

# مشخصه‌یابی فیزیکی و شیمیایی رسوب چربی و روغن موجود در خطوط فاضلاب شهر مشهد و راه‌های جلوگیری از آن

مهدی کمالی<sup>۱</sup>، مجید پیروز<sup>۲</sup>، جلیل جلیلیان<sup>۳</sup>، محمدعلی اسداللهی<sup>۴</sup>

۱- مربی مرکز پژوهشی مهندسی فرایند، دانشگاه اصفهان و دانشجوی دکترای مهندسی آب و فاضلاب، دانشکده مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران

(نویسنده مسئول) ۳۷۹۳۴۰۸۰ (۰۳۱) m.kamali@eng.ui.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه اصفهان

۳- کارشناس مهندسی آب و فاضلاب، شرکت آب و فاضلاب مشهد

۴- استادیار گروه زیست‌فناوری، دانشکده علوم و فناوری‌های نوین، دانشگاه اصفهان

(دریافت ۹۴/۲/۹ پذیرش ۹۴/۶/۳۱)

## چکیده

رسوب‌های ناشی از روغن، چربی و گریس در خطوط فاضلاب باعث سرریز فاضلاب، آسیب به محیط زیست و خطرات بهداشتی می‌شود. آنالیز دو نمونه رسوب جمع‌آوری شده از شبکه فاضلاب خیابان امام رضا (ع) در شهر مشهد، نشان داد که واکنش‌های شیمیایی روغن‌های خوراکی در خطوط فاضلاب، منجر به تشکیل صابون غیر محلول و ایجاد رسوب در خطوط فاضلاب می‌شود. این رسوب‌ها به دلیل چسبندگی زیاد به مرور زمان درون لوله جمع و موجب انسداد آن می‌شود. رطوبت این نمونه‌ها ۵۰ و ۶۲ درصد است که نشان می‌دهد آب نقش اساسی در تشکیل آن‌ها ندارد. مقدار اسید چرب اشباع نمونه‌ها ۶۱/۷۸ و ۸۴/۳۵ درصد و اسید چرب اشباع غالب، اسید پالمیتیک است. کلسیم مهم‌ترین فلز حاضر در این نمونه‌ها است که هم از راه سختی آب و هم خوردگی لوله‌های فاضلاب ایجاد می‌شود. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده و منشأ ایجاد این رسوب‌ها، راه‌حلهایی برای جلوگیری از ایجاد رسوب و انسداد خطوط فاضلاب بر اساس دستورالعمل مدیریت روغن و چربی با در نظر گرفتن شرایط محیطی و فرهنگی منطقه پیشنهاد شده است. این پیشنهادها در حال بررسی و ابلاغ برای اجرا است.

**واژه‌های کلیدی:** مشخصات فیزیکی و شیمیایی، رسوب چربی و روغن، انسداد خطوط فاضلاب، مدیریت چربی و روغن

## ۱- مقدمه

کیلوگرم روغن و چربی از طریق منابع خانگی به فاضلاب تخلیه شده است [۳]. رسوب‌های ناشی از روغن و چربی عامل نخست ۴۰ تا ۵۰ درصد سرریزهای فاضلاب در آمریکا شناخته شده‌اند [۴]. در نتیجه این سرریزها، سالانه بالغ بر ۱/۸ میلیون مترمکعب فاضلاب تصفیه‌نشده وارد محیط می‌شود [۵]. بنابراین پیشگیری مؤثر از وقوع این سرریزها، نیازمند درک فرایند تشکیل رسوب‌های روغن و چربی در خطوط فاضلاب است.

برخی گزارش‌ها حاکی از این است که رسوب‌های روغن و چربی در فاصله ۵۰ تا ۲۰۰ متری مؤسسه‌های خدمات غذایی و با تناوب ۳۰ روزه تا ۲ ساله ایجاد گرفتگی می‌کنند [۶]. رسوب‌های روغن و چربی چسبندگی زیادی دارند و به راحتی به دیواره داخلی لوله‌ها می‌چسبند. به علاوه اکثر این رسوب‌ها یک بافت دانه‌دار و تنش تسلیم بالا دارند که برای تمیزکردن آن‌ها به شستشوی تحت

روغن و چربی موجود در فاضلاب مؤسسات خدمات غذایی مانند رستوران‌ها و مؤسسه‌های تهیه غذا و همچنین مناطق مسکونی پرجمعیت، ممکن است منجر به انسداد و در نتیجه سرریز خطوط فاضلاب شود. این امر می‌تواند مقدار زیادی پاتوژن و آلاینده‌های جامد را وارد محیط کند و سلامت عمومی را به خطر اندازد. منابع تولید روغن و چربی به سه دسته خانگی، تجاری و صنعتی تقسیم می‌شوند. در شهر دویلین در سال ۲۰۱۳ گزارش شده است که رسوب‌های روغن، چربی و گریس<sup>۱</sup> در مناطقی از شهر که تمرکز رستوران‌ها زیاد است، به یک بحران تبدیل شده است [۱]. در اسکاتلند حدود ۵۵ درصد از گرفتگی مجاری فاضلاب ناشی از تخلیه نابجای چربی منابع خانگی به مجاری فاضلاب است [۲]. در بریتیش کلمبیای کانادا، تنها در سال ۲۰۱۳، حدود یک میلیون

<sup>۱</sup> Fat, Oil and Grease (FOG)

تشکیل شده، نمک‌های اسید چرب بر پایه کلسیم هستند که سرعت تجمع آن‌ها در حضور بلوک سیمانی و pH خنثی بیشتر از pH‌های قلیایی است.

کلسیم که فلز غالب در رسوب‌های روغن و چربی است، احتمالاً از خوردگی سطوح بتنی در pH‌های پایین به وجود می‌آید و سپس در فرایند تشکیل رسوب شرکت می‌کند. نتایج تحقیق هی و همکاران<sup>۳</sup> نشان داد که رسوب‌های ویسکوزتری روی سطوح بتنی تشکیل می‌شوند و همچنین خوردگی بتن در حضور اسیدهای چرب آزاد غیراشباع برخلاف اسیدهای چرب آزاد اشباع تسریع می‌شود [۱۰].

نتایج یک پژوهش در کشور انگلستان نشان داد که مقدار رطوبت رسوب‌های روغن و چربی از ۱۵ تا ۹۵ درصد و مقدار روغن آن‌ها از صفر تا ۵۴۸ میلی‌گرم بر گرم متغیر بود. آبی که در تماس با رسوب‌های روغن و چربی بود، به طور متوسط حاوی ۸۰۰ میلی‌گرم بر گرم روغن بود. مقایسه اسیدهای چرب موجود در نمونه‌های رسوب با روغن‌های سرخ‌کردنی نشان از تغییر شکل این روغن‌ها از حالت غیراشباع به اشباع داشت که می‌تواند ناشی از فعالیت‌های میکربی باشد [۸].

شهر مشهد یکی از شهرهایی است که به علت وجود جاذبه‌های زیارتی و سیاحتی، تعداد زیادی گردشگر داخلی و خارجی را در سال جذب می‌کند. به همین دلیل، تعداد زیادی رستوران در شهر مشهد فعالیت دارند که می‌توانند مقدار زیادی روغن و چربی را وارد شبکه فاضلاب شهری نمایند. لذا این پژوهش با هدف مشخصه‌یابی رسوب روغن و چربی در خطوط فاضلاب شهر مشهد به منظور یافتن راهکاری برای پیشگیری از تشکیل رسوب و انسداد شبکه انجام شد.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- روش نمونه‌برداری

دو نمونه از رسوب‌های چربی و روغن تشکیل شده در خطوط فاضلاب خیابان امام رضا (ع) در شهر مشهد نزدیک هتل‌ها و مهمانسراهای بزرگ آن با ورود به شبکه از طریق منهول و کندن آن از تاج لوله جمع‌آوری شد. این نمونه‌ها ناشی از ورود بیش از حد روغن و چربی همراه با ضایعات دیگر بود و باعث ایجاد انسداد در شبکه شده بود. نمونه‌ها در نایلون‌های پلاستیکی مناسب قرار داده شد و در یخچال نگهداری نمونه، در دمای ۴ درجه سلسیوس به آزمایشگاه ارسال شد. لازم به ذکر است که محل نمونه‌برداری با

فشار با فشاری بالاتر از ۱۳/۸ مگاپاسکال نیاز است [۶]. فرض بر این است که رسوب‌های روغن و چربی، نمک‌های فلزی اسیدهای چرب هستند که از واکنش شیمیایی روغن و چربی، شوینده‌ها و مواد ضد عفونی‌کننده و یون‌های فلزی مانند کلسیم ایجاد می‌شوند [۷]. برخی مواقع، نمک‌های فلزی اسیدهای چرب که به آن‌ها صابون گفته می‌شود، در آب نامحلول هستند. این صابون‌های نامحلول از کلسیم، منیزیم و آلومینیوم حاصل می‌شوند. یون‌های کلسیم به طور طبیعی در فاضلاب خانگی و فاضلاب بهداشتی صنایع وجود دارد.

تشکیل لخته در شبکه فاضلاب، در عملکرد بخش‌های مختلف سامانه جمع‌آوری و تصفیه فاضلاب تداخل ایجاد می‌کند که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۸]:

- ایجاد گرفتگی در لوله‌ها و مجاری و افزایش افت فشار؛
- بروز مزاحمت‌ها و مشکلاتی در عملکرد تجهیزات و پمپ‌ها و کاهش کارایی و عمر مفید آن‌ها؛
- ایجاد اختلال در فرایندهای تصفیه‌خانه و تأثیرات سوء در عملکرد بهینه آن‌ها؛
- کاهش تبادل اکسیژن از هوا به فاضلاب و از فاز گازی به فاز مایع در سطح حوضچه‌ها؛
- کاهش عمق نفوذ مؤثر نور خورشید به منظور انجام فعالیت‌های متابولیکی میکروارگانیسم‌ها و ممانعت از سنتز سلولی و در نهایت افت راندمان حذف آلاینده‌ها در فرایند بیولوژیکی؛
- افزایش جامدات معلق در خروجی سامانه (عدم تطابق با استانداردهای خروجی محیط زیست) در صورت راه‌یابی چربی و روغن به پساب خروجی تصفیه‌خانه.

در زمینه بررسی فرایند تشکیل رسوب‌های روغن و چربی در خطوط فاضلاب و ویژگی‌های این رسوب‌ها چندین پژوهش به‌ویژه در کشور آمریکا انجام شده است. کینر و همکاران<sup>۱</sup> با جمع‌آوری نمونه‌های مختلف رسوب روغن و چربی از ۲۳ شهر آمریکا، خواص فیزیکی از جمله میزان رطوبت و تخلخل و نیز ترکیبات موجود در آن‌ها را تعیین نمودند [۶]. رطوبت موجود در نمونه‌های آن‌ها از ۱۰ تا ۶۰ درصد و تخلخل آن‌ها از ۱۰ تا ۲۴ درصد متغیر بود. همچنین ۸۴ درصد از این نمونه‌ها حاوی مقادیر زیادی از اسیدهای چرب اشباع و کلسیم بودند.

دومینیک و همکاران<sup>۲</sup> با ساخت یک سیستم جمع‌آوری فاضلاب در مقیاس آزمایشگاهی، فرایند تشکیل رسوب روغن و چربی را بررسی کردند [۹]. آن‌ها متوجه شدند که رسوب‌های

<sup>1</sup> Keener et al.

<sup>2</sup> Dominic

<sup>3</sup> He et al.

الف) از اختلاف وزن کاغذ صافی اولیه و کاغذ صافی خشک شده حاوی ذرات جامد، تقسیم بر وزن اولیه رسوب چربی به میزان ۱۰ گرم، درصد کل جامدات معلق (TSS) نمونه حاصل شد: ب) از اختلاف وزن کاغذ صافی اولیه و کاغذ صافی خشک شده حاوی ذرات جامد، و کم کردن آن از وزن اولیه رسوب چربی به میزان ۱۰ گرم، وزن روغن قابل استخراج حاصل شد و درصد روغن قابل استخراج نمونه با تقسیم این عدد بر وزن اولیه رسوب چربی به دست آمد [۱۴].

۲-۲-۴- شناسایی و اندازه‌گیری اسیدهای چرب  
برای آنالیز انواع اسیدهای چرب از کروماتوگرافی گازی و نمونه زیر صافی مرحله قبل استفاده شد. با افزودن تولوئن (CarloEbra:386001) و ۱۰ میلی‌لیتر اسید سولفوریک (Merck:306657) به نمونه زیر صافی قبل، صفر تا ۱۰ درصد تری‌گلیسیریدهای نمونه هیدرولیز شد. سپس مخلوط به مدت ۲ ساعت رفلکس شده و تری‌گلیسیریدها و اسیدهای چرب به متیل استرهاي آن‌ها تبدیل شد. سپس محلول کلرید سدیم (Merck: 479687) اضافه شد. در نهایت لایه تولوئنی روی مخلوط آنالیز شد. آنالیز می‌تواند گویای حضور اسید پالمیتیک (C16)، اسید اولئیک (C18:1) و اسید لینولئیک (C18:2) به عنوان اسیدهای چرب رسوب باشد [۱۵].

آنالیز توسط دستگاه کروماتوگرافی گازی اجیلنت<sup>۲</sup> مدل 7890A ساخت کشور آمریکا انجام شد. دستگاه مجهز به آشکارساز FID<sup>۳</sup> و ستون ۱۲۰ متری ۱۲۰ × 0.25mm × 0.25 BPX70 (120m) ساخت شرکت SGE استرالیا بود. از گاز هلیوم با شدت جریان یک میلی‌لیتر در دقیقه به عنوان گاز حامل استفاده شد. دمای تزریق‌کننده و آشکارساز هر دو در ۲۵۰ درجه سلسیوس انتخاب شد. نمونه بعد از آماده‌سازی، توسط سرنگ ۱ میکرولیتر به دستگاه تزریق شد [۱۵].

۲-۲-۵- نقطه‌ی ذوب  
برای اندازه‌گیری نقطه ذوب نمونه، نمونه در یک لوله مویینه قرار داده شد. با حرارت دادن لوله در ۲ درجه سلسیوس بر دقیقه، نقطه ذوب چربی استخراج شده با دقت قابل قبولی به دست آمد [۱۶].

۲-۲-۶- میزان فلزات  
نمونه همگن چربی به وزن ۱۰ گرم با ۱۰۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک ۵۰ درصد مخلوط و به مدت ۱۵ دقیقه در دمای

توجه به تاریخچه شبکه فاضلاب از نظر گرفتگی انتخاب شد. مشکل گرفتگی خطوط فاضلاب در شهر مشهد به طور عمده در منطقه یک آب و فاضلاب و به‌ویژه خیابان امام رضا (ع) است. نمونه‌برداری در تابستان سال ۱۳۹۳ انجام شد. انتخاب زمان نمونه‌برداری با توجه به زمان اوج مسافرت به شهر مشهد و نیز افزایش مشکل گرفتگی خطوط فاضلاب بود.

## ۲-۲- آنالیز نمونه‌ها

برای شناسایی ماهیت فیزیکی و شیمیایی رسوب چربی و روغن انسدادکننده شبکه، پارامترهای مختلفی مانند خواص فیزیکی و وزن سنجی، عناصر تشکیل‌دهنده و شکل اسیدهای چرب اندازه‌گیری و ارزیابی شد [۱۱].

۲-۲-۱- اندازه‌گیری میزان رطوبت نمونه  
مقدار ۱۰ گرم از رسوب در بوتله سرامیکی تا دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس به مدت ۱۸ ساعت حرارت داده شد و سپس در دسیکاتور تا دمای اتاق خنک شد. اختلاف وزن قبل و بعد، بر حسب درصد گویای میزان رطوبت نمونه است [۱۲].

۲-۲-۲- میزان جامدات فرار  
مقدار ۱۰ گرم از رسوب به مدت ۳۰ دقیقه در یک کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس نگهداری شد و پس از خنک شدن، اختلاف وزن نمونه قبل و بعد از حرارت دادن بر حسب درصد محاسبه شد که گویای میزان جامدات فرار نمونه است [۸ و ۱۳].

۲-۲-۳- میزان روغن و کل جامدات معلق (TSS)<sup>۱</sup>  
فرایند استخراج از ۱۰ گرم رسوب که میزان رطوبت اولیه آن به روش قبل حذف شده و در دسیکاتور خنک شده است، با مخلوط حلال ۸۰ درصد نرمال هگزان و ۲۰ درصد متیل نوع سوم بوتیل اتر انجام شد.

پس از استخراج با حلال، pH نمونه با افزودن اسیدکلریدریک در مقدار ۲ تنظیم شد. سپس ۲۰۰ میلی‌لیتر حلال نرمال هگزان-بوتیل اتر به آن افزوده شد و فرایند به مدت ۲ دقیقه همراه با رفلکس ادامه یافت. به کمک کاغذ صافی قسمت جامد نمونه از حلال جدا و شسته شد. در پایان، نمونه به مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس خشک و مقدار روغن قابل استخراج و کل جامدات معلق آن به شرح زیر حاصل شد:

<sup>2</sup> Agilent

<sup>3</sup> Flame Ionization Detector (FID)

<sup>1</sup> Total Suspended Solid (TSS)

آشکارساز قدرتمند CCD، از قدرت تفکیک بالایی برخوردار بود و حداقل مزاحمت‌ها را برای اندازه‌گیری فلزات داشت.

### ۳- نتایج و بحث

نتیجه‌ی آنالیز دو نمونه رسوب چربی در جدول ۱ آورده شده است. همان‌گونه که در جدول ۱ قابل مشاهده است، بخش عمده این دو نمونه از اسیدهای چرب اشباع تشکیل شده است که مقدار این پارامتر برای نمونه‌های ۱ و ۲ به ترتیب ۶۱/۷۸ و ۸۴/۳۵ درصد است. اسید چرب اشباع غالب در هر دو نمونه اسید پالمیتیک است که میزان ۳۸/۷ و ۶۱/۲۹ درصد از اسیدهای چرب را به ترتیب در

۹۵ درجه سلسیوس رفلاکس شد. پس از سرد شدن نمونه، ۵۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک به آن افزوده شد و به مدت ۳۰ دقیقه به هم زده شد. سپس نمونه با آب بدون یون تا رسیدن غلظت اسید نیتریک به ۲ درصد رقیق شد. در پایان نمونه با روش جذب اتمی آنالیز شد. آنالیز فلزات کلسیم، سدیم، منیزیم، آهن و آلومینیوم توسط دستگاه جذب اتمی Analytik Jena AG مدل ContrAA 300 با اتم‌ساز شعله و اندازه‌گیری فلز سرب با همین دستگاه مدل ContrAA 700 ساخت کشور آلمان با اتم‌ساز کوره گرافیت مطابق استاندارد ملی شماره ۹۲۶۶ و استاندارد AOAC 985.35 انجام شد [۱۷ و ۱۸].

دستگاه جذب اتمی مورد استفاده به دلیل داشتن دو مونوکروماتور و

جدول ۱- نتیجه آنالیز دو نمونه رسوب چربی شهر مشهد

نمونه‌ی چربی ۲	نمونه‌ی چربی ۱	واحد	پارامتر
۶۱/۱۵	۵۰/۶۵	درصد وزنی	رطوبت
۷۸	۶۷	°C	نقطه‌ی ذوب
۳۷/۳۸	۴۴/۷	درصد وزنی	میزان جامد فرار (ترکیبات آلی)
۲۶/۷۱	۱۰/۵۸	درصد وزنی	میزان روغن (مواد محلول در حلال آبی)
۸۴/۳۵	۶۱/۷۸	گرم در صد گرم نمونه	اسیدهای چرب اشباع
۱۵/۶۱	۳۸/۱۶	گرم در صد گرم نمونه	اسیدهای چرب غیر اشباع
۱۲/۲۸	۳۴/۹	گرم در صد گرم نمونه	اسیدهای چرب سیس
۳/۳۳	۳/۲۶	گرم در صد گرم نمونه	اسیدهای چرب ترانس
۱/۳۳	۴/۶۷	گرم در صد گرم نمونه	اسید لینولئیک سیس (غیر اشباع)
۶/۶۵	۱۰/۰۶	گرم در صد گرم نمونه	اسید میریستیک (اشباع)
۶۱/۲۹	۳۸/۷	گرم در صد گرم نمونه	اسید پالمیتیک (اشباع C <sub>16</sub> )
۱۵/۹۴	۱۲/۴۸	گرم در صد گرم نمونه	اسید استئاریک (اشباع)
۰/۴۷	۰/۵۴	گرم در صد گرم نمونه	اسید اراشیدیک (اشباع)
۲/۰۶	۵/۵۹	گرم در صد گرم نمونه	اسید میریستولئیک (غیر اشباع)
۲/۲۶	۲/۰۷	گرم در صد گرم نمونه	اسید پالمیتولئیک (غیر اشباع)
۳/۳۳	۳/۲۶	گرم در صد گرم نمونه	اسید اولئیک ترانس (غیر اشباع)
۶/۲۵	۱۸/۹۲	گرم در صد گرم نمونه	اسید اولئیک سیس (غیر اشباع C <sub>18:1</sub> )
۰/۳۸	۳/۶۵	گرم در صد گرم نمونه	اسید لینولئیک (غیر اشباع C <sub>18:2</sub> )
ND <sup>۱</sup>	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید دوکوزاهگزانوئیک اسید
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسیدهای چرب تک غیر اشباع
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسیدهای چرب چند غیر اشباع
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید اولئیک (مجموع ایزومرهای سیس و ترانس)
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید بوتیریک
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید کاپروئیک
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید کاپریلیک
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید کاپریک
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید لوریک
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید پنتادکانوئیک
ND	ND	گرم در صد گرم نمونه	اسید مارگاریک
۴۱۹۲/۶۸۰۶۵	۸۷۱۹/۶۸۰۶۵	میلی‌گرم بر کیلوگرم	مجموع فلزات موجود در نمونه

<sup>۱</sup>ND: Non Detectable

نشان می‌دهد که میزان چربی اشباع در دو نمونه رسوب بیش از چربی اشباع در این روغن‌ها است (جدول‌های ۲ و ۳). دلیل این امر را می‌توان در فعالیت میکربی در شبکه فاضلاب دانست. اسیدهای چرب غیراشباع درون خطوط فاضلاب به دلیل وجود فعالیت‌های میکربی طی فرایند اکسایش بتا، هیدروژنه شده و به اسیدهای چرب اشباع تبدیل می‌شوند [۲۳]. اسیدهای چرب اشباع به دلیل نقطه ذوب بالا روی سطح آب انعقاد جامد تشکیل می‌دهند [۲۴]. در جدول ۴، مقایسه‌ای بین ترکیب نمونه‌های به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج پژوهش‌های مشابه قبلی آورده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود نتایج به‌دست آمده در این پژوهش با نتایج کار سایر پژوهشگران مطابقت دارد.

نتیجه‌ی آنالیز فلزات حاضر در دو نمونه رسوب چربی در جدول ۵ آورده شده است.

نمونه‌های ۱ و ۲ تشکیل می‌دهد. پس از آن اسید استئاریک بیشترین سهم را در بین اسیدهای چرب اشباع دارد. اسید اولئیک هم اسید چرب غیراشباع غالب است که به ترتیب مقادیر ۱۸/۹۲ و ۶/۲۵ درصد را در نمونه‌های ۱ و ۲ به خود اختصاص می‌دهد. میزان رطوبت این دو نمونه ۵۰ و ۶۲ درصد متغیر است. این محدوده وسیع از رطوبت نمونه‌ها، نشان می‌دهد که رطوبت نمونه‌ها یک فاکتور تعیین‌کننده در تشکیل این نمونه‌ها نیست [۱۰]. مقایسه ترکیبات موجود در دو نمونه رسوب جمع‌آوری شده و ترکیبات موجود در روغن‌های خوراکی نشان می‌دهد که احتمالاً این رسوب‌ها از روغن‌های خوراکی به‌وجود آمده‌اند (جدول ۲). همچنین مقایسه میزان چربی اشباع و غیراشباع جدول ۱ با انواع مختلف روغن آشپزخانه و نتایج حاصل از اندازه‌گیری مقدار چربی در فاضلاب خروجی از برخی مؤسسات تولیدکننده روغن و چربی

جدول ۲- ترکیبات سازنده روغن‌های آشپزخانه [۱۶]

نوع چربی	اسید چرب اشباع (درصد)	اسید چرب غیراشباع (درصد)	اسید چرب اشباع غالب	اسید چرب غیراشباع غالب (درصد)	پلی‌اسید چرب غیر اشباع غالب
کانولا	۷/۳	۶۲/۹		۳۰/۵	
زیتون	۱۳/۶	۲۵/۸		۶۰/۸	
ذرت	۱۲/۱	۸۰/۹		۷/۰	
پنبه	۴۹/۴	۳۹/۵		۱۱/۱	
بادام زمینی	۱۹/۴	۲۸/۵	اسید پالمیتیک	۳۲	اسید لینولنیک
سویا	۱۵/۴	۲۳/۳		۶۱/۳	
روغن مرغ	۳۳	۴۵/۲		۲۱/۴	
روغن خوک	۴۱/۸	۴۷/۹		۹/۹	
روغن گوشت	۴۷/۹	۴۷/۴		۳/۳	

جدول ۳- مشخصات روغن و چربی خروجی از خط فاضلاب برخی مؤسسه‌ها

پارامتر	[۲۰ و ۱۹]	[۲۱]	[۲۲]
چربی اشباع	٪۳۷/۹	٪۴۸/۶	٪۳۷/۰۳
کاپریلیک اسید (C8:0)	ND	٪۰/۹	ND
دکانوئیک اسید (C10:0)	ND	٪۱/۳	ND
لوریک اسید (C12:0)	ND	٪۳/۰	ND
میریستیک اسید (C14:0)	ND	٪۸/۴	٪۱/۶۶
پالمیتیک اسید (C16:0)	ND	٪۲۳/۱	٪۲۲/۸۳
استئاریک اسید (C18:0)	ND	٪۹/۸	٪۱۲/۵۴
اراشیدیک اسید (C20:0)	ND	٪۲/۱	ND
اسید چرب چند غیر اشباع	٪۷/۴	٪۱۵/۳	٪۱۲/۹۱
لینوئیک اسید (C18:2)	ND	٪۱۵/۳	٪۱۲/۰۹
لینولیک اسید (C18:3)	ND	ND	٪۰/۸۲
اسید چرب تک غیر اشباع	٪۳۹/۵	٪۳۶/۱۰	٪۴۵/۴۹
پالمیتولئیک اسید (C16:1)	ND	ND	٪۳/۱۳
اولئیک اسید (C18:1)	ND	٪۳۶/۱	٪۴۲/۳۶
چربی ترانس	٪۱۵/۲	ND	ND

جدول ۴- مقایسه ترکیب درصد اسیدهای چرب در نمونه‌های به‌دست آمده با پژوهش‌های مشابه قبلی

نمونه	چربی اشباع در چربی کل (%)	چربی اشباع غالب	چربی تک اشباع در چربی کل (%)	چربی تک اشباع غالب	چربی چند غیر اشباع در چربی کل (%)	چربی چند غیر اشباع غالب
۱	۶۱/۷۸	پالمیتیک	ND	اولئیک	ND	لینولئیک
۲	۸۴/۳۵	پالمیتیک	ND	اولئیک	ND	لینولئیک
۱	۵۴	پالمیتیک	۳۸	اولئیک	۶	لینولئیک
۲	۹۶	پالمیتیک	۳	اولئیک	۱	لینولئیک
۱	۷۸/۸	پالمیتیک	۹/۸	اولئیک	۰/۸	لینولئیک
۲	۷۰/۶	پالمیتیک	۱۴/۰	اولئیک	۰/۷	لینولئیک
۱	۵۸/۴	پالمیتیک	۲۷/۹	اولئیک	۸/۳	لینولئیک
۲	۸۶/۸	پالمیتیک	۶/۸	اولئیک	۰/۶	لینولئیک

جدول ۵- آنالیز فلزات موجود در دو نمونه رسوب چربی

پارامتر	واحد	نمونه چربی ۱	نمونه چربی ۲
کلسیم	میلی‌گرم در کیلوگرم	۷۸۰۷/۶۴	۳۱۳۷/۶۶
منیزیم	میلی‌گرم در کیلوگرم	۳۷۲/۷۲	۳۷۹/۱۱
آهن	میلی‌گرم در کیلوگرم	۲۹۵/۹۷	۴۶۱/۲۸
سدیم	میلی‌گرم در کیلوگرم	۱۶۰/۳۱	۱۴۴/۲۴
آلومینیم	میلی‌گرم در کیلوگرم	۸۳/۰۴	۷۰/۳۹
سرب	میلی‌گرم در کیلوگرم	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۰۶۵
نسبت کلسیم به سایر فلزات	درصد	۸۹/۵۴	۷۴/۸۴

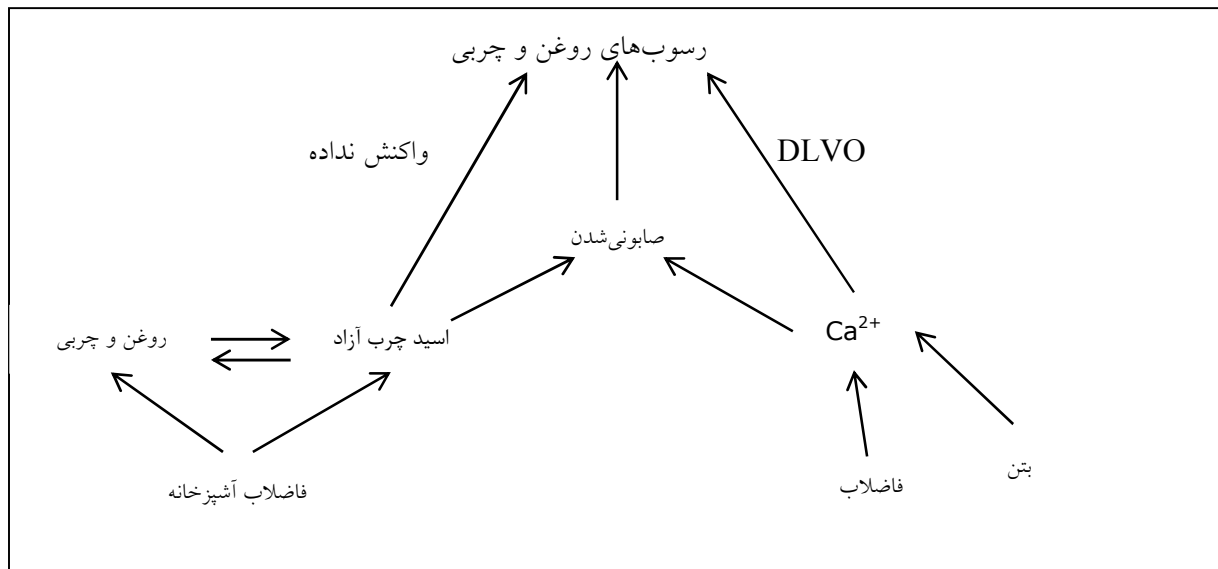
واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی در تشکیل آن‌ها است. بعضی از این لایه‌ها مواد جامد حاصل از واکنش صابونی شدن هستند و بعضی دیگر از لایه‌ها در اثر فرایندهای فیزیکی به دور مواد جامد جمع شده و تشکیل لایه‌های مختلف داده‌اند [۳۰].

در ابتدا واکنش صابونی شدن بین چربی با هیدروکسید فلزی منجر به تولید یک فراورده جامد می‌شود. جامد تولید شده در فرایند شیمیایی، تشکیل یک هسته جامد می‌دهد، که این جامد به دیواره مجرای فاضلاب می‌چسبد. سپس اسیدهای چرب آزاد واکنش‌ن داده و یون‌های اضافی کلسیم به دور این هسته جمع می‌شوند. تئوری DLVO<sup>۱</sup> نیروی بین ذرات باردار در یک محیط مایع را توضیح می‌دهد. این تئوری در واقع توضیح نیروی بین ذرات باردار، بر اساس جاذبه واندروالس و دافعه الکترواستاتیک است. نمونه‌ها دارای ساختاری ماسه مانند، سخت و لایه‌ای دارند. ساختار لایه‌ای رسوب‌های روغن و چربی، نشان دهنده دخیل بودن واکنش‌های فیزیکی و شیمیایی در تشکیل آن‌ها است. بعضی از این لایه‌ها مواد جامد حاصل از واکنش صابونی شدن هستند و بعضی دیگر از لایه‌ها در اثر فرایندهای فیزیکی به دور مواد جامد جمع شده و تشکیل لایه‌های مختلف داده‌اند [۶، ۸، و ۳۰]. شکل ۱ سازوکار تشکیل رسوب‌های روغن و چربی را نشان می‌دهد.

مطابق جدول ۵، کلسیم فلز غالب در هر دو نمونه است و پس از آن منیزیم و آهن قرار دارند. کلسیم علاوه بر سختی آب، از طریق خوردگی بتن دیواره مجاری فاضلاب نیز وارد جریان فاضلاب می‌شود [۲۵]. سدیم موجود در نمونه، از نمک و دیگر افزودنی‌های غذایی که معمولاً در رستوران‌ها استفاده می‌شود، حاصل می‌شود. علاوه بر این، شوینده‌ها و گندزداهای رایج حاوی مقدار زیادی هیدروکسیدسدیم هستند که به‌عنوان یک عامل هیدرولیز قوی برای روغن و چربی عمل می‌کند، و بنابراین منجر به صابونی شدن روغن و چربی می‌شود. هیدروکسیدسدیم یک کاتالیست قلیایی رایج برای واکنش صابونی شدن است [۲۸ و ۲۹]. مقایسه نتایج جدول ۵ با آنالیز فلزات موجود در رسوب‌های روغن و چربی کشور انگلیس، آمریکا و کره جنوبی نشان می‌دهد که مقدار فلزات موجود در رسوب‌های شهر مشهد کمتر از مقدار آن در رسوب‌های این کشورهاست [۶، ۸، و ۲۶]. عواملی چون کیفیت آب مصرفی، نوع مؤسسه ایجادکننده فاضلاب و مشخصات شبکه جمع‌آوری فاضلاب از جمله جنس مواد مورد استفاده در ساخت آن، روی مقدار موجود این فلزات و نیز دیگر آلاینده‌های موجود در فاضلاب و هم رسوب‌های روغن و چربی اثر می‌گذارند.

با این حال مکانیسم تشکیل این رسوب‌های روغن و چربی هنوز نامشخص است. ساختار لایه‌ای رسوب‌های روغن و چربی به‌دست آمده از خطوط فاضلاب شهر مشهد نشان‌دهنده دخیل بودن

<sup>1</sup> Darjaguin-Landau-Verwey-Overbeek



شکل ۱- سازوکار تشکیل رسوب‌های روغن و چربی [۱۰]

- تمیزکردن روغن‌های ریخته‌شده روی زمین قبل از استفاده از آب: اگر روغنی روی زمین ریخته شد، باید قبل از استفاده از آب با دستمال کاغذی یا دستمال توالت تمیز شود تا روغن ورودی به فاضلاب به حداقل برسد.

- محدود کردن استفاده از دفع پسماند غذا به مواد غذایی غیر چرب: رستوران‌هایی که سامانه‌ی دفع پسماند غذایی دارند، باید به دفع مواد غذایی غیر چرب از قبیل کاهو در نواحی تهیه غذا محدود شوند.

- آموزش کارکنان: کارکنان باید به‌گونه‌ای آموزش ببینند که نکات بالا را به‌خوبی رعایت کرده و وسایل کنترل چربی از قبیل تله‌ی چربی را به‌خوبی تمیز کنند.

با انجام این دستورالعمل و نیز نصب دستگاه‌های چربی‌گیر در خروجی فاضلاب رستوران‌ها، می‌توان تا حد زیادی از ورود روغن و چربی به خطوط فاضلاب و مشکلات ناشی از آن جلوگیری کرد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

بر اساس آنالیزهای انجام شده بر روی دو نمونه از رسوب‌های مسدودکننده‌ی خطوط فاضلاب شهر مشهد، مشخص شد کلسیم و به‌دنبال آن منیزیم و آهن از مهم‌ترین فلزات موجود در این رسوب‌ها هستند. همچنین بخش عمده‌ی نمونه‌های جمع‌آوری شده از اسیدهای چرب اشباع تشکیل شده است که مهم‌ترین اسید چرب اشباع حاضر اسیدپالمیتیک و مهم‌ترین اسید چرب غیر اشباع اسیداولئیک است. شباهت ترکیبات سازنده این نمونه‌ها با روغن‌های خوراکی نشان می‌دهد که این رسوب‌ها از روغن‌های

با توجه به اینکه منشاء رسوب‌های مسدودکننده خطوط فاضلاب شهر مشهد در نمونه‌های برداشته شده، روغن و چربی موجود در فاضلاب رستوران‌ها و دیگر مؤسسه‌های خدمات غذایی است، می‌توان با اجرای دستورالعمل مدیریت روغن و چربی در آشپزخانه و نیز نصب دستگاه‌های چربی‌گیر مانند جداساز چربی<sup>۱</sup> و تله‌ی چربی<sup>۲</sup> از ورود این مواد و در نتیجه انسداد خطوط فاضلاب جلوگیری نمود. دستورالعمل مدیریت روغن و چربی در آشپزخانه‌های شهر مشهد با انجام اصلاحاتی در دستورالعمل‌های رایج با توجه به شرایط محیطی و فرهنگی منطقه به‌صورت زیر پیشنهاد شد که در دستور کار مسئولان ذیربط قرار گرفته است [۳۱]:

- جمع‌آوری و بازیافت چربی زرد: از ریختن روغن اضافی به درون زهکشی باید اجتناب شود. هر چه مقدار بیشتری چربی زرد جمع‌آوری و بازیافت شود، چربی کمتری وارد زهکشی، جداساز چربی و تله‌ی چربی می‌شود.

- پاک‌کردن چربی و غذا از بشقاب‌ها و لوازم آشپزخانه قبل از شستن: باقیمانده چربی یا مواد غذایی چرب باید با استفاده از دستکش یا قاشق پلاستیکی قبل از شستن از بشقاب‌ها یا وسایل آشپزی جدا و به سطل زباله ریخته شوند.

- استفاده از درپوش فاضلاب: استفاده از درپوش فاضلاب به‌ویژه در سینک ظرفشویی موجب جلوگیری از ورود چربی یا مواد غذایی چرب به درون سامانه جمع‌آوری فاضلاب می‌شود.

<sup>1</sup> Grease Interceptor  
<sup>2</sup> Grease Trap

## ۵- قدردانی

نویسندگان مقاله از شرکت آب و فاضلاب مشهد به خاطر حمایت مالی از این پژوهش و فراهم نمودن امکانات لازم در قالب طرح پژوهشی شماره ۹۳۲۴۲۲۷ با معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه اصفهان به‌ویژه سرکار خانم مهندس توکلی امینیان و آقای مهندس مسعود روح‌بخش در دفتر تحقیقات آن شرکت و همچنین از کارشناسان صاحب نظر شرکت‌های آب و فاضلاب مشهد، اصفهان و شیراز نیز برای مشاوره و راهنمایی‌های مناسب، تشکر و قدردانی می‌کنند.

خوراکی به‌وجود آمده‌اند، اما تفاوت میزان چربی‌های اشباع این نمونه‌ها با روغن‌های خوراکی و چربی‌های خروجی از خط فاضلاب برخی مؤسسات تولیدکننده روغن و چربی از وقوع واکنش‌های شیمیایی حین تشکیل رسوب حکایت دارد که موجب اشباع شدن بخشی از اسیدهای چرب غیراشباع شده است. با توجه به منشاء ایجاد این رسوب‌ها و با در نظر گرفتن شرایط محیطی و فرهنگی منطقه، با استفاده از دستورالعمل‌های رایج، دستورالعمل مدیریتی برای جلوگیری از تشکیل این رسوب‌ها پیشنهاد شد که با اجرای این دستورالعمل و نیز نصب دستگاه چربی‌گیر در خروجی فاضلاب می‌توان از انسداد خطوط فاضلاب جلوگیری نمود.

## ۶- مراجع

1. Arthur, S., and Blanc, J. (2013). "Management and recovery of FOG (fats, oils and greases)." CREW Project CD2013/6. Available online at: <crew.ac.uk/publications>. (Aug. 2015)
2. Scottish Water. (2012). "Your guide to disposing cooking fats." <<<http://www.scottishwater.co.uk/assets/domestic/files/you%20>>> (June 2015)
3. CRD. (2013). "Capital regional district fats, oils and grease disposal campaign." <<http://www.crd.bc.ca/wastewater/sourcecontrol/residents/fats-oils-grease.htm>> (July 23, 2013)
4. Southerland, R. (2002). "Sewer fitness: Cutting the fat." *Am. City Country*, 117, 27-31.
5. U.S. Environmental Protection Agency. (2003). "Why control sanitary sewer overflows? U.S. Environmental Protection Agency: Washington, D.C. <<http://www.epa.gov/npdes/sso/control/index.htm>>. (Feb. 3, 2007).
6. Keener, K. M., Ducoste, J. J., and Holt, L. M. (2008). "Properties influencing fat, oil, and grease deposit formation." *Water Environment Research*, 80(12), 2241-2246.
7. Lasmin, M., Dean, L. O., Lappi S. E., and Ducoste J. J. (2014). "Factors that influence properties of FOG deposits and their formation in sewer collection systems." *Water Research*, 49, 92-102.
8. Williams, J. B., Clarkson, C., Mant, C., Drinkwater, A., and May, E. (2012). "Fat, oil and grease deposits in sewers: Characterisation of deposits and formation mechanisms." *Water Research*, 46(19), 6319-6328.
9. Dominic, C. C. S., Szakasits, M., and Ducoste, J. (2012). "Understanding the spatial formation and accumulation of fats, oils and grease deposits in the sewer collection system." *Proceedings of the Water Environment Federation*, 6, 7989-7994.
10. He, X., Francis, L., Leming, M. L., Dean, L. O., Lappi, S. E., and Ducoste, J. J. (2013). "Mechanisms of fat, oil and grease (FOG) deposit formation in sewer lines." *Water Research*, 47(13), 4451-4459.
11. Gunstone, F. (2009). *Oils and fats in the food industry*, John Wiley and Sons, USA.
12. Gardner, W.H. (1986). *Water content, in methods of soil analysis Part 1. Physical and mineralogical Methods*, Agronomy Monograph No. 9, Soil Science Society of America, Madison, WI, USA, p. 493-509.
13. Clesceri, L. S., Greenberg, A. E., and Eaton, A. D. (1998). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20<sup>th</sup> Ed., American Public Health Association, Washington DC.
14. Clarkson, C. (2014). "Fat, oil and grease deposits in sewers: Characterisation of deposits and formation mechanisms." Doctoral Dissertation, University of Portsmouth, UK.
15. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (1996). *Animal and vegetable fats and oils- analysis by gas chromatography of methyl esters of fatty acids*, ISIRI number 4091, Tehran. (In Persian)



16. Brittain, H.G., and Bruce, R.D. (2006). "Thermal analysis." Ahuja, S., Jespersen, N. (Eds.). *Comprehensive Analytical Chemistry*, 47, 63-109
17. Institute of Standards and Industrial Research of Iran. (2007). *Foods -determination of lead, cadmium, copper, iron, and zinc - atomic absorption spectrophotometry*, ISIRI number 9266, Tehran. (In Persian)
18. AOAC International. (2005). *35 Flame atomic absorption spectroscopy*, AOAC 985., Official Methods of Analysis of AOAC International, AOAC International.
19. Kabouris, J.C., Tezel, U., Pavlostathis, S.G., Englemann, M., Dulaney, J.A., Todd, A.C., and Gillette, R.A. (2009). "Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of municipal sludge and fat, oil, and grease." *Water Environ. Res.*, 81 (5), 476-485.
20. Kabouris, J.C., Tezel, U., Pavlostathis, S.G., Englemann, M., Dulaney, J., Gillette, R.A., and Todd, A.C. (2009). "Methane recovery from the anaerobic codigestion of municipal sludge and FOG." *Bioresour. Technol.*, 100 (15), 3701-3705.
21. Suto, P., Gray, D.M.D., Larsen, E., and Hake, J. (2006). "Innovative anaerobic digestion investigation of fats, oils, and grease." *Proceedings of the Water Environment Federation*, 2, 858-879.
22. Canakci, M. (2007). "The potential of restaurant waste lipids as biodiesel feedstocks." *Bioresour. Technol.*, 98 (1), 183-190.
23. Gunstone, F. (2009). *The chemistry of oils and fats. Sources, composition, properties and uses*, John Wiley and Sons, USA.
24. Fründ, H. C., and Schoenen, D. (2009). "Quantification of adipocere degradation with and without access to oxygen and to the living soil." *Forensic Science International*, 188(1), 18-22.
26. Shin, H., Han, S., and Hwang, H. (2014). "Analysis of the characteristics of fat, oil, and grease (FOG) deposits in sewerage systems in the case of Korea." *Desalination and Water Treatment*, 54 (4-5), 1318-1326.
27. He, X., Iasmin, M., Dean, L.O., Lappi, S.E., Ducoste, J.J., and Reyes, de F.L. los. (2011). "Evidence for fat, oil, and grease (FOG) deposit formation mechanisms in sewer lines." *Environ. Sci. Technol.*, 45, 4385-4391.
25. Gutiérrez-Padilla, M. G. D., Bielefeldt, A., Ovtchinnikov, S., Hernandez, M., and Silverstein, J. (2010). "Biogenic sulfuric acid attack on different types of commercially produced concrete sewer pipes." *Cement and Concrete Research*, 40(2), 293-301.
28. Bockisch, M. (1998). *Fats and oils handbook*, AOCS Press, Champaign, Illinois, USA.
29. Bettelheim, F., Brown, W., Campbell, M., Farrell, S., and Torres, O. (2012). *Introduction to organic and biochemistry*, Cengage Learning, N.Y.
30. Marchetti, J. M., Miguel, V. U., and Errazu, A. F. (2007). "Heterogeneous esterification of oil with high amount of free fatty acids." *Fuel*, 86(5), 906-910.
31. National Restaurant Association. (2006). "Fats, oils and grease control. program tool kit." <<http://www.ci.rockford.il.us/media/Restaurant%20Grease%20Brochure.pdf>>. (Dec. 2015)