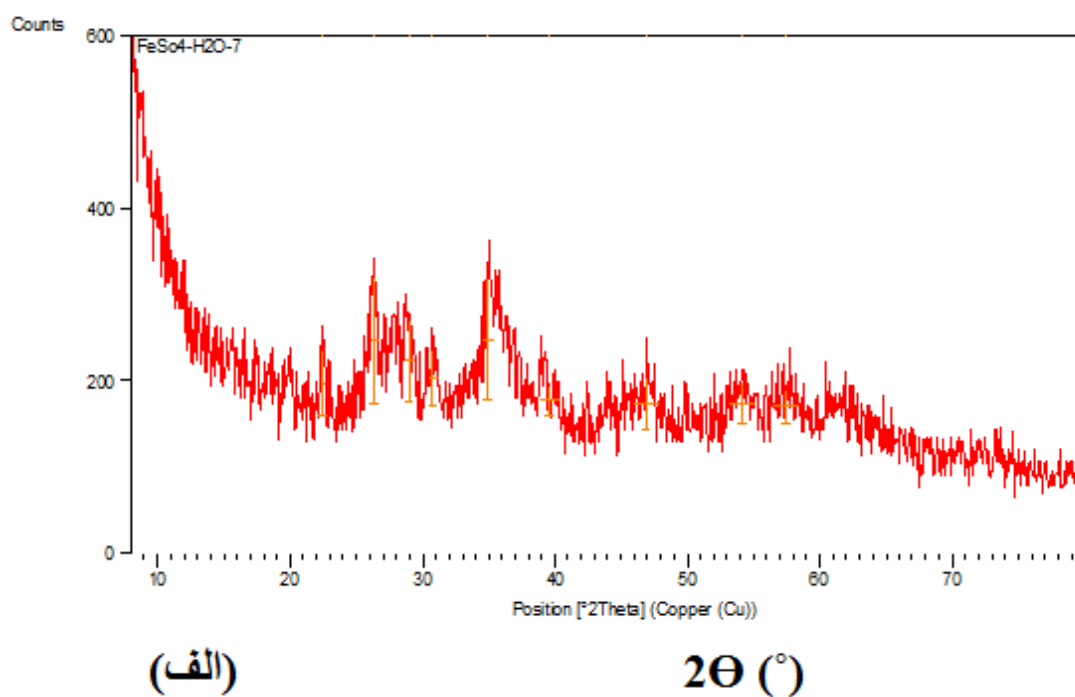
نام ترکیب	فرمول	درصد	PDF Number
Sodium Nitrate	$\text{Na (N O}_3\text{)}$	69	01-085-1466
Iron Oxide Hydroxide – Epsilon	H Fe O_2	40	98-012-0488

با توجه به جدول ۴-۱ اگر از نمک کلراید آهن برای تولید پساب آلوده به آهن استفاده شود، پس از ترکیب با میناب ازن، Fe_2O_3 ته‌نشین می‌شود. جدول ۴-۲ نیز نشان می‌دهد که ماده ته‌نشین شده از پساب آلوده به نمک سولفات آهن ۷ آبه بعد از اکسیداسیون شامل $\text{Na}(\text{NO}_3)$ و H Fe O_2 می‌باشد که فراوانی $\text{Na}(\text{NO}_3)$ بیشتر است.

با توجه به نتایج حاصل از این آنالیزها، از نمک کلراید آهن تجاری برای ساخت پساب آلوده به آهن استفاده می‌شود.



شکل ۴-۷ آنالیز XRD ماده ته‌نشینی کلراید آهن (الف) طیف حاصل از XRD، (ب) نتایج حاصل از آنالیز XRD



شکل ۴-۸ آنالیز XRD ماده تهنشینی سولفات آهن الف) طیف حاصل از XRD، ب) نتایج حاصل از آنالیز XRD

۴-۲ نتایج آنالیز XRF

نتایج آنالیز XRF در جدول ۴-۳ آورده شده است که نشان‌دهنده میزان درصد ترکیبات ماده تهنشین شده از اکسیداسیون پساب آلوده به آهن (با نمک کلراید آهن III) می‌باشد.

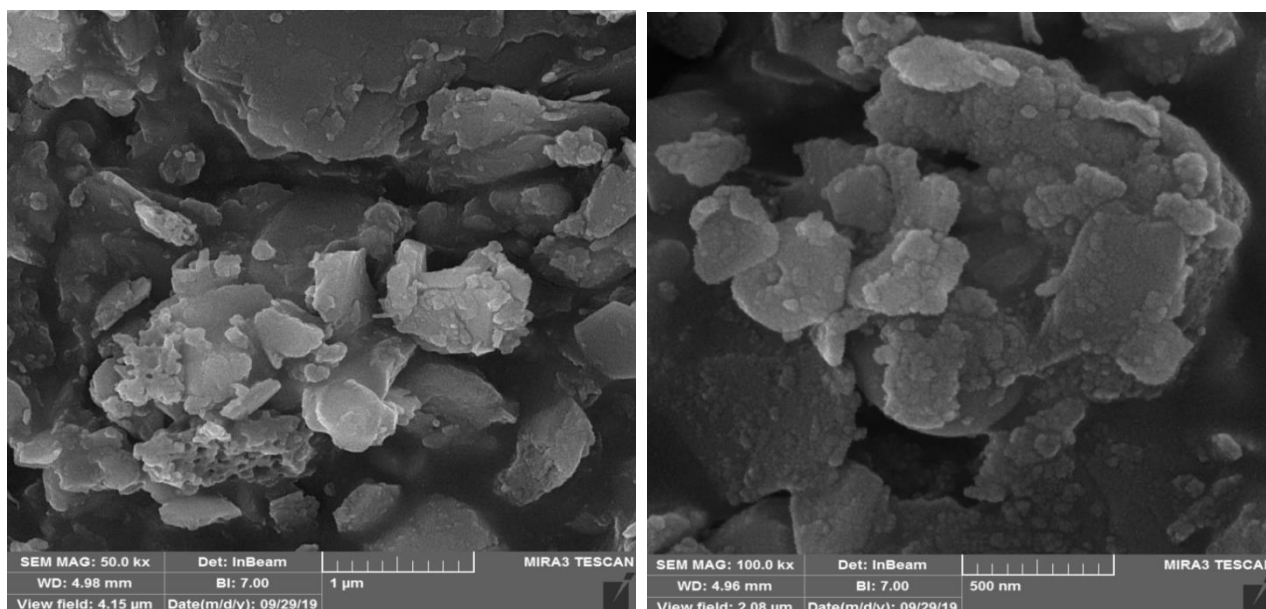
جدول ۳-۴ نتایج آنالیز XRF

نام ترکیب	درصد	نام ترکیب	درصد
Fe_2O_3	70.35	TiO_2	0.93
Cl	8.36	Al_2O_3	0.76
SiO_2	8.35	P_2O_5	0.27
Cr_2O_3	5.84	CaO	0.01
LOI	5.10	SUM	99.96

با توجه به نتایج حاصل از آنالیز XRF، ۷۰ درصد ماده ته‌نشین شده Fe_2O_3 می‌باشد که می‌توان با روش‌های مغناطیسی آن را از بقیه جدا کرد و مورد استفاده مجدد قرار داد.

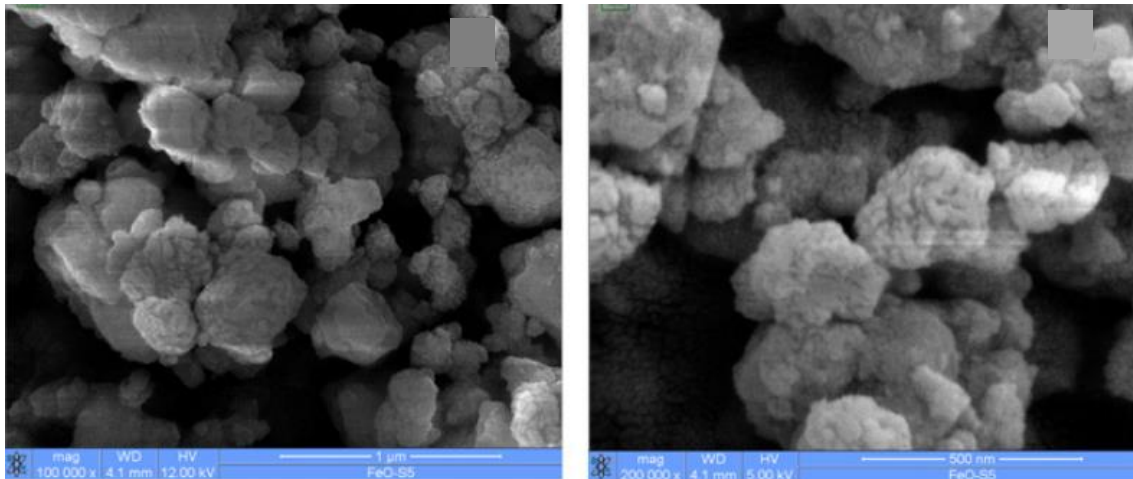
۳-۴-۴ نتایج آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

به منظور بررسی اندازه ذرات ماده ته‌نشین شده از تصویربرداری SEM استفاده گردید. از ماده ته‌نشین شده که به صورت پودر به دست آمد، در بزرگنمایی‌های مختلف تصاویر SEM گرفته شد که در شکل‌های ۴-۹ آورده شده است. با توجه به تصاویر، نانو ذرات اکسید آهن قابل مشاهده می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که ذرات اکسید آهن در سایز نانو می‌باشد.



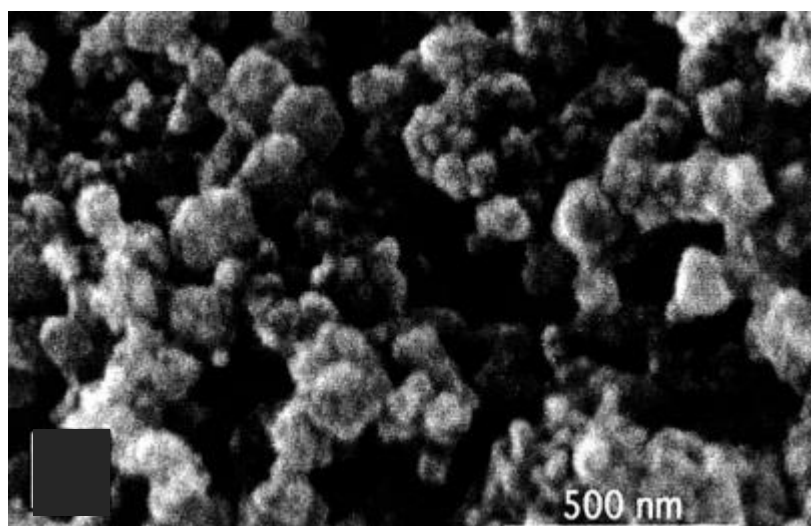
شکل ۴-۹ تصویر SEM از اکسید آهن در بزرگنمایی‌های مختلف

با توجه به نتایج SEM در تحقیق Lemine بعد از ۴۸ ساعت فرزکاری بر روی Fe_2O_3 ، اندازه ذرات به زیر ۱۰۰ نانومتر رسید (شکل ۴-۱۰). با مقایسه زمان تولید نانوذرات به دو روش میناب و فرزکاری، می‌توان نتیجه گرفت که روش میناب از لحاظ زمان به صرفه‌تر می‌باشد (Lemine, 2009).



شکل ۴-۱۰ تصویر SEM از اکسید آهن تولید شده با فرزکاری به مدت ۴۸ ساعت

در مقایسه با نتایج SEM تحقیق Martelli و همکارانش که انرژی زیادی برای ایجاد حرارت ۴۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت صرف کردند تا اندازه ذرات Fe_2O_3 به ۲۰ نانومتر برسد (شکل ۴-۱۱)؛ تولید نانو ذرات Fe_2O_3 به روش میناب مقرون به صرفه می‌باشد (Martelli et al, 2000).



شکل ۴-۱۱ تصویر SEM از اکسید آهن تولید شده با حرارت ۴۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۳ ساعت

فصل ۵ نتیجه گیری و پیشنهادها

۵-۱ مقدمه

در این بخش ابتدا نتایج به دست آمده از این تحقیق جمع بندی گردیده است. در انتها پیشنهادهایی به جهت ادامه و انجام تحقیق های آتی ارائه شده است.

۵-۲ جمع بندی نتایج جداسازی چربی

در این تحقیق جهت حذف چربی از امولسیون روغن در آب از فناوری میناب، منعقد کننده پک و آلوم و کاغذ صافی استفاده شد. تمام آزمایش ها در سیستم ناپیوسته انجام گرفت و پارامترهای pH، اندازه حباب و نوع گاز ورودی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل شده به صورت زیر جمع بندی می گردد.

۵-۲-۱ نوع و مقدار منعقد کننده

در این مرحله نوع و مقدار منعقد کننده تعیین شد. نتایج بهینه سازی این مرحله نشان داد منعقد کننده پک در حجم ۳۰۰ میلی لیتر از امولسیون به مقدار ۹ میلی گرم انتخاب گردید.

۵-۳ بهینه سازی فرآیند جداسازی چربی

بهینه سازی پارامتر pH

با توجه به نتایج مشاهده شد که با افزایش pH مقدار درصد حذف چربی با غلظت اولیه ۴۳۱ میلی گرم بر لیتر افزایش می یابد. با افزایش pH میزان سودی که جهت تغییر pH در محلول ریخته می شود نیز افزایش می یابد و دقت آزمایش را پایین می آورد، در نتیجه pH معادل ۸ که pH آب شهری بدون سود می باشد و میزان حذف چشمگیری دارد را در نظر می گیریم.

بهینه سازی اندازه حباب

نتایج حاصل از آزمایش ها نشان می دهد با حجم هوای یکسان میزان حذف چربی توسط میناب ۶۴/۷ درصد، توسط سنگ هوا ۵۷/۲ درصد و به وسیله کمپرسور ۵۵/۵ درصد می باشد.

بهینه‌سازی تنوع گاز

پس از بهینه‌سازی pH و اندازه حباب‌ها، گاز بهینه ورودی دستگاه میناب برای جداسازی چربی از امولسیون با غلظت اولیه ۴۳۶/۸ میلی گرم بر لیتر اکسیژن انتخاب گردید.

۴-۵ جمع‌بندی نتایج جداسازی آهن

با توجه به نتایج آنالیز XRD و XRF ماده ته‌نشین شده از اکسیداسیون پساب به روش میناب، از نمک تجاری کلراید آهن استفاده می‌شود. با توجه به نتیجه SEM میناب اوزون در پسابی که دارای آهن است نه تنها منجر به جداسازی آهن شده است بلکه منجر به تولید نانو اکسید آهن می‌شود که کاربرد زیادی دارد.

۵-۵ پیشنهادها برای مطالعات آتی

با توجه به کارایی میناب در حذف چربی و آهن به منظور انجام مطالعات آتی پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

- ۱- بررسی تاثیر فناوری میناب بر امولسیون روغن در صنایع مختلف من جمله روغن‌های خوراکی
- ۲- بررسی تولید نانو ذرات سایر فلزات به روش میناب
- ۳- بهینه‌سازی جداسازی آهن به روش میناب

مراجع

اخوان ا، کلاه چی ز، ۱۳۹۶، " بررسی رفتار آبشویی وابسته به pH مس، روی، آهن و منگنز از لجن فاضلاب شهری"، محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۰، شماره ۴، صفحات ۷۳۵-۷۴۳.

بهرامی م، برومند نسب س، کشکولی ح.ع، فرخیان فیروزی ا، بابایی ع.ا، ۱۳۹۲، "حذف کادمیم از محلول های آبی با استفاده از نانو ذرات مگنتیت اصلاح شده"، مجله سلامت و محیط، فصل نامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ششم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۲، صفحات ۲۲۱ تا ۲۳۲.

پازوکی س، جعفری ح.ر، ۱۳۹۴، "مدیریت پسماندهای صنعتی مطالعه موردی: شهرک صنعتی عباس آباد"، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره چهار، بهار ۹۶، صفحه ۴۸۴-۴۷۷.

جاوید ا.ح، حسنی ا.ح، گهواربند س، ۱۳۹۱، "بررسی کیفیت و کمیت فاضلاب های صنایع غذایی و تاثیر آن بر عملکرد سیستم تصفیه فاضلاب (مطالعه موردی: کارخانه مینو-خرمدره)"، علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره هفدهم، شماره یک، بهار ۹۴، صفحات ۴۷-۳۹.

حبیبی ز، کنوز ا، ۱۳۷۸، "روش های عملی آزمایشگاه های شیمی"، انتشارات شهر آب، چاپ اول، صفحه ۶۰۴ و ۶۰۵.

عبدالهی ن، دهقانی م.ه، ندافی ک، چنگانی ف.ا، محوی ا.ح، اصفهانی ن.م، ۱۳۹۴، " کارایی فرآیند شناورسازی با هوا در حذف روغن و گریس از فاضلاب کارخانه فولاد"، فصلنامه پژوهش در به داشت محیط / دوره اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۴، صفحه ۱۰۶ تا ۱۱۱.

کرامتی ح، پرورش ع، موحدیان عطار ح، " بررسی کارایی سیستم شناورسازی با هوای محلول در کاهش بار آلودگی فاضلاب کارخانه روغن نباتی ناز اصفهان"، افق دانش، مجله دانشکده علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی گناباد، دوره ۱۲، شماره ۳، ۱۳۸۶.

معاون برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، ۱۳۸۹، " ضوابط زیست محیطی استفاده مجدد از آب های برگشتی و پساب ها"، نشریه ۵۳۵.

Abbaspour Nazanin, Richard Hurrell, and Roya Kelishadi, 2014, "Review on iron and its importance for human health", *Research in medical sciences*, 19(2), 164–174.

Agrawal Ashutosh, Jern Ng Wun, Liu Yu, 2011, "Principle and applications of microbubble and nanobubble technology for water treatment", *Chemosphere* 84, 1175–1180.

Ahluwalia S.S, Goyal D, 2007, "Microbial and plant derived biomass for removal of heavy metals from wastewater", *Bioresour Technol* 98, pp 2243-2257.

A.L. Ahmad, S. Sumathi, B.H. Hameed, 2005, "Residual oil and suspended solid removal using natural adsorbents chitosan, bentonite and activated carbon: A comparative study", *Chemical Engineering Journal* 108, 179–185.

A.L. Ahmad, S. Sumathi, B.H. Hameed, 2006, "Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC", *Chemical Engineering Journal* 118, 99–105.

Al-Ani MY, Al-Khalidy FR, 2006, "Use of ionizing radiation technology for treating municipal wastewater", *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 3(4), 360-368.

Adel Al-Gheethi, Radin Maya Saphira Radin Mohamed, Welfrad Nyokiew, Efaq Noman, Amir Hashim Mohd Kassim, 2019, "Establish In-House: A Pre-Treatment Method of Fat, Oil and Grease (FOG) in Kitchen Wastewater for Safe Disposal", *Journal of integrated engineering*, Vol 11, No 2, 171–177.

Angelidou Christina, Keshavarz Elaheh, Richardson M. J, and Jameson G. J, 1977, "The Removal of Emulsified Oil Particles from Water by Flotation", *Ind. Eng. Chem, Process Des. Dev*, Vol. 16, No. 4, p 436-441.

Becher Paul, 1983, "Encyclopedia of emulsion technology".

Beckhoff. B, Kanngießer. B, Langhoff. N, Wedell. R, Wolff. H, 2007, "Handbook of practical X-ray fluorescence analysis", Springer.

Cammarota M.C, Freire D.M.G, 2006, "A review on hydrolytic enzymes in the treatment of wastewater with high oil and grease content", *Bioresour Technol* 97, 2195–2210.

Chakinala A.G, Gogate P. R, Burgess, A. E. and Bremner, D. H, 2008, "Treatment of industrial wastewater effluents using hydrodynamic cavitation and the advanced Fenton process", *Ultrasonics Sonochemistry*. 15, 49–54.

Chen G. Zeng G. Du C. Huang D. Tang L. Wang L. Shen G. (2010) "Transfer of heavy metals from compost to red soil and groundwater under simulated rainfall conditions". *J Hazard Mater*. 181. pp 211-216.

COLLINST G. L and JAMESON G. J, 1976, “EXPERIMENTS ON THE FLOTATION OF FINE PARTICLES”, Chemical Engineering Science, Vol 31, pp 985-991.

Coman V, Robotin B, Ilea P, 2013, “Nickel recovery/removal from industrial wastes: A review”, Resources, Conservation and Recycling 73, 229– 238.

Choo Kwang-Ho, Lee Haebum, Choi Sang-June, 2005, “Iron and manganese removal and membrane fouling during UF in conjunction with prechlorination for drinking water treatment”, Journal of Membrane Science 267, 18–26.

Cox P. A, 1989, “The elements. Their origin, abundance, and distribution”, Oxford University Press, Oxford (UK).

Chu L. B, Xing X. H, Yu A. F, Sun X. L. and Jurcik B, 2008, “Enhanced treatment of practical textile wastewater by microbubble ozonation”, Process Safety and Environment Protection. 86(5):389-393.

Daryabeigi Zand Ali, Hoveidi Hassan, 2015, “Comparing Aluminium Sulfate and Poly-Aluminium Chloride (PAC) Performance in Turbidity Removal from Synthetic Water”, Journal of Applied Biotechnology Reports, Volume 2, Issue 3, 287-292.

Eckenfelder Jr. W.W, 2000, “Industrial Water Pollution Control, third ed”, McGraw-Hill, Boston.

Elsehly E.M.I, Chechenin N.G, Bukunov K.A, Makunin A.V, Priselkova A.B, Vorobyeva E.A, Motaweh H.A, 2016, “Removal of Iron and Manganese from Aqueous Solutions Using Carbon Nanotubes Filters”, Water Science & Technology Water Supply.

Fu Fenglian, Wang Qi, 2011, “Removal of heavy metal ions from wastewaters: A review”, Journal of Environmental Management 92, 407-418.

Gotoh Y, Serizawa A, Eguchi T, Tanaka H. and Lzumi M, 2006, “Oil separation from oil polluted soil by micro bubble injection and separation mechanisms”, Japanese Journal of Multiphase Flow. 20(1):39- 49.

Gu Xuqing, Chiang Shiao-Hung, 1999, “A novel flotation column for oily water clean”, Separation and Purification Technology 16, 193–203.

Hamidi A. Aziz *, Mohd. N. Adlan, Kamar S. Ariffin, 2008, “Heavy metals (Cd, Pb, Zn, Ni, Cu and Cr(III)) removal from water in Malaysia: Post treatment by high quality limestone”, Bioresource Technology 99, 1578–1583.

Holland, H. D, 2006, “ The oxygenation of the atmosphere and oceans”, Philos. Trans. R. Soc. B 361, 903–915.

Hunnemeder MG, 2011, "Enhanced degradation of fats, oils and grease in domestic wastewater sewer networks and grease interception systems using peat humic substances", AICHE annual meeting and Technical Program and Presenters, 1-83.

Jigneshkumar I. B, 2015, "Treatability study of pharmaceutical wastewater by hydrodynamic cavitation process", International Journal of Engineering Research and General. Volume 3, Issue 3.

Kangala B.C, Krystyna M, 2008, "Characterization of the fate of lipids in activated sludge", Journal of Environmental Sciences, 20(5), 536-542.

Kawahara A, Sadatomi M., Sakaeda S. and Tomoaki Iwashita T, 2012, "Water purification by using micro-bubbles and block materials containing aerobic bacterium", International Association of Management Science and Engineering Technology. Volume: 80.

Kunvar P.Singh, Dinesh Mohan, Sarita Sinha, R.Dalwani, 2004," Impact assessment of treated/untreated wastewater toxicants discharged by sewage treatment plants on health, agricultural, and environmental quality in the wastewater disposal area", chemosphere 55, PP 227-255.

Kurian R, Nakhla G, 2006, "Performance of Aerobic MBR Treating High Strength Oily Wastewater at Mesophilic –Thermophilic Transitional Temperatures", Water Environment Foundation, 3249-3255.

Kurniawan T.A, Chan G.Y.S, Lo W.H, Babel S, 2006. "Physico-chemical treatment techniques for wastewater laden with heavy metals", Chemical Engineering Journal 118, 83–98.

Kushwaha JP, Mall VCS, 2011, "An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters", Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 51, 442-452.

Lakherwal D, 2014, "Adsorption of heavy metals: a review", Int J Environ Res Dev. 4, pp 41-48.

Landaburu-Aguirre J. García V. Pongrácz E. Keiski R.L, 2009, "The removal of zinc from synthetic wastewaters by micellar-enhanced ultrafiltration: statistical design of experiments", Desalination, 240, pp 262-269.

Lemine O.M, 2009, "Microstructural characterisation of α -Fe₂O₃ nanoparticles using, XRD line profiles analysis, FE-SEM and FT-IR", Superlattices and Microstructures 45, 576–582.

Li Hengzhen, Hu, Liming, Xia Zhiran, 2013, "Impact of Groundwater Salinity on Bioremediation Enhanced by Micro-Nano Bubbles", Materials, 6, 3676-3687.

Li P, Tsuge H, 2006, “water treatment by induced air flotation using microbubbles”, Chemical engineering of japan, 39, pp 896-903.

Li P, Tsuge H, and Itoh K, 2009, “Oxidation of Dimethyl Sulfoxide in Aqueous Solution Using Microbubbles”, Ind. Eng Chem. Res, 48, 8048-8053.

Martelli S, Mancini A ,Giorgi R ,Alexandrescu R,Cojocaru S, Crunteanu A ,Voicu I , Balu M, Morjan I, 2000, “Production of iron-oxide nanoparticles by laser-induced pyrolysis of gaseous precursors”, Applied Surface Science 154–155, 353–359.

Meesap Kanlayanee, Boonapatcharoen Nimaradee, Techkarnjanaruk Somkiet and Chaiprasert Pawinee, 2012, “Microbial Communities and Their Performances in Anaerobic Hybrid Sludge Bed-Fixed Film Reactor for Treatment of Palm Oil Mill Effluent under Various Organic Pollutant Concentrations”, Journal of Biomedicine and Biotechnology Volume 2012, Article ID 902707, 11 pages.

Metcalf and Eddy, 2002, "Wastewater Engineering, Treatment and Reuse", Fourth Edition, McGraw-Hill, New York, pp 10-20.

Nemerow R.E, 1978, “Industrial water pollution: origins”.

Qamsari Mobarak E, Kermanshahi R, Nosrati M, Amani T, 2012, ”Enzymatic pre-hydrolysis of high fat content dairy wastewater as pretreatment for anaerobic digestion”, Int. J. Environ. Res, 6(2), 475-480.

Pawlak Z, Rauckyte T, Oloyede A, 2008, “Oil, grease and used petroleum oil management and environmental economic issues”, Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, 26(1), 11-17.

Peavy H, Rowe D.R, Tchobanoglous D.J.N.Y, USA 1985, "Environmental Engineering McGraw-Hill", Chapter 2, pp 44.

Pereira-da-Silva M.D.A Ferri F.A, 2017, "Scanning Electron Microscopy, Nanocharacterization Techniques".Chapter. pp.1-35.

Porto Graça and Maria De Sousa, 2007, “Iron overload and immunity”, World Journal of Gastroenterol, 13(35), 4707–4715.

Radhika Parasuram Rajam, Harish.R, Guru Prasad.S, Sampath Kumar Ramanathan, 2016, Review Article “NANO BUBBLES”, British Journal of Pharmaceutical and Medical Research Vol.01, Issue, 02, Pg.72-79.

Rattanapan Cheerawit, Sawain Aneak, Suksaroj Thunwadee, Suksaroj Chaisri, 2011, “Enhanced efficiency of dissolved air flotation for biodiesel wastewater treatment by acidification and coagulation processes”, Desalination 280, 370–377.

Saaltink Rémon M, Dekker Stefan C, Eppinga Maarten B, 2017, “Plant-specific effects of iron-toxicity in wetlands”, *Plant and Soil* volume 416, pages83–96.

Sanchez Manu, Sabio Laura, Galvez Natividad, Capdevila Merce`, Dominguez-Vera Jose M., 2015, “Critical Review Iron Chemistry at the Service of Life”, *IUBMB Life*, 382-388.

Sawain A, Wirach T, Udomphon P, Chaisri S, 2009, "The effect of pH on the stability of grease and oil in wastewater from biodiesel production process", *The 10th Annual Conference of Thai Society of Agricultural Engineering*.

Takahashi M, 2005, “Potential of microbubbles in aqueous solution: electrical properties of the gas-water interface”, *The journal of physical chemistry B*, 109,pp 21858-21864.

Takahashi M, 2009, “Base and technological application of micro-bubble and nanobubble”, *Mater. Integr*, 22,pp 2-19.

Tedesco C. Brunelli M, 2017, "Comprehensive Supramolecular Chemistry II". *X-ray Powder Diffraction*. 2. pp 45-73.

Tripathi Ashutosh and Ranjan Manju Rawat, 2015, “Heavy Metal Removal from Wastewater Using Low Cost Adsorbents”, *Bioremediation & Biodegradation*, Volume 6, Issue 6.

Tsuge H, 2014, “Micro and Nanobubbles: Fundamental and Application”, *CRC Press*.

United States, Environmental Protection Agency, 2018, "Office of Water. 2004 Edition of the Drinking Water Standards and Health Advisories", *United States Environmental Protection Agency, Office of Water*.

Vestergaard N. K, Stephansen U, Rasmussen L, 1985, “Airborne heavy metal pollution in the environment of a Danish steel plant”, *Riso National Laboratory, P.O. Box 49, DK-4000 Roskilde, Denmark*.

Wedepohl, K. H, 1995, “The composition of the continental crust”, *Geochim.Cosmochim. Acta* 59, 1217–1223.

Williams J. B, Clarkson, Mant C, DrinkwaterC, May E, 2012, “Fat, oil and grease deposits in sewers: Characterisation of deposits and formation mechanisms”, *Water Research*, 46(19), 6319-6328.

Wu Z, Chen H, Dong Y, Mao H, Sun J, Chen S, Craig V.S, Hu J, 2008, “Cleaning using nanobubbles: Defouling by electrochemical generation of bubbles”, *Journal of Colloid and Interface Science* 328, 10–14.

Yamasaki K, Uda K, Chuhjoh K, 2009, “Wastewater treatment equipment and method of wastewater treatment”, US2009,0020474 A1.

Zhang Wei-xian, 2003, “Nanoscale iron particles for environmental remediation: An overview”, *Journal of Nanoparticle Research* 5, 323–332.

Zheng T., Wang Q., Zhang T., Shi Z., Tian Y., Shi S., Smale N. and Wanga J, 2015, “Microbubble enhanced ozonation process for advanced treatment of wastewater produced in acrylic fiber manufacturing industry”, *Journal of Hazardous Materials*. 287: 412–420.

Zheng Y.Y, Zhao C.C, 1993, “A study of kinetics on induced air flotation for oil–water separation”, *Separation Science and Technology* 28, 1223–1240.

Zouboulis A.I, Avranas A, 2000, “Treatment of oil-in-water emulsions by coagulation and dissolved-air flotation”, *Physicochemical and Engineering Aspects* 172, 153–161.

Abstract

The aim of this study was to use micro-nano bubble (MNB) technology to separate oil and iron from aqueous solution in a batch system. In this study, several steps including flotation with MNB, pack coagulant and filter paper were taken to separate the oil in the emulsion while ozone MNB was used for oxidation of soluble iron. The influence of factors affecting the flotation process, pH size, bubble size, type of inlet gas and initial concentration for fat separation were investigated. Also, the properties of the precipitated iron oxides were determined by XRD, XRF and SEM analyzes. Based on the results, it was found that the maximum percentage of oil removal from the emulsion at a concentration of 430-440 mg / l by flotation with Minab technology, air stone and aeration with a compressor, with a fixed volume of 1.8×10^{-4} cubic meters of air, respectively 64.8, 57.2% and 55.5%. Oil removal at pHs of 3, 7, 9 and 10 were measured as 32.9, 45, 53.6 and 62.3%, respectively. According to the results of XRD, XRF and SEM, the oxidation of soluble iron with ozone led to the production of iron oxide nanoparticles. In general, the separation of fat and iron by flotation of Minab technology is more efficient than flotation with different bubble sizes.

Keywords (5 to 7 keywords): Remove of fat, Remove of iron, minab, heavy metals



Shahrood University of
Technology

Faculty of Civil Engineering

M.Sc. Thesis in Environmental Engineering

Feasibility study of separation fat and heavy metal (emphasis: Fe) from wastewater with technology MNB

By:Hale Nezami

Supervisor:
Dr. Seyed Fazlolah Saghravani

September,2020