

11790-NWWCE

بررسی پساب ماشین‌های لباسشویی و پیشنهاد یک سامانه مناسب برای تصفیه آن**نرگس شیروی^۱، محمدحسین صراف زاده^{۲*}، امید توکلی^۲، حمیدرضا رشیدی^۲****۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گرایش محیط زیست و انرژی - رشته مهندسی شیمی - دانشگاه تهران****۲- کرسی یونسکو در بازیافت آب، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه****تهران، تهران**

* sarrafzdh@ut.ac.ir

خلاصه

تصفیه و بازیافت آب خاکستری ماشین لباسشویی به عنوان یکی از راهکارهای مقابله با بحران جدی آب، در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است. در پژوهش پیش رو، ابتدا آب خروجی ماشین لباسشویی مورد آنالیز قرار گرفت و پارامترهای مختلف آن مانند pH، مواد جامد محلول، نیترات، نیتريت، آمونیاک، فسفات و COD اندازه‌گیری شد. سپس بر اساس نتایج حاصله از آنالیزها، روش انعقاد شیمیایی برای تصفیه پیشنهاد شد. در انتها آزمایش جار تست برای تعیین نوع و مقدار مناسب منعقد کننده‌ها با استفاده از چهار منعقد کننده آلومینیوم سولفات، آهن(II) سولفات، آهن(III) سولفات و آهن(III) کلرید انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش جار تست نشان می‌دهد که آلومینیوم سولفات با کمترین مقدار مصرف نسبت به بقیه منعقد کننده‌ها (۵۵ میلی‌گرم بر لیتر) بهترین راندمان را از نظر حذف کدورت دارد.

کلمات کلیدی: آب خاکستری، ماشین لباسشویی، انعقاد شیمیایی، آلومینیوم سولفات**۱. مقدمه**

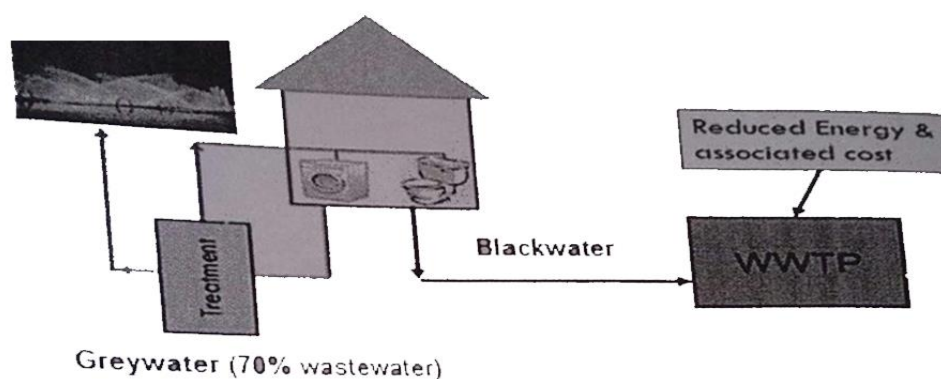
امروزه بسیاری از کشورهای جهان به دلایلی از جمله رشد روزافزون جمعیت، توسعه صنایع، تغییرات آب و هوا و همچنین محدودیت منابع آبی در دسترس، با بحران آب مواجه هستند. به منظور مقابله با بحران کمبود آب، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، مدیریت آب‌های خاکستری روز به روز اهمیت بیشتری می‌یابد. آب خاکستری به دلیل حجم بالا و بار آلی کم، پتانسیل خوبی برای بازیافت دارد. به عبارتی، آب خاکستری نهایتاً تا ۷۰ درصد از کل آب مصرفی در خانه را شامل می‌شود در حالی که فقط ۳۰ درصد از کسر مواد آلی و ۹ تا ۲۰ درصد از کسر مواد مغذی را شامل می‌شود [۱]. آب خاکستری به صورت فاضلاب خانگی ناشی از لباسشویی، ظرفشویی، روشویی و حمام به جز فاضلاب توالی تعریف می‌شود. استفاده مجدد از آب‌های خاکستری برای مصارفی همچون فلاش تانکها، آبیاری، شست و شوی ماشین و ... هم باعث صرفه جویی در مصرف آب می‌شود و هم بار وارد بر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را کاهش می‌دهد [۱-۲].

۱.۱. مدیریت فاضلاب خانگی

دو دیدگاه جهت تصفیه فاضلاب خانگی و استفاده مجدد از آن وجود دارد:

دیدگاه اول: کل فاضلاب خانگی تولید شده، جمع‌آوری و از طریق شبکه فاضلاب وارد تصفیه‌خانه‌ها گردد و تصفیه فاضلاب با روش‌های متداول انجام گیرد. در این روش جهت بهبود کیفیت آب خروجی و استفاده مجدد از آن از تصفیه تکمیلی استفاده می‌شود که به زمین، انرژی و هزینه‌های زیادی نیاز دارد [۳-۴].

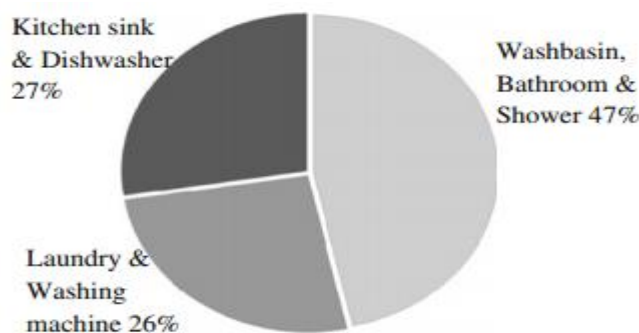
دیدگاه دوم: جداسازی آب خاکستری از فاضلاب شهری صورت گرفته و سیستم‌ها از ابتدا به منظور استفاده مجدد طراحی می‌شوند. کاهش حجم فاضلاب ورودی به تصفیه خانه‌ها، کاهش قطر لوله‌های شبکه انتقال فاضلاب، کاهش زمین مورد نیاز جهت احداث تصفیه خانه، کاهش انرژی و هزینه جهت دستیابی به استانداردهای استفاده مجدد از جمله مزایای این روش می‌باشد [۳-۴]. تفکیک فاضلاب خانگی و استفاده مجدد از آب خاکستری در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- جداسازی آب خاکستری از فاضلاب خانگی [۵]

۲.۱. آب خاکستری و مشخصات آن

آب خاکستری معمولاً به فاضلاب تولیدی از روشویی، حمام، ماشین لباسشویی و آشپزخانه‌ها اطلاق می‌گردد که در مبدأ از فاضلاب دستشویی و توالت تفکیک شده باشد. در واقع به کلیه فاضلاب تولید شده در خانه به جز فاضلاب توالت آب خاکستری می‌گویند. از نظر مقداری، حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد از کل فاضلاب تولید شده در خانه را آب خاکستری تشکیل می‌دهد [۶-۷]. در شکل ۲ نحوه توزیع آب خاکستری بین منابع مختلف آن مشاهده می‌شود.



شکل ۲- نحوه توزیع آب خاکستری بین منابع مختلف آن [۸].

ویژگی‌های کیفی آب خاکستری به منبع آب خاکستری، تعداد افراد خانواده، توزیع سن افراد خانواده، شیوه زندگی، الگوی مصرف آب، استانداردهای زندگی، عادات فرهنگی و اجتماعی افراد خانواده، نوع و مقدار مصرف مواد شیمیایی (نظیر صابون، خمیر دندان، شامپو، شوینده) و مدت زمانی که آب خاکستری قبل از استفاده شدن ذخیره می‌شود، بستگی دارد. پساب حمام حاوی شامپو، صابون و چربی‌های پوست و... می‌باشد، پساب ماشین لباسشویی دارای قلیائیت، کدورت و دمای بالا و حاوی غلظت بالای مواد شیمیایی ناشی از پودرهای شست و شو (مانند سدیم، فسفر، نیتروژن و سورفکتانت‌ها)، کف، سفید کننده‌ها، چربی و گریس، رنگ‌ها، حلال‌ها و فیبرهای غیرتجزیه‌پذیر پوشاک است. همچنین پساب سینک آشپزخانه حاوی

ذرات مواد غذایی، مواد روغنی و چربی و شونده‌ها می‌باشد. پساب حاصل از ماشین ظرفشویی حاوی چربی و گریس، ذرات مواد غذایی، کف، مواد آلی و دارای کدورت، قلیائیت و دمای بالا می‌باشد [۸].

۳.۱. آب خاکستری ماشین‌های لباسشویی

در بین کلیه منابع آبهای خاکستری، آب خاکستری ماشین لباسشویی به دلیل در دسترس بودن و ساده بودن امکان استفاده مجدد از آن (برای استفاده مجدد از آب خاکستری ماشین لباسشویی بر خلاف منابع دیگر نیاز به تغییر لوله کشی خانه نیست) و داشتن نیتروژن و فسفر (برای رشد گیاهان مفید هستند بنابراین نیاز به کودهای شیمیایی را کاهش می‌دهند) مورد توجه قرار گرفته است. گزارش شده است که آب خاکستری ماشین‌های لباسشویی در کثیف‌ترین حالت که شامل چربی‌های معدنی، فلزات سنگین و مواد خطرناک می‌باشد مقادیر COD آن بین 1200-20000 mg O₂/L می‌باشد. آب خاکستری حاصل از ماشین لباسشویی بیمارستانها که حاوی چربی، باقیمانده غذا، خون و اوره می‌باشد، مقادیر COD آن 1200-2500 mg O₂/L می‌باشد [۹]. 400 است. آب خاکستری حاصل از ماشین‌های لباسشویی هتل‌ها و خانه‌ها مقادیر COD آن بین 600-2500 mg O₂/L می‌باشد [۹].

۴.۱. مطالعات انجام شده در زمینه تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی

احمد و ال دسوکی در سال ۲۰۰۸ از یک فیلتر شنی برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی حاصل از یک پالایشگاه نفت استفاده کردند. در این روش، حذف بالای مواد TSS و کدورت مشاهده شد، ولی حذف موثر COD مشاهده نشد. در موردی مشابه، کارایی یک واحد فیلتراسیون و ته‌نشینی در مقیاس بالا، مورد ارزیابی قرار گرفت. این روش تنها قادر به کاهش کدورت، TSS، pH و سختی کل (TH) به یک حد قابل قبول بود و توانست مقدار TDS را به حد خوبی برساند، ولی تقریباً اثری بر روی حذف COD و BOD نداشت [۱۰].

چن در سال ۲۰۱۲ دریافت که هیدروژن پراکسید و اوزون در حذف COD به مقادیر کمتر از 80 mg/L مؤثر نیستند. سدیم هیپوکلرید با غلظتهای بیشتر از 1.7 mg/L در حذف COD به مقادیر کمتر از 80 mg/L مؤثر بود. اگرچه که این حد برای ارگانیک‌های آبی مرگ بار بود و توانست حد تخلیه را برآورده کند [۱۱]. کرن و همکاران در سال ۲۰۱۳ در حذف فاضلاب ماشین لباسشویی با بار آلی بالا، با استفاده از فرآیند اکسیداسیون پیشرفته (UV/O₃/Fe²⁺) به حذف ۷۰ درصدی COD دست یافتند [۱۲]. ساسر ترک و همکاران در سال ۲۰۰۵ از روش (انعقاد شیمیایی + کربن فعال گرانول) برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی استفاده کردند. اشباع کربن فعال گرانول در طی زمان یک فاکتور بحرانی برای تشخیص مناسب بودن فرآیند تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی بود. آنالیز نشان می‌دهد که انعقاد شیمیایی به تنهایی نمیتواند سورفکتانت آنیونی را از فاضلاب حذف کند. همچنین، میزان حذف COD و BOD به ترتیب تنها ۳۶ و ۵۱ درصد گزارش شده اند. به همین دلیل، بعد از انعقاد سازی جذب بر روی کربن فعال گرانول نیاز بود. بعد از تصفیه با کربن فعال گرانول، میزان حذف COD، BOD و سورفکتانت آنیونی به ترتیب ۹۳، ۹۵ و ۹۵ درصد گزارش شدند [۱۳]. جی ای و همکاران در سال ۲۰۰۴ و وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۹ به کیفیت بالای خروجی در تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی با استفاده از روشهای انعقاد الکتریکی (electro-coagulation) و شناوری الکتریکی (electro-flotation) دست یافتند. اگرچه که این روش تنها به صورت تجربی بهینه سازی شده است و نیاز به دانش اساسی از طراحی مهندسی که شامل پیشرفت مواد الکترود پیشرفته و مصرف انرژی می‌باشد، دارد [۱۴-۱۷].

هوینکیس و پنتن در سال ۲۰۰۸ از یک سیستم MBR مستغرق به حجم ۱۲۵ مترمکعب برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی استفاده کردند. میزان حذف COD ۹۰ درصد گزارش شد. مدت زمان کار سیستم ۱۳۰ روز و متوسط فلاکس 14 L/m² h و اختلاف فشار دو طرف غشا کمتر از 50 mbar بود. تمیز کردن غشا حتی بعد از ۶ ماه از کار کردن سیستم مورد نیاز نبود [۱۸]. هوینکیس و همکاران در سال ۲۰۱۲ از یک سیستم MBR مستغرق هوازی و اسمز معکوس (RO) برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی استفاده کردند. سیستم MBR مستغرق در حذف بیشتر از ۹۴ درصدی COD مؤثر بود. سیستم MBR + اسمز معکوس قادر بودند که ۸۰ درصد از آب تصفیه شده را مورد استفاده مجدد قرار دهند [۱۹]. آندرسن و همکاران در سال ۲۰۰۲ از یک بیوراکتور اولترافیلتراسیون غشایی خارجی (0.7 m³) برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی استفاده کردند. مدت زمان کار این سیستم بیشتر از ۴ ماه بود COD، در خروجی به کمتر از 50 mg/L رسید، اگرچه که اضافه کردن نیتروژن برای کارایی رضایت

بخش بیوراکتور مورد نیاز بود. تستهای غشا نشان می داد که کار کردن در اختلاف فشار 3 bar، سرعت جریان متقاطع 4 m/s و فلاکس $L/m^2 h$ 120 بدون نیاز به استفاده از مواد شیمیایی برای تمیز کردن غشا را میتوان انتظار داشت [۲۰].

ساستر ترک و همکاران در سال ۲۰۰۵ از غشا اولترافیلتراسیون + اسمز معکوس برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی استفاده کردند COD، BOD، روغن معدنی (mineral oil)، AOX و سوفکانتات آتیونی به میزان کافی کاهش پیدا نکرد، بنابراین مرحله اسمز معکوس لازم بود. با استفاده از هر دو روش غشا اولترافیلتراسیون و اسمز معکوس تقریباً کل سوفکانتات آتیونی (۹۹،۲ درصد) و کل محتوای آلی حذف شد. مقادیر COD، BOD و روغن معدنی به ترتیب به میزان ۹۸،۹ درصد، ۹۹،۲ درصد و ۷۵ درصد کاهش یافتند. تقریباً حذف کامل رنگ اتفاق افتاد [۱۳].

سیاباتی و همکاران در سال ۲۰۰۹ از غشا اولترافیلتراسیون برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی استفاده کردند و به راندمان حذف بالای آلاینده ها در خروجی دست یافتند [۲۰]. گایلبادی در سال ۲۰۱۲ از یک غشا نانوفیلتراسیون برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی یک کشتی استفاده کرد و به حذف ۹۳ درصدی COD در فلاکس خروجی $L/h/m^2$ 85.5 دست یافت [۲۲].

هورلیر و همکاران در ۲۰۱۰ فیلتراسیون آب خاکستری (مصنوعی و واقعی) را با غشاهای لوله ای پلی آمید/ پلی اتر سولفون (۳ NF) که دارای وزنهای مولکولی متفاوت بودند، در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد و در دو فشار مختلف (۲۰ و ۳۵ بار) انجام دادند. بهترین نتایج با استفاده از AFC80 (MWCO) در فشار ۳۵ بار به دست آمد. فلاکس نزدیک به $L/m^2 h$ 50 بود COD و سوفکانتات آتیونی به میزان ۹۵ درصد حذف شدند [۲۳].

ساموشا و همکاران در سال ۲۰۱۵ آب خاکستری ماشین لباسشویی را با غشاهای اولترافیلتراسیون پلی اتر سولفون/ پلی وینیل پیرولیدین تصفیه کردند. کارآیی غشاهای اصلاح شده PES با اضافه کردن درصد وزنی های ۵ و ۱۰ از PVP با غشاهای تجاری PES برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی مورد مقایسه قرار گرفت. غشا اصلاح شده PES با درصد وزنی ۱۰ درصد از PVP در کاهش آلاینده های شیمیایی در فرآیند تصفیه بسیار مؤثر بود COD، TDS و کدورت به طور قابل توجهی توسط غشا فوق حذف شد [۲۴].

۲. مواد و روشها

۲.۱. آنالیز آب خاکستری ماشین لباسشویی

جهت انجام آنالیزهای لازم، از خروجی ماشین لباسشویی خانگی نمونه گیری صورت گرفته و نمونه ها سریعاً به آزمایشگاه منتقل و پارامترهای آلاینده مختلف آن اندازه گیری شد. علاوه بر پارامترهای کیفی، حجم آب مصرفی ماشین نیز اندازه گیری گردید. نتایج آنالیز کمی و کیفی آب در جدول ۱ (برای دو سری آزمایش) و جدول ۲ (برای سه سری آزمایش) نشان داده شده است. همانطور که میدانیم یک سیکل شست و شوی ماشین لباسشویی شامل ۳ مرحله است. مرحله اول که wash می باشد، ماشین لباس ها را با پودر می شوید. در مرحله بعدی که rinse می باشد، لباس ها را آب کشی کرده و در مرحله آخر که spin می باشد لباس ها را خشک می کند. حجم آب مصرفی هر مرحله در جدول ۱ مشخص شده است. جهت تشخیص اینکه آب کدام مرحله برای بازیافت مناسب است، به طور مثال آیا آب مرحله اول را به تنهایی باید مورد تصفیه قرار داد یا مخلوط همه مراحل جهت تصفیه مناسب است، دو پارامتر بار آلودگی هر مرحله و حجم آب مصرفی آن مرحله را باید مورد بررسی قرار دهیم. در واقع آبی که بار آلودگی کم و حجم زیادی داشته باشد، پتانسیل خوبی برای بازیافت دارد. با نگاه به جدول ۱ منوجه می شویم که مرحله اول حدود ۲۰ درصد، مرحله دوم حدود ۷۰ درصد و مرحله سوم حدود ۱۰ درصد از کل حجم آب مصرفی در یک سیکل ماشین لباسشویی را شامل می شود. از نظر بار آلودگی مرحله اول کثیف ترین مرحله و بعد از آن مراحل دوم و سوم قرار دارند. در نگاه اول به نظر می رسد که بهتر است آب مرحله اول را به فاضلاب تخلیه و مخلوط آب مرحله دوم و سوم را برای بازیافت مورد استفاده قرار داد به همین دلیل بار دیگر آزمایشها تکرار ولی این بار مخلوط آب مرحله دوم و سوم را مورد آزمایش قرار دادیم که نتایج آن در جدول ۲ مشاهده می شود. ولی از آنجایی که حجم آب مصرفی مرحله اول نسبت به مجموع حجم آب مراحل دوم و سوم کم است بنابراین در صورت مخلوط آن با آب مراحل دیگر تاثیر چندانی بر روی آلودگی کل نداشته و میتوان به جای دور ریختن آن، آنرا برای تصفیه مورد استفاده قرار داد. پس بهترین حالت این است که مخلوط هر ۳ مرحله را مورد تصفیه و استفاده مجدد قرار دهیم.

جدول ۱- آنالیز آب خروجی ماشین لباسشویی

مرحله سوم		مرحله دوم		مرحله اول		پارامترهای کمی و کیفی
۶	۵	۶۰	۴۹/۵	۱۸	۱۳	حجم آب مصرفی
۸/۴۵	۷/۱	۸/۸۲	۷/۴۵	۹/۳۶	۷/۶	pH
۵۷۵	۳۸۷	۷۲۰	۴۳۴	۴۶۹۰	۷۳۹	مواد جامد محلول (میلیگرم بر لیتر)
۱/۲۳	۰/۶۴	۳/۱۶	۱/۳۷	۱۳/۵۸	۱۳/۷۱	آمونیاک (میلیگرم بر لیتر)
۰/۱۴	۰/۱۲	۱/۳۶	۰/۳۲	۹/۱۸	۲/۲۳	نیتريت (میلیگرم بر لیتر)
۱۷/۱	۱۱/۷۵	۳۲/۳۵	۱۷/۹۵	۲۸۲/۶	۱۹۸/۶	نترات (میلیگرم بر لیتر)
۱۳/۶۱	۰/۴۷	۱۴/۸۲	۱۲/۶۴	۱۶۰	۵۲/۸۹	فسفات (میلیگرم بر لیتر)
۱۹۲/۶۸	۱۱۸/۱۱	۹۶۳/۳۸	۴۹۰/۴۵	۴۳۷۸/۹۸	۲۴۸۰	COD (میلیگرم بر لیتر)

جدول ۲- آنالیز آب خروجی ماشین لباسشویی

مرحله دوم و سوم			مرحله اول			پارامترهای کمی و کیفی
۳۵/۵	۳۷	۳۱	۷/۵	۹	۸/۵	حجم آب مصرفی
۹/۱۳	۸	۹/۱۸	۹/۴۹	۸/۳۴	۹/۷۵	pH
۱۵۱۰	۱۱۳۵	۸۴۶	۴۰۷۰	۲۷۱۰	۱۳۴۰	مواد جامد محلول (میلیگرم بر لیتر)
۱۱/۴۲	۲۹/۵۹	۶/۵۹	۲۷/۲	۶۲/۰۵	۲۸/۶۳	آمونیاک (میلیگرم بر لیتر)
۲/۷۱	۱/۷۵	۰/۷	۵/۹۷	۵/۷۷	۲/۰۸	نیتريت (میلیگرم بر لیتر)
۱۲۹/۷	۵۰	۲۷/۶۵	۱۸۲/۳۵	۱۳۴/۲۳	۸۹	نیترات (میلیگرم بر لیتر)
-	۱۵/۷۶	۸/۲۲	-	۵۳/۶۸	۲۰/۹۵	فسفات (میلیگرم بر لیتر)
۱۰۷۱/۹۸	۱۱۲۱/۰۲	۷۴۹/۶۸	۳۰۸۲/۸	۳۳۸۰/۵۸	۲۵۸۵/۳۵	COD(میلیگرم بر لیتر)

۲.۲. پیشنهاد یک سامانه مناسب جهت تصفیه آب ماشین لباسشویی بر اساس آنالیزهای انجام شده

در پژوهشهای قبلی فرآیندهای غشایی چه به صورت فیلتراسیون غشایی^۱ و چه به صورت سیستم های تصفیه فیزیکی و بیولوژیکی (MBR)^۲ به صورت گسترده استفاده شده‌اند. همانطور که می‌دانیم سیستم های فیلتراسیون غشایی به چهار دسته میکروفیلتراسیون، اولترافیلتراسیون، نانو فیلتراسیون و اسمز معکوس تقسیم می‌شوند. به دلیل COD نسبتاً بالای آب ماشین لباسشویی، سیستم‌های میکرو فیلتراسیون و اولترا فیلتراسیون به دلیل اندازه بزرگ حفره ها برای حذف COD مناسب نیستند. سیستم‌های اسمز معکوس و نانو فیلتراسیون نیز با وجود مؤثر بودن در حذف COD به دلیل مصرف انرژی بالا و اتلاف زیاد (مخصوصاً سیستم اسمز معکوس) پیشنهاد نمی‌شوند. همچنین با وجود اینکه سیستم‌های MBR به خوبی قادر به حذف COD می‌باشند ولی از نظر عملی این سیستم‌ها قابل استفاده در خانه‌ها نیستند زیرا این سیستم‌ها نیاز به نگهداری دارند و درواقع چون آب ماشین لباسشویی از نظر کمی و کیفی متغیر است، خوراکی که به لجن می‌رسد متفاوت خواهد بود و امکان از بین رفتن لجن وجود دارد. از این رو از فرآیندهای غشایی استفاده

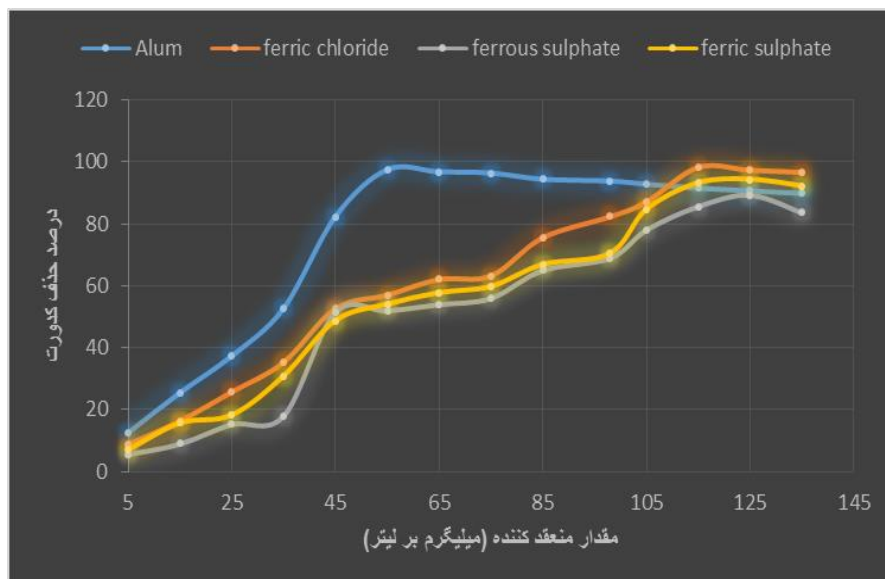
^۱ Membrane filtration

^۲ Membrane bioreactor

نمی‌شود. از بین کلیه روشهای دیگر، روش انعقاد شیمیایی به عنوان یکی از روشهای رایج تصفیه و مؤثر در حذف COD برای تصفیه آب ماشین لباسشویی پیشنهاد می‌شود.

۳.۲. انعقاد شیمیایی و جار تست

بیشتر ذرات معلق در فاضلاب دارای بار منفی هستند. در انعقاد شیمیایی مواد منعقد کننده مناسب به آب اضافه می‌شود. این مواد بار الکتریکی ذرات معلق را خنثی می‌کند و بر اثر آن امکان چسبیدن ذرات به یکدیگر و در نتیجه ایجاد ذرات بزرگتر، سنگین تر و قابل رسوب که فلوک نامیده می‌شود فراهم می‌گردد. نمکهای آلومینیوم یا آهن رایج‌ترین مواد منعقد کننده در سیستم‌های تصفیه هستند زیرا مؤثرتر تصفیه، دارای قیمت پایین و در دسترس هستند و همچنین برای همدل کردن، ذخیره سازی و به کار بردن مناسب می‌باشند. برای تعیین نوع و مقدار مناسب منعقد کننده ها از آزمایش جار تست استفاده می‌شود. در این آزمایش از ۶ ظرف شیشه‌ای و یک دستگاه همزن که به طور همزمان محتویات همه ظرف‌ها را بهم می‌زند استفاده می‌شود. یک لیتر از نمونه ای که کدورت آن از قبل تعیین شده است به هریک از ظرف‌ها اضافه می‌شود. ابتدا همزن را روی دور تند ۲۰۰ دور بر دقیقه تنظیم می‌کنیم. سپس برای هر منعقد کننده، یک رنج مشخص از آن را به طور همزمان به ظروف اضافه کرده و به مدت یک دقیقه روی دور ۲۰۰ قرار می‌دهیم. در مرحله بعدی همزن را روی دور کند ۲۰ دور بر دقیقه به مدت ۱۵ دقیقه قرار داده و در نهایت به مدت ۳۰ ثانیه به محلول‌ها اجازه داده که ته‌نشین شوند و کدورت لایه رویی را اندازه می‌گیریم [۲۵]. نتایج حاصله از این آزمایش با ۴ منعقد کننده آلومینیوم سولفات^۱، آهن^۲ (II) سولفات^۳، آهن^۳ (III) سولفات^۴ و آهن^۴ کلرید^۴ و در رنج غلظتی ۱۳۵-۵ میلی‌گرم بر لیتر منعقد کننده در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بهترین نتایج با آلومینیوم سولفات به دست آمده است. در واقع آلومینیوم سولفات با کمترین مقدار مصرف نسبت به بقیه، بیشترین راندمان را از نظر حذف کدورت دارد.



شکل ۲- منحنی درصد حذف کدورت بر حسب مقدار منعقد کننده

¹ Alum

² Ferrous sulfate

³ Ferric sulfate

⁴ Ferric chloride

۳. نتیجه گیری

در این پژوهش، روش انعقاد شیمیایی به عنوان یکی از روشهای رایج برای تصفیه آب خاکستری ماشین لباسشویی به کار گرفته شده است. نتایج حاصل از آزمایش جارتست با استفاده از چهار منعقد کننده آلومینیوم سولفات، آهن (II) سولفات، آهن (III) سولفات و آهن (III) کلرید نشان می دهد که آلومینیوم سولفات با کمترین مقدار مصرف نسبت به بقیه منعقد کننده ها (۵۵ میلیگرم بر لیتر) بهترین راندمان (بالاتر از ۹۷ درصد) را از نظر حذف کدورت دارد. با شبیه سازی شرایط آزمایش جارتست (دور همزن و زمان انعقاد) برای تانک انعقاد شیمیایی میتوان آب ماشین لباسشویی را با استفاده از تانک فوق تصفیه و مورد استفاده مجدد قرار داد.

۴. مراجع

1. Morel A (2005) Greywater treatment on household level in developing countries- a state of the art Review. <http://www.susana.org/langen/library?view=ccbktpeitem&type=2&id=1047>. Accessed 13 December 2012.
2. Morel A, Diener S (2006) Greywater management in low and middle income countries, review of different treatment systems for households or neighborhoods. Ewage, Eawag, Dübendorf, ISBN: 3-906484-37-8.
3. Drechsel, P. Redwood, M. Raschid-Sally, L. Bahri, A. and Scott, C.A., wastewater irrigation and health: assessing and mitigating risk in low-income countries. 2010: Idrc.
4. Cobos, d., greywater as an alternative to save water. Technologies for sustainable communities, 2009.
5. RosenRosener, I., Long-Treatment Effects of landscape irrigation Using Houshold Grey Water Literature Review and Syntethis. Water Enviroment research foundation, 2006: p. 2-5.
6. Khalid Bani-Melhem, Zakaria Al-Qodah, Mohammad Al-Shannag Ahmad Qasaimeh, Mohammed Rasool Qtaishat, Malek Alkasrawi, On the performance of real grey water treatment using a submerged membrane bioreactor system, Journal of Membrane Science 476 (2015) 40–49.
7. M. Rezaeei, M. H. Sarrafzadeh. 2015 An Overview of the Properties and Methods of Gray Water Recovery. Journal of Environmental Science and Technology (JEST), In Press.
8. Dilip M. Ghaitidak & Kunwar D. Yadav, Characteristics and treatment of greywater—a review, Environ Sci Pollut Res (2013) 20:2795–2809.
9. Šostar-Turk, S., Petrinić, I. and Simonič, M., 2005. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resources, Conservation and Recycling*, 44(2), pp.185-196.
10. Ahmad J, El-Dessouky H. Design of a modified low cost treatment system for the recycling and reuse of laundry waste. *Resources Conservation and Recycling* 2008; 52:973–97.
11. Chen H. Sep Purif Technol 2012; 90: 101–8.
12. Kern DI, Schwaickhardt R, Mohr G, Lobo EA, Lourdes T, Kist LT, et al. *Sci Total Environ* 2013; 443:566–72.
13. Sostar-Turk S, Petrinić I, Simonic M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. *Resour Conserv Recycl* 2005; 44:185–96.



14. Ge J, Qu J, Lei P, Liu H. New bipolar electrocoagulation–electroflotation process or the treatment of laundry wastewater. *Sep Purif Technol* 2004; 36:33–9.
15. Wang CT, Chou WL, Kuo YM. *J Hazard Mater* 2009; 164, 81-6.
16. Moreno-Casillas HA, Cocke DL, Gomesa JAG, Morkovsky P, Parga JR, Peterson E. Electrocoagulation mechanism for COD removal. *Separation and Purification Technology* 2007; 56: 204-11.
17. Sahu O, Mazumdar B, Chaudhari PK. Treatment of wastewater by electrocoagulation: a review. *Environ Sci Pollut Res* 2014; 21: 2397–413.
18. Hoinkis J, Panten V. Wastewater recycling in laundries—from pilot to large-scale plant. *Chem Eng Process* 2008; 47: 1159–64.
19. Hoinkis J, Deowan SA, Panten V, Figoli A, Huang RR, Drioli E. Membrane bioreactor (MBR) technology—a promising approach for industrial water reuse. *Bioreactor Procedia.Eng* 2012; 33: 243-41.
20. Andersen M, Kristensen GH, Brynjolf M, Gruttner H. Pilot-scale testing membrane bioreactor for wastewater reclamation in industrial laundry. *Water Sci Technol* 2002; 46: 67–76.
21. Ciabatti I, Cesaro F, Faralli L, Fatarella E, Tognotti F. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. *Desalination* 2009; 245: 451-9.
22. Guilbaud J, Massa A, Andres Y, Combe F, Jaouen P. Influence of operating conditions on direct nanofiltration of greywaters: application to laundry water recycling aboard ships. *Resour Conserv Recycl* 2012; 62:64–70.
23. Hourlier F, Massé A, Jaouen P, Lakel A, Gérente C, Faur C, et al. Membrane process treatment for greywater recycling: investigations on direct tubular nanofiltration. *Water Sci Technol* 2010; 62:1544–50.
24. A. Sumisha , G. Arthanareeswaran a, Y. Lukka Thuyavan a, A.F Ismail b,n, S. Chakraborty, Treatment of laundry wastewater using polyethersulfone/polyvinylpyrrolidone ultrafiltration membranes, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2015.
25. EPA, Environmental Protection Agency. Technical Development Document for the Final Action Regarding Pretreatment Standards for the Industrial Laundries Point Source Category No. 821-R-00-006. Washington, DC, USA; March 2000 [chapter 6].