علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره نوزدهم، ویژه نامه شماره۴، بهار۱۳۹۶

بررسی عملکرد پودر دانه‌های مورینگا اولیفرا در مقایسه با سولفات آلومینیوم و پلی‌آلومینیوم‌کلراید در تصفیه آب‌های آلوده

وحید یزدانی [۱]*

v.yazdany@yahoo.com

حسین بانژاد [۲]

علیرضا رحمانی [۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۱۹ **تاریخ پذیرش:۱۳۸۹/۰۸/۱۷**

چکیده

زمینه و هدف: از آنجایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک دسترسی به منابع آب با کیفیت خوب با محدودیت همراه است، لذا بهره-برداری از پساب فاضلاب برای آبیاری بسیار با اهمیت می‌باشد. هر چند پساب فاضلاب در مقایسه با حجم آب آبیاری مورد نیاز، مقدار کمی را شامل می‌شود ولی بهره‌برداری از همین مقدار، باعث می‌شود که آب‌هایی با کیفیت بالاتر را بتوان در مصارف مهم‌تر به کار برد.

روش بررسی: پژوهش حاضر در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست انجام شد. در این تحقیق سعی شد تا کارایی پودر دانه‌های اولیفرا در عملیات تصفیه فاضلاب نسبت به کارایی آلوم و پلی آلومینیوم کلراید سنجیده شود. برای انجام آزمایشات از فاضلاب طبیعی شهری با شدت آلودگی متوسط استفاده شد. کارایی هر یک از منعقدکننده‌ها توسط اندازه‌گیری پارامترهای سختی (کل، کلسیم و منیزیم)، کدورت، اسیدیته، اشرشیاکلی و سایر کلی‌فرم‌ها در قبل و بعد از آزمایش جار مورد سنجش قرار گرفت.

یافته ها: غلظت پودر اولیفرا بین ۱۰ الی ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر با افزایش ۱۰ میلی‌گرمی و آلوم و پلی آلومینیوم کلراید بین ۵ الی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر با افزایش ۵ میلی‌گرمی متغیر می‌باشند. بررسی‌ها نشان داد که در غلظت بهینه‌ی منعقدکننده‌های، آلوم، پلی آلومینیوم کلراید و اولیفرا به‌ترتیب قادر به کاهش ۹۹/۵، ۹۹ و ۹۷/۷ درصدی کدورت می‌باشند. راندمان زدایش سختی کل، سختی کلسیمی، سختی منیزیم، اشرشیا و کل کلی‌فرم‌ها در بهترین حالت به‌ترتیب برابر ۴۰ (۱۰۰ میلی‌گرم اولیفرا)، ۷۲/۵ (۱۰۰ میلی‌گرم اولیفرا)، ۶۷ (۸۰ میلی‌گرم اولیفرا)، ۹۹/۸ (۱۰۰ اولیفرا + ۱۵ میلی‌گرم آلوم) و ۹۹/۷ (۱۰۰ اولیفرا + ۱۵ میلی‌گرم آلوم) درصد بود.

۱*- (مسوول مکاتبات): دکتری علوم و مهندسی آب، گروه علوم و مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد و مدیریت عامل شرکت مهندسی مشاور هیدروپی، مشهد، ایران

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

۳- استاد گروه علوم مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

بحث و نتیجه گیری: نتایج حاکی از افزایش راندمآن ها در صورت ترکیب اولیفرا با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید است. استفاده از پودر دانه‌های اولیفرا باعث کاهش زمان ته‌نشینی نسبت به آلوم و پلی آلومینیوم کلراید می‌گردد، بطوری‌که زمان ته‌نشینی از ۳۰ دقیقه به ۱۰ دقیقه کاهش می‌یابد. باید متذکر شد که حجم لجن تولیدی حاصله از پودر اولیفرا بسیار کم‌تر از حجم لجن حاصله از آلوم و پلی آلومینیوم کلراید می‌باشد، ضمن این‌که آبگیری از آن آسان‌تر است.

واژه‌های کلیدی: مورینگا اولیفرا، سولفات آلومینیوم، پلی‌آلومینیوم‌کلراید، عملیات تصفیه، راندمان حذف.

J.Env. Sci. Tech., Vol 19, Special No.4, Spring 2017

Analysis of Moringa Oliefera Seed Powder Reaction in Treatment Wastewater Comparing with Aluminum Sulphate and PAC Reaction

Vahid Yazdani [1]*

hassani.doe2006@yahoo.com

Hossein Banejad [2]

Alireza Rahmani [3]

Abstract

Background and Objective: Due to the fact that in arid and semiarid areas, access to high quality water resources my have limitation, using purified wastewater for irrigation plays an important role. Although wastewater are so little comparing with needed irrigation water but using this much water can cause that we use higher quality waters for better consumption. This research has been alone in laboratory and there has been utilized the jar test set.

Method: In this research has been attempted to analyze, the effects of moringa seed powders (Oliefera species) in comparison with Alum and Poly Aluminum Chloride (PAC) in wastewater treatment. For performing the experiments, we utilized urban wastewaters with mediun density. Efficiency of each coagulant was assessed by measuring a number of parameters including the hardness (total, Calcium and Magnesium), turbidity, electrical conductivity (EC), acidity, Coliform (fecal and total) before and after the treatment. It is noticeable that all methods of measuring the qualitative parameters were based on those described in the book of Standard Method.

Results: This research showed that in optimum concentration Alum, PAC and Oliefera were able to decrease turbidity up to 99.5, 99 and 97.7 percent, respectively. The efficiency of eliminating total, Calcium and Magnesium hardness, fecal and total Coliforms in the best condition were 40 (100 mg Oliefera), 72.5 (100 mg Oliefera), 67(80 mg Oliefera), 99.8 (combination of 100 mg Oliefera and 15 mg Alum) and 99.7 (combination of 100 mg Oliefera and 15 mg Alum) percent, respectively.

Discussion and conclusion: The results showed that the efficiency would be higher if Oliefera be combination with Alum or PAC. The Moringa seed powders decreasing sedimentation time, comparing with the Alum and PAC. So much, so that the sedimentation time was decreased from 30 min to 10 min. we have to remark that the bulk produced sludge in Moringa seed powder has less density comparing with the Alum or PAC. It also was easier to drain.

Keywords: Moringa Oliefera, Alum, PAC, Wastewater Treatment.

1- PhD of Science in Water Engineering, Department of Water Engineering Sciences, Ferdowsi University of Mashhad, and Managing Director of Hidropey Consulting Engineers, Mashhad, Iran.* *(Corresponding Author)*
2- Associate Professor, Department of Water Engineering Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
3- Professor of Environmental Health Engineering, Faculty of Health, Hamedan University of Medical Sciences, Hamedan, Iran.

مقدمه

از آنجایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک دسترسی به منابع آب با کیفیت خوب با محدودیت همراه است، لذا بهره-برداری از پساب فاضلاب برای آبیاری از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. هر چند پساب فاضلاب در مقایسه با حجم آب آبیاری مورد نیاز، مقدار کمی را شامل می‌شود ولی بهره‌برداری از همین مقدار، باعث می‌شود که آب‌هایی با کیفیت بالاتر را بتوان در مصارف مهم‌تر به کار برد (یزدانی، ۱۳۸۸).

از رایج‌ترین موادی که در فرآیند انعقاد کاربرد دارند می‌توان به نمک‌های آلومینیوم و آهن اشاره نمود. پلی‌الکترولیت‌های مصنوعی نیز از جمله فرآورده‌هایی هستند که در تصفیه آب در واحد انعقاد به‌عنوان کمک منعقدکننده استفاده می‌شوند. از آنجا که برخی از این پلیمرها در دراز مدت می‌توانند اثرات سویی بر سلامتی انسان داشته باشند، در سال‌های اخیر استفاده از پلیمرهای آلی طبیعی بجای پلی‌الکترولیت‌های مصنوعی بسیار معمول شده است (مونت‌گومری، ۱۹۸۵؛ لترمان و پرو، ۱۹۹۰). در تحقیقی دیگر مصطفی پور و همکاران (۱۳۸۶) عملکرد منعقدکننده‌های سولفات آلومینیوم، کلراید فریک و پلی آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب آشامیدنی را مورد سنجش قرار دادند. نتایج حاصله نشان داد که بهترین راندمان ها برای سولفات آلومینیوم، کلراید فریک و پلی آلومینیوم کلراید در غلظت‌های ۴۰، ۲۰ و ۴۰ میلی‌گرم در لیتر است. در این غلظت‌ها راندمان کاهش کدورت به‌ترتیب برابر ۹۹/۹، ۹۶ و ۹۹ درصد بود. آن ها همچنین بیان داشتند که تاثیر pH در حذف کدورت برای همه غلظت‌ها یکسان است.

محوی و شیخی (۱۳۸۵) عملکرد پلی‌آلومینیوم کلراید را در تصفیه آب سطحی مورد سنجش قرار دادند. نتایج آن ها حاکی از افزایش راندمان حذف کدورت با افزایش کدورت اولیه بود و در بهترین حالت راندمان کاهش کدورت برابر ۹۸-۹۹ درصد بدست آمد. ضمین اینکه در این راندمان حذف، مقدار آلومینیوم باقی‌مانده به‌طور متوسط ۰/۰۶ میلی‌گرم در لیتر بود.

با توجه به اینکه در این مقاله از دانه‌های درخت مورینگا اولیفرا برای انجام آزمایشات لخته‌سازی استفاده شد، لذا لازم است تا توضیح مختصری از این گیاه داده شود. گز رخ (گز روغن) یا مورینگا نام گونه‌ی گیاهی است، از خانواده گز رخان که تیره کوچکی از گیاهان جدا گلبرگ و فقط شامل یک جنس به‌نام مورینگا مرکب از معدودی انواع درختی است (مظفریان، ۱۳۸۲). مورینگا اولیفرا درختی است خزان شونده از خانواده گزهای روغنی که بسیار سریع رشد می‌کند، این درخت با کم آبی تطبیق پیدا کرده است. غلاف‌هایی به شکل چوب طبل، دانه‌ها را در بر گرفته‌اند (کتایون و همکاران، ۲۰۰۶). طول میوه‌های آن معمولا در حدود ۳۰-۲۰ سانتی‌متر است، هر میوه محتوی ۲۰ عدد کروی شکل هستند. میانگین وزنی هر میوه (۳- ۲ گرم) و طول (۱/۴- ۱ سانتی‌متر) و پهنای (۱/۷- ۱ سانتی‌متر است (یزدانی، ۱۳۸۸). وجود نوعی پروتیین دارای بار مثبت در دانه‌های مورینگا اولیفرا باعث عمل انعقاد می‌شود، اندازه‌گیری پتانسیل زتا نشان می‌دهد که مکانیسم غالب برای انعقاد با مورینگا الیفرا، خنثی کردن بار الکتریکی، برای جذب سطحی بهتر می‌باشد (کتایون و همکاران، ۲۰۰۶).

تحقیقات معدودی در دنیا در مورد توانایی دانه‌های مورینگا در انعقادسازی مواد کلوئیدی آب و فاضلاب انجام شده است که ازآن جمله می‌توان به تحقیقاتی که توسط فولکارد (۱۹۹۹) انجام شد اشاره نمود. نتایج وی نشان دهنده غلظت بهینه‌ای بین ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر مورینگا می‌باشد. ضمن‌اینکه این غلظت بهینه به خصوصیات آب ورودی جهت تصفیه بستگی دارد. موییبی و کوفا (۱۹۹۶) آزمایشاتی بر روی آب دارای کدورت انجام دادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که پودر دانه-های مورینگا برای انعقادسازی در آب با کدورت بالا موثرتر است. به طور مثال درآب با کدورت پائین تا متوسط (۹۰NTU -۲۳) حدودا ۵۰ درصد از کدورت را ته‌نشین می‌کند. این در حالی است که در کدورت خیلی زیاد(۶۰۰NTU) حدودا ۹۸/۵ درصداز کدورت را ته‌نشین می‌کند. سلیمان و همکاران (۱۹۹۵) تاثیر پودر دانه‌های مورینگا را بر زدایش سختی آب مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها از آبی با سختی ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر کربنات کلسیم ($CoCo_3$) استفاده کردند. نتایج آن ها حاکی از افزایش راندمان کاهش سختی با افزایش غلظت

مورینگا بود. همچنین آن ها بیان داشتند کـه رانـدمان زدایـش سختی به pH آب بستگی دارد.

بینـا (۱۳۸۶) از دانـه‌هـای مورینگـا بـرای حـذف کـدورت و اشرشیا کلی (کلیفرم روده‌ای) در آب‌های بسیار کـدر اسـتفاده نمود. او بیان داشت که در حضور کـائولین کـاهش بـاکتری بـه میزان بیش از ۹۰ درصد به‌وسیله سوسپانسـیون مورینگـا در دو ساعت اول آزمایش صورت می‌گیـرد و حـداکثر حـذف اشرشـیا کلی ۹۹/۵ درصـد مـی‌باشـد. هیتنـدرا بهوپتـووات و همکـاران (۲۰۰۶) از دانه‌هـای مورینگـا بـرای تصـفیه فاضـلاب اسـتفاده نمودند. آن‌ها تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم پودر دانه مورینگـا را تنهایی و با ترکیب با ۱۰ میلی‌گرم آلوم استفاده نمودند، پـس از مراحل انعقاد، ته‌نشینی، و فیلتراسیون میزان اکسـیژن مـورد نیاز شیمیایی(COD) را اندازه‌گیری نمودند، بهترین عملکرد در حذف اکسیژن مورد نیاز شـیمیایی، تیمـار ۱۰میلـی‌گـرم آلـوم در ترکیب با ۱۰۰میلی‌گرم پودر دانه مورینگا بـود، کـه حـدود ۶۴ درصد از COD را حذف نمود.

لیـــو[1] و همکـــاران (۲۰۰۶) عملکـــرد آلـــوم را در مقابـــل دانـــه‌هـــای مورینگـــا بـــرای تصـــفیه آب ســـطحی در مقیـــاس آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌هـا حـاکی از کـه کاهش کدورت توسط دانه‌های مورینگا، آلوم، و مخلوطی از هـر دو بـود کـه بـه ترتیـب کـدورت نهـایی برابـر۲/۷ و۲/۴ و ۲/۳ (NTU) مـی‌باشـد. در غلظـت ۲۰ تـا ۶۰ میلـی‌گـرم در لیتـر مورینگا و pH برابر ۷ تا ۸/۵ راندمان کاهش رنـگ برابـر ۵۶ تـا ۶۷ درصد است. در حالی که راندمان حذف رنگ توسـط کلریـد سدیم و کلرید پتاسیم در این شرایط بـه‌ترتیـب برابـر ۵۳ و ۶۴ درصد است (کریشنا پراساد، ۲۰۰۸). در مجموع می‌توان گفـت که دست‌یابی به حداکثر رانـدمان حـذف کـدورت معمـولاً بـر مبنای تجربه بهره‌برداران و یا به‌صورت دقیق‌تر بر اساس نتایج حاصل از آزمایشات دوره‌ای جارتست در جهت تعیین بهترین ماده منعقدکننده همراه با بهترین شرایط کاربرد صورت مـی-پذیرد (یزدانی، ۱۳۸۸).

1-Liew

بـا توجـه بـه اسـتفاده روز افـزون از منـابع آبـی و همچنـین آلوده شدن آن‌ها، این ضرورت احساس می‌شود که از فاضلاب-ها به‌عنوان یک منبع آبی مناسب در کشـاورزی کـه پرمصـرف-ترین بخش در زمینه مصرف آب می‌باشد، استفاده نمـود. بـرای استفاده مجدد از پساب‌ها لازم است که آن‌ها را تصفیه کنیم تـا کیفیت آن ها تا حد مطلوبی افزایش یابـد. یکـی از مـوثرترین و مقرون به صرفه‌ترین راه‌ها در این زمینه استفاده از مواد طبیعی برای انجام عمل اختلاط است. از آنجایی کـه انجـام آزمایشـات مربوط به لخته‌سازی و ته‌نشینی از یـک سـو زمـان بـر بـوده و از سوی دیگر در همه مناطق امکان پـذیر نمـی‌باشـد، در ایـن پژوهش ما بر آنیم که تا حـد امکـان حالـت‌هـای مختلـف ایـن فرآیند را شبیه‌سازی کنیم تا دسترسی به شرایط مطلوب‌تـر در این فرآیند سهل‌تر گردد. اهـداف ایـن پـژوهش عبارتنـد از: ۱) بررسی اثر غلظـت پـودر دانـه‌هـای مورینگـا اولیفـرا در تصـفیه فاضلاب، ۲) بررسی اثر ترکیب پودر دانه‌های مورینگا اولیفرا بـه ترتیب با آلوم و پلی آلومینیوم کلراید در تصـفیه فاضـلاب. بایـد متذکر شد که هدف اصلی ایـن تحقیـق بدسـت آوردن غلظـت بهینه این مواد در کاهش فراسنج‌های کیفی انـدازه‌گیـری شـده است، لذا انجام آزمایشات برای غلظت‌های بیش‌تر از مقدار بهینه از لحاظ اقتصادی و فنی قابل توجیه نخواهد بود.

مواد و روش‌ها

طرز تهیه پودر دانه‌های مورینگا اولیفرا

دانه‌های خشک شده مورینگـا اولیفـرا پـس از حـدود ۴ مـاه از مرحله گل‌دهی به عنوان دانـه‌هـای رسـیده جمـع‌آوری شـدند. لازم به ذکر است که دانه‌های اولیفرا از استان بوشهر جمع‌آوری گردید. باید توجه داشت که دانه‌های اولیفرا باید از نظر ظـاهری قهوه‌ای رنگ و عاری از هر نوع آلودگی و پوسیدگی باشند. برای اطمینان از خشک بودن دانه‌ها به منظور تهیه پـودر، دانـه‌هـای جمـع آوری شـده را بـه مـدت ۵ سـاعت در آون بـا دمـای ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. دانه‌هـا بـه صـورت دسـتی پوست‌کنی و سپس با خردکن مـولینکس بصـورت پـودر نرمـی به اندازه‌ی تقریبی ۶۰۰ میکرومتر تبدیل شدند. به منظور ایجاد عصاره ۱ گرم از پودر ایجاد شده در ۱ لیتر آب مقطـر وارد و بـه

مدت ۳ دقیقه به کمک هم‌زن با ۱۲۰ دور در دقیقه مخلوط گردید. با عبور عصاره ایجاد شده از کاغذ فیلتر با قطر روزنه ۰/۴۵میکرومتر محلول همگنی که فاقد ذرات معلق باشد به دست آمد که از آن به عنوان منعقدکننده استفاده شد. لازم است که محلول فوق برای هر بار تصفیه به صورت تازه آماده شود و همچنین برای جلوگیری از تغییرات pH وگرانروی، ترجیحاً محلول باید در جای خنک (سایه) با حداکثر دمای ۲۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داری شود (کتایون و همکاران، ۲۰۰۶).

طرز تهیه محلول مادر پلی آلومینیوم کلراید و آلوم

برای این منظور به‌ترتیب مقدار ۱ گرم از هر کدام از مواد فوق را در ۱ لیتر آب مقطر ۲ بار تقطیر ریخته شد و برای ایجاد محلول همگن به مدت ۱۰ دقیقه محلول حاصل مخلوط گردید. شایان ذکر است که محلول حاصل، محلول مادر ۱۰۰۰ پی پی ام خواهد بود.

فاضلاب مورد استفاده

برای انجام آزمایشات از فاضلاب طبیعی استفاده شد. و این فاضلاب از رودخانه‌ی واقع در پشت دانشکده کشاورزی دانشگاه بوعلی‌سینا که فاضلاب خانگی در آن تخلیه می‌شود، جمع‌آوری گردید. آزمایشات اولیه انجام شده بر روی فاضلاب خام بیان‌گر این است که فاضلاب مورد استفاده از لحاظ شدت آلودگی در رنج فاضلاب‌های متوسط شهری قرار دارد (جدول ۱).

جدول ۱- برخی از خصوصیات فاضلاب مورد استفاده

Table 1- Some characteristics of used Wastewater

پارامتر	EC***	TDS**	pH	Turbidity****	Coli form*	E Coli*	B OD
مقدار	۸	۵۲۰۰	۸	۴۵۰	۱۶۰۰۰	۶۰۰۰	۲۴۵

* بر حسب MPN/100ml، ** بر حسب میلی‌گرم در لیتر، *** بر حسب میلی‌موس بر سانتی‌متر، ****بر حسب ان-تی-یو

روش بررسی

پژوهش حاضر در مقیاس آزمایشگاهی و با استفاده از دستگاه جارتست در آزمایشگاه کیفیت آب و فاضلاب دانشکده کشاورزی بوعلی‌سینا انجام شد. با انجام عمل اختلاط، تماس بین ذراتی که ناپایدار شده‌اند افزایش یافت. به این ترتیب لخته‌های قابل ته‌نشینی یا قابل صاف شدن ایجاد گردید. ابتدا با اضافه کردن ۱۰، ۲۰ و ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پودر اولیفرا (عصاره ایجاد شده در مرحله قبل) در یک لیتر فاضلاب اقدام به فرآیند تصفیه گردید. در ادامه مقادیر ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۲۵ و ۳۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم و پلی آلومینیوم کلراید در فرآیند تصفیه نیز مورد آزمایش قرار گرفتند. باید متذکر شد که انتخاب رنج تغییرات غلظت منعقدکننده‌ها بر اساس معنی‌دار بودن تفاوت راندمان های تصفیه بود، ضمن این‌که مبانی اقتصادی نیز لحاظ گردید. در این راستا برای ارایه تصویر روشنی از تاثیر متقابل این مواد در فرآیند تصفیه ترکیب غلظت بهینه پودر دانه‌های اولیفرا با مقادیر متفاوت آلوم و پلی آلومینیوم کلراید نیز مورد استفاده قرار گرفت.

عملیات اختلاط به صورت مکانیکی با دستگاه جارتست و با قابلیت انتخاب دورهای متغیر انجام شد. نمونه‌ها پس از آماده سازی در دستگاه جارتست تحت عمل اختلاط سریع با ۱۲۰ دور در دقیقه به مدت دو دقیقه و اختلاط آرام با سرعت‌های ۶۰، ۴۰ و ۲۰ به ترتیب به مدت ۸، ۸ و ۵ دقیقه و در انتها به مدت ۱۰ الی ۳۰ دقیقه جهت ته‌نشینی در شرایط سکون قرار گرفتند. در پایان، مقدار فراسنج‌های سختی (کل، کلسیم و منیزیم)، کدورت، اسیدیته، کلی‌فرم روده‌ای و کل کلی‌فرم‌ها در نمونه‌ها اندازه‌گیری شد و کارایی هر یک از منعقدکننده‌های ذکر شده در حذف فراسنج‌های فوق با استفاده از رگرسیون تعیین و نمودارهای مربوطه با استفاده از نرم افزار Excel

ترسیم شد. آبگیری از لجن حاصل نیز توسط روش سانتریفوژ با ۱۵۰۰ دور در دقیقه صورت گرفت. همچنین در این تحقیق روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای کیفی نیز کلاً بر اساس دستورالعمل‌های موجود در کتاب استاندارد متد بوده است (استاندارد متد، ۱۹۹۵).

نتایج و بحث

هدف از این پژوهش نشان دادن عملکرد پودر دانه‌های مورینگا اولیفرا به تنهایی و در ترکیب با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید در فرایند تصفیه فاضلاب شهری است. زیرا در غیر این‌صورت روند تغییرات راندمان تصفیه در غلظت‌های مختلف پودر دانه-های فوق قابل بحث و بررسی نیست. از طرف دیگر اثر غلظت-های مختلف بر روی زدایش فراسنج‌های مختلف از قبیل سختی کل، سختی کلسیم، سختی منیزیم، اشرشیا کلی، کدورت، کل کلی‌فرم‌ها و اسیدیته در شکل‌های مجزا نشان داده شده است، تا تفکیک این پارامترها از همدیگر به راحتی انجام شود. در پایان نیز به نتیجه‌گیری کلی و پیشنهاداتی در مورد پژوهش پرداخته شده است.

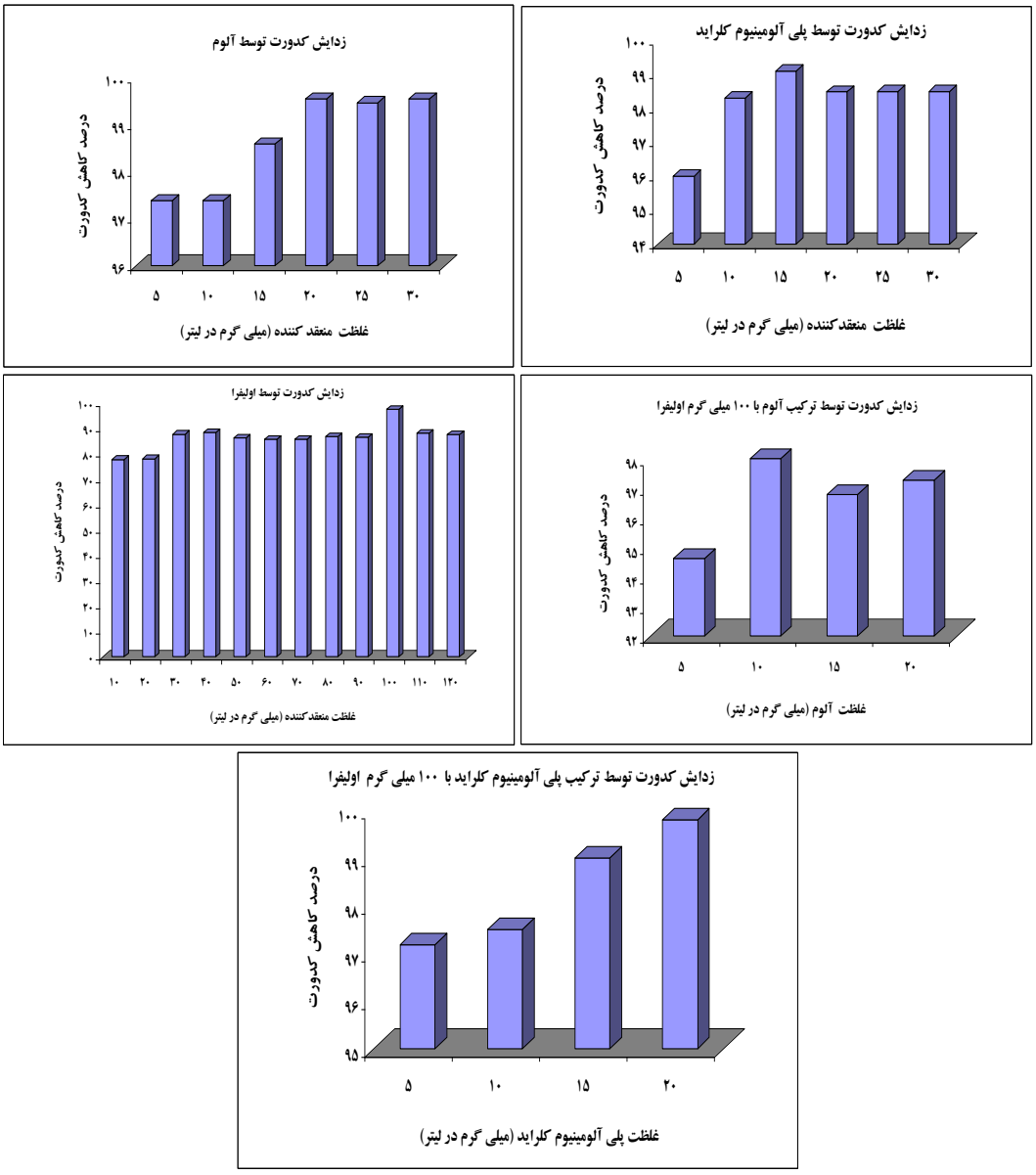
اثر غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها بر کاهش کدورت

همان‌طور که در شکل ۱ نشان داده شده است، راندمان کاهش کدورت با افزایش غلظت منعقدکننده نسبت مستقیم دارد، به-طوری‌که با افزایش مقدار منعقدکننده درصد کاهش کدورت نیز افزایش می‌یابد. این نتیجه با نتایج محوی و شیخی (۱۳۸۵)، بینا (۱۳۸۶)، کتایون و همکاران (۲۰۰۶) هم‌سو است. بیش-ترین زدایش کدورت توسط آلوم برابر ۹۹/۵ درصد بود، که در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. مقدار ۱۵ میلی‌گرم درلیتر پلی آلومینیوم کلراید قادر به حذف ۹۹ درصدی کدورت است، لازم به ذکر است که تفاوت معنی‌داری در عملکرد پلی آلومینیوم کلراید در کاهش کدورت با غلظت‌های بیش از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر وجود ندارد. غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پودر اولیفرا دارای بالاترین عملکرد در زدایش کدورت در بین سایر غلظت‌های این ماده بود، در این غلظت راندمان کاهش کدورت برابر ۹۷/۷ درصد می‌باشد. در مقادیر بالای اولیفرا به علت اینکه مقداری از این مواد به‌صورت معلق باقی‌مانده و ته-نشین نمی‌گردند، لذا راندمان زدایش کدورت با کاهش روبرو گردید. در نتیجه استفاده از غلظت‌های بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرا در تصفیه توصیه نمی‌گردد. در ادامه لازم بود تا اثر ترکیبی این مواد در کاهش کدورت بررسی گردد. لذا عملکرد ترکیب ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرا که بهترین عملکرد را داشت با غلظت‌های ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم و یا ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید مورد سنجش قرار گرفت. همان‌طور که در قبل نیز ذکر شد هدف اصلی این تحقیق بدست آوردن بهترین راندمان تصفیه و ارزان‌ترین ترکیب است. لذا آزمایشات ترکیبی بر روی غلظت‌های بهینه انجام شد. بر اساس نتایج بدست آمده بهترین عملکرد مربوط به ترکیب ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرا با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید بود، که دارای راندمان ۹۹/۷ درصدی در کاهش کدورت است. یکی از مزیت‌های استفاده از پودر دانه‌های اولیفرا که در زیر به آن اشاره شده است کاهش زمان ته‌نشینی می‌باشد. نتایج حاکی از کاهش ۲۰ دقیقه‌ای در زمان ته‌نشینی در صورت استفاده از پودر اولیفرا نسبت به آلوم و پلی آلومینیوم کلراید است. به‌طوری‌که استفاده از پودر اولیفرا باعث کاهش زمان ته‌نشینی از ۳۰ دقیقه به ۱۰ دقیقه گردید. از دیگر مزیت‌های استفاده از پودر دانه‌های اولیفرا می‌توان به آبگیری آسان از لجن تولیدی در صورت استفاده از این پودر در عملیات انعقاد و لخته‌سازی اشاره نمود. این در حالی است که آبگیری از لجن حاصله از آلوم و پلی آلومینیوم کلراید بسیار مشکل و زمان بر بوده است. چنین نتیجه‌ای از سوی اندابیگنگسر و ناراسیاه (۱۹۹۷) نیز گزارش شده است.

اثر غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها بر زدایش سختی

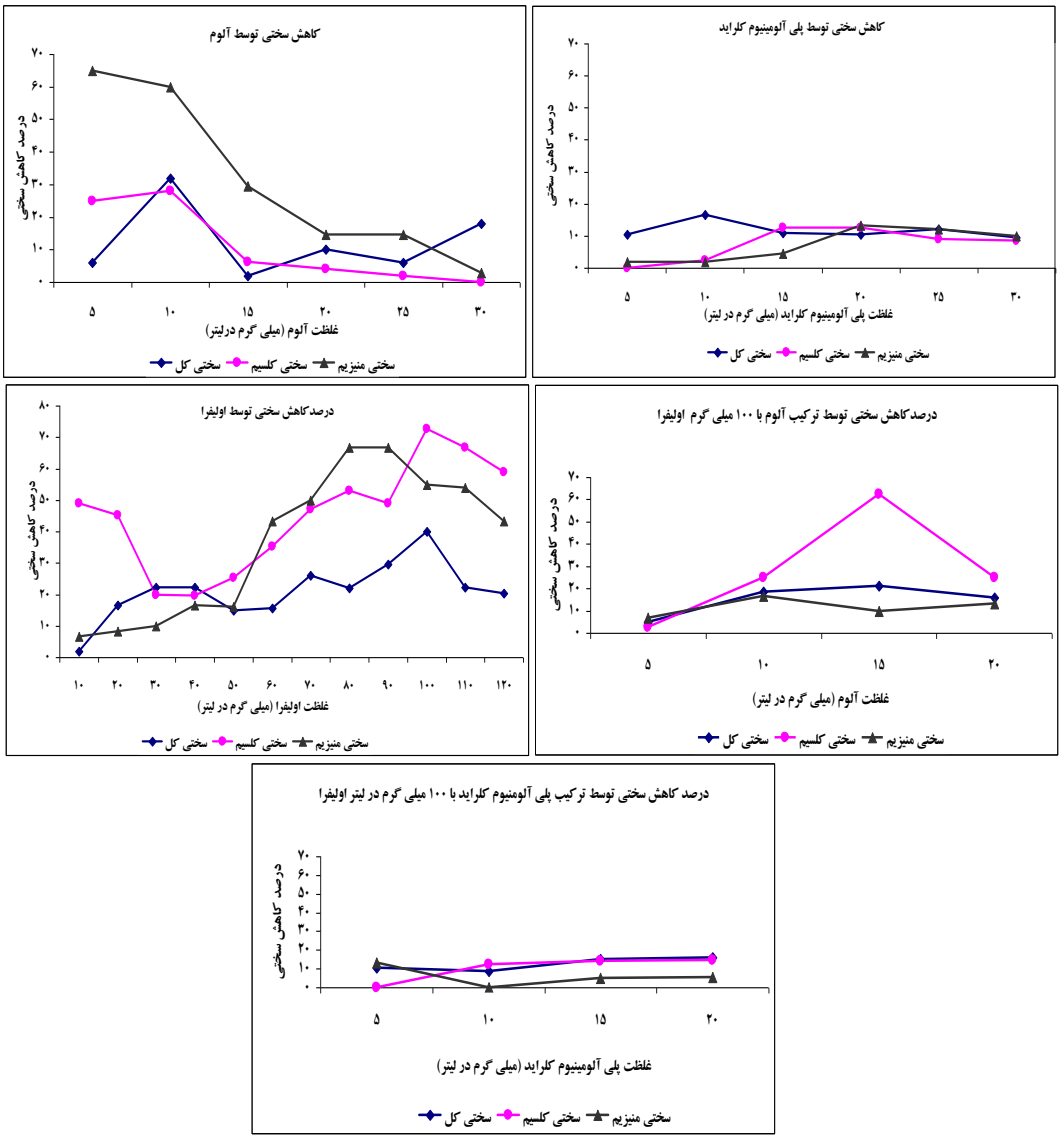
همانطور که قبلاً نیز ذکر شد اندازه‌گیری سختی توسط تیتراسیون انجام گرفت، نتایج حاصله به‌صورت درصد کاهش سختی در شکل ۲ بیان شده است. نتایج بدست آمده حاکی از توانایی دانه‌های اولیفرا در کاهش سختی است. باید متذکر شد که اولیفرا راندمان بالاتری نسبت به آلوم و پک در کاهش سختی دارد، به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرا راندمان کاهش سختی کل و کلسیمی به‌ترتیب برابر ۴۰

و ۷۲/۵ درصد بود. در حالی که بیش‌ترین راندمان کاهش سختی منیزیم برابر ۶۷ درصد است که در غلظت‌های ۸۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرا مشاهده گردید. ترکیب اولیفرا با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید باعث بهبود عملکرد آن‌ها در کاهش سختی گردید. از دیگر نتایج حاصله می‌توان به روند کاهشی راندمان زدایش سختی با افزایش غلظت آلوم و پلی آلومینیوم کلراید اشاره نمود، به‌طوری‌که در غلظت‌های بالا با افزایش سختی روبرو شدیم. اندابیگنگسر و ناراسیاه (۱۹۹۷) نیز در تحقیقات خود به عملکرد پایین آلوم در خصوص کاهش سختی دست یافتند. این کاهش بدلیل اثرات سوء مقادیر بالای این مواد در زدایش سختی می‌باشد. یکی از دلایل این امر کاهش pH توسط مواد فوق است که دانشور (۱۳۸۳)، روشنی و همکاران (۱۳۸۲) و مصطفی پور و همکاران (۱۳۸۶) از آن یاد کردند.



شکل ۱- درصد کاهش کدورت توسط غلظت‌های مختلف منعقدکننده

Figure 1- Percent reduction in turbidity by different concentrations of coagulant



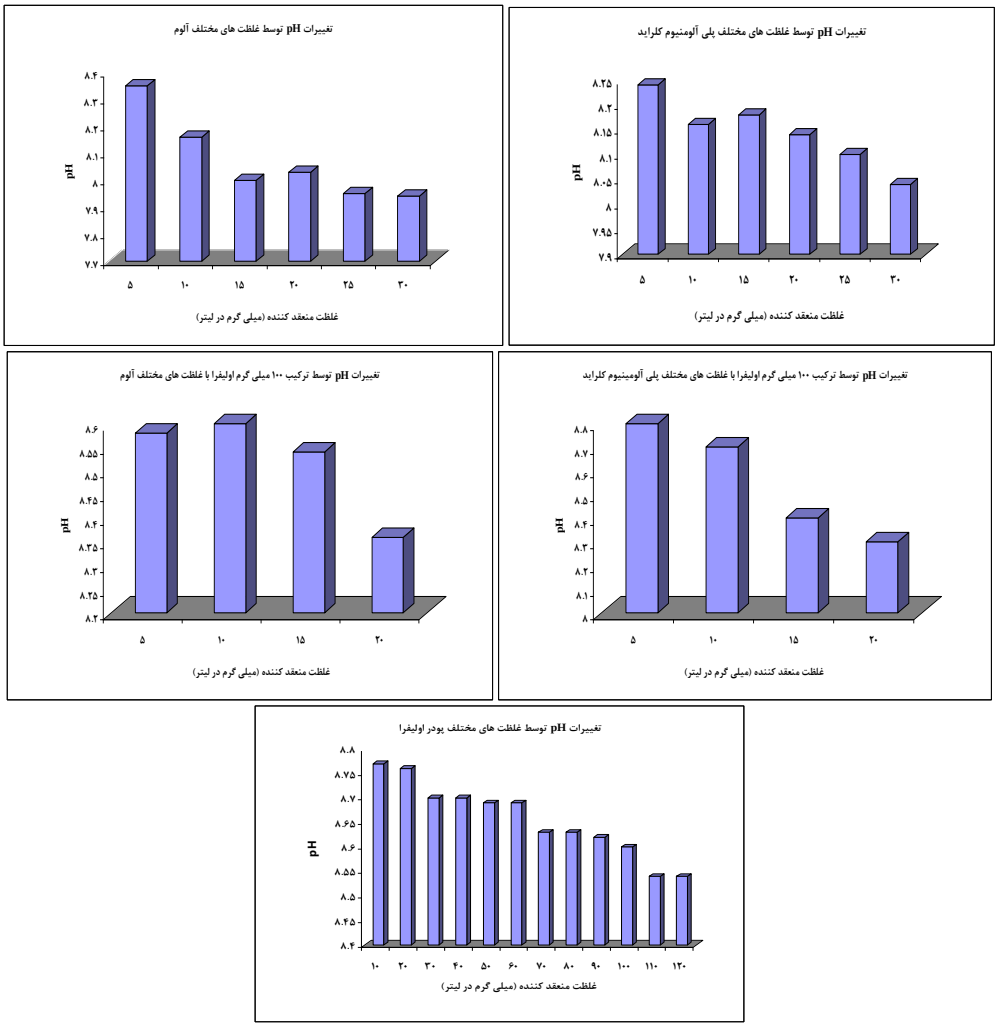
شکل ۲- تاثیر غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها بر کاهش سختی

Figure 2- Effect of different concentrations of coagulants on reducing hardness

اثر غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها بر تغییرات pH

در شرایط متعارف، pH آب‌های طبیعی بین ۷ تا ۸/۵ است و در این نوع آب‌ها بی‌کربنات به صورت محلول در آب باقی می‌ماند. تغییرات شدید pH مقدار کربن قابل دسترس را کاهش می‌دهد، که این امر در اثر خارج شدن گاز کربنیک در محیط اسیدی و یا رسوب کردن کربنات در محیط قلیایی به‌وقوع می‌پیوندد. همچنین تغییرات شدید pH علاوه بر تاثیر در سیستم کربن آب، قابلیت انحلال کربن دی‌اکسید و ظرفیت هیدروسفر برای جذب آب را تغییر می‌دهد (یزدانی و بانژاد، ۱۳۸۸). چون آب کشاورزی بعد از نفوذ در خاک اثرات غیر مستقیم روی گیاه دارد، لذا آب قلیایی ابتدا روی خاک اثر دارد که می‌تواند اثرات اصلاح یا تشدید کنندگی اثرات سوء، در محیط خاک اطراف ریشه داشته باشد. به‌طور کلی pH توصیه شده جهت مصارف کشاورزی و آبیاری بین حداقل ۵ و حداکثر ۹ پیشنهاد شده است (آیرس و وسکات، ۱۹۸۵). با توجه به مباحث ذکر شده اندازه‌گیری اسیدیته آب امری ضروری است. لذا برای ارایه تصویری روشن از تغییرات اسیدیته روند تغییرات pH در غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس شکل ذیل با افزایش مقادر پلی آلومینیوم کلراید

و آلوم درصد کاهش pH نیز افزایش پیدا می‌کند، لازم به ذکر است که این کاهش در pH باعث اسیدی شدن نمونه فاضلاب می‌گردد لذا در اکثر تصفیه‌خانه‌ها برای جلوگیری از این امر به نمونه فاضلاب آب آهک اضافه می‌شود تا جبران کاهش pH را نماید. شایان ذکر است که کاهش در pH توسط اولیفرا دارای روند مشابهی با کاهش توسط آلوم و پلی آلومینیوم کلراید است. تنها تفاوت اولیفرا با آلوم و پک در کاهش pH کم‌تر بودن میزان کاهش توسط اولیفرا است. کاهش pH توسط اولیفرا نیز توسط مویبی و کوفا (۱۹۹۶) و هیتندرا بهوپتووات و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. ترکیب اولیفرا با آلوم باعث کاهش بیش‌تر pH نسبت به آلوم تنها گردید، در مقابل کاهش pH توسط ترکیب اولیفرا با پلی آلومینیوم کلراید نسبت به پلی آلومینیوم کلراید تنها چندان تغییری نداشت.



شکل ۳- روند تغییرات pH توسط غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها

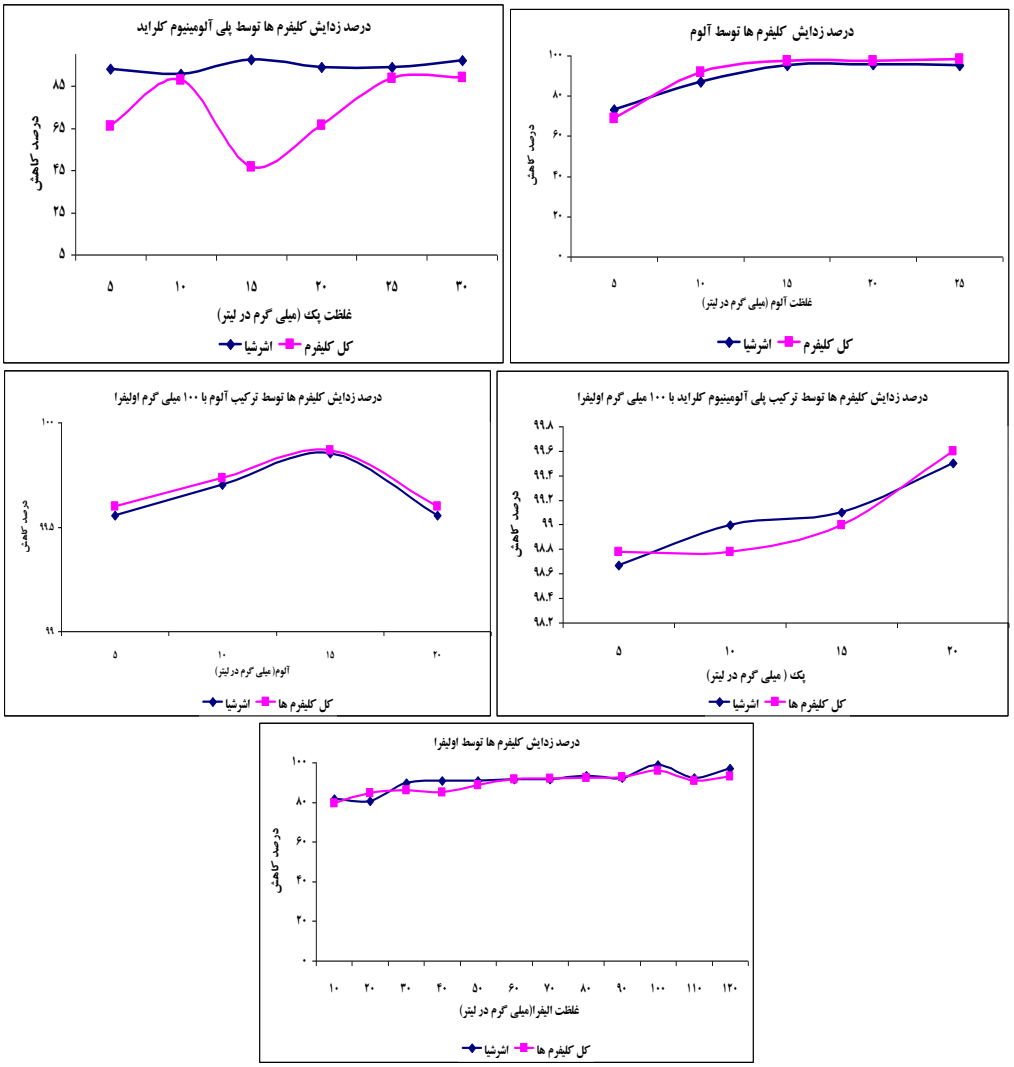
Figure 3- Changes in pH by various concentrations of coagulants

اثر غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها بر زدایش اشرشیا کلی و کل کلیفرم‌ها

با توجه به این‌که اشرشیا کلی بیان‌گر میزان آلودگی میکروبی فاضلاب می‌باشد، لذا کاهش در آن به منزله‌ی کمبود در تعداد سایر میکروارگانیسم‌ها نیز است. بر این اساس درصد زدایش اشرشیا کلی و کل کلیفرم‌ها در شکل ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده بیش‌ترین راندمان زدایش اشرشیا در غلظت‌های ۲۵ میلی‌گرم در لیتر آلوم، ۱۵ میلی‌گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید و ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرا می‌باشد. به‌طوری‌که در این غلظت‌ها درصد کاهش اشرشیا کلی به ترتیب

برابر ۹۸، ۹۷ و ۹۸/۷ درصد است. درصد کاهش قابل ملاحظه اشرشیا توسط پودر مورینگا از سوی بینا (۱۳۸۶) نیز گزارش شده است. این در حالی است که حداکثر راندمان کاهش توسط ترکیب آلوم با اولیفرا به میزان ۹۹/۸ درصد حاصل گردید. ترکیب اولیفرا با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید باعث بهبود عملکرد در حذف کلی‌فرم‌ها گردید. شایان ذکر است که تفاوت معنی‌داری بین ترکیب اولیفرا با پلی آلومینیوم کلراید و آلوم وجود ندارد. ضمن اینکه در هر دو حالت راندمان زدایش بیش‌تر از عملکرد هر ماده به‌تنهایی است. از دیگر نتایج حاصله می‌توان به این اشاره کرد که عملیات تصفیه بر روی زدایش اشرشیا نسبت به سایر کلیفرم‌ها موثرتر است. لازم به ذکر است که روند کاهش کلی‌فرم‌ها توسط ترکیب اولیفرا با پلی آلومینیوم کلراید به‌صورت خطی بوده و با افزایش غلظت پلی آلومینیوم کلراید درصد کاهش کلی‌فرم‌ها نیز افزایش می‌یابد. در مقابل روند کاهش کلی‌فرم‌ها در صورت استفاده از ترکیب آلوم با اولیفرا ابتدا افزایش و سپس کاهش می‌یابد. البته باید متذکر شد که این کاهش در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست.

بررسی‌ها نشان داد که راندمان زدایش کلی‌فرم‌ها (اشرشیا و سایر کلی‌فرم‌ها) تابع راندمان حذف کدورت می‌باشد. به‌طوری‌که بیش‌ترین راندمآن های زدایش کلی‌فرم‌ها در مواردی مشاهده شد که راندمان حذف کدورت بیشینه بود.



شکل ۴- درصد کاهش اشرشیا کلی و کل کلی‌فرم‌ها توسط غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها

Figure 4- Percentage of E. coli and total coliforms decreased by different concentrations of coagulants

بررسی فاضلاب تصفیه شده از لحاظ استانداردهای محیط‌زیست

سازمان حفاظت محیط‌زیست از اثرات زیان‌بار ناشی از فعالیت های انسان، حفاظت جوامع انسانی از عوامل سوء محیط زیستی و بهتر نمودن کیفیت محیط برای سلامتی و رفاه انسان را به عهده دارد. همان‌طور که در تعریف بالا نهفته است انسان‌ها در تماس با محیط‌زیست گاهی اثر سوء بر آن گذاشته و گاهی نیز در اثر آلودگی‌های موجود در محیط ضرر می‌بینند. آب به عنوان حلال عمومی موسوم است و پارامترهایی شیمیایی موجود در آن به قدرت حل کنندگی آب مربوط می‌شود کل جامدات محلول، قلیاییت[1]، سختی، فلوراید‌ها، فلزات، مواد آلی، مواد مغذی و کلی‌فرم‌های گرماپای پارامترهای مورد توجه در کیفیت آب به شمار می‌روند.

پساب تصفیه فاضلاب جزء آب قابل استفاده اما آلوده محسوب می‌شود که بسته به درجه تصفیه و استاندارد ملی و بین المللی با توجه به بحران کمی و کیفی آب می‌توان جهت مصارف مختلف از قبیل آبیاری محصولات کشاورزی و گل‌خانه‌ای، تغذیه مجدد آب زیرزمینی، مصارف صنعتی جهت آب خنک سازی، دیگ بخار و آب فرآیند صنعتی، استفاده‌های تفریحی در دریاچه‌های مصنوعی جهت قایقرانی و شنا، پرورش آبزیان، شرب حیوانات اهلی و وحشی، استفاده شهری غیرآشامیدنی نظیر آبنمای شهری، آتش نشانی، مخزن توالت سیفونی و تهویه هوا و همچنین استفاده آشامیدنی غیر مستقیم و مستقیم استفاده نمود. با توجه به بحران کمبود آب و هزینه بهبود منابع آب و تصفیه آن در کشور می‌توان از پساب تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی جهت مصارف مختلف شهری و غیرشهری استفاده نمود، که نوع استفاده مجدد بستگی به کمیت وکیفیت فاضلاب خام، درجه تصفیه مورد نیاز، هزینه تصفیه و نوع مقررات و استاندارد محیط زیستی دارد. آلودگی بیولوژیکی از مهم‌ترین نگرانی‌های کاربرد پساب فاضلاب در آبیاری است. به طور کلی در اکثر استانداردهای ارایه شده بعد از فرآیند تصفیه ثانویه، گندزدایی فرآیندی تکمیلی است که در این صورت کاربرد پساب فاضلاب در آبیاری محصولات غذایی و پارک‌ها توصیه شده است. واضح است که بالا بودن غلظت عناصری هم-چون نیتروژن و فسفر برای رشد گیاهان بسیار مفید و ضروری است، که این مواد می‌توانند جایگزین کودهای شیمیایی شوند (استاندارد محیط‌زیست، ۱۳۸۶). برای استفاده مجدد از پساب سازمان حفاظت محیط‌زیست استانداردهایی را ارایه نموده است که برخی از این استانداردها در جدول ۲ ذکر شده است.

برای ارایه تصویر روشن از کیفیت پساب تصفیه شده مقادیر فراسنج‌های اندازه‌گیری شده پس از تصفیه درجدول ۳ ذکر شده است. لازم به ذکر است که این مقادیر در بهترین حالت و همچنین در بالاترین راندمان بدست آمدند.

در بررسی انطباق کیفیت پساب تصفیه شده با استانداردهای حفاظت محیط‌زیست می‌توان نتیجه گرفت که پساب تصفیه شده توسط آلوم از نظر فراسنج‌های کلیفرم گوارشی و کلیه کلی‌فرم‌ها بیش از استاندارد استفاده در کشاورزی و یا تخلیه به چاه جذب و همچنین رهاسازی در آب‌های سطحی است. فراسنج‌های اندازه‌گیری شده در فاضلاب تصفیه شده توسط سایر تیمارها کم‌تر از حد استاندارد بوده و از این لحاظ مشکلی در استفاده از آن در مصارف سه‌گانه بالا نیست. البته باید متذکر شد که به‌دلیل بالا بودن شوری فاضلاب تصفیه شده، نمی‌توان از آن برای آبیاری بارانی به علت ایجاد سوختگی در برگ‌ها استفاده نمود.

1-Alkalinity

جدول ۲- استاندارد استفاده مجدد از پساب (سازمان حفاظت محیط زیست ایران،(۱۳۸۶)

Table 2-Standard for reuse of wastewater (Iran Environmental Protection Agency, 2007)

پارامتر	واحد	تخلیه به آبهای سطحی	تخلیه به چاه جذب	مصارف آبیاری
pH	-	۸/۵-۶/۵	۹-۵	۸/۵-۶
کلی‌فرم‌های گوارشی	MPN/100ml	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
کلیه کلی‌فرم‌ها	MPN/100ml	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰
کدورت	NTU	-	-	۵۰
کلسیم	mg/l	۷۵	-	-
منیزیم	mg/l	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰۱

جدول ۳- برخی از خصوصیات فاضلاب تصفیه شده*

Table 3- Some Properties of Refined Wastewater

پارامتر	واحد	اولیفرا	آلوم	آلوم + اولیفرا	پلی آلومینیوم کلراید	پلی آلومینیوم کلراید + اولیفرا
pH	-	۸/۷	۸/۰۳	۸/۳۶	۸/۱۸	۸/۴
کلی‌فرم‌های گوارشی	MPN/100ml	۱۲۰	۹۰۰	۱۰	۲۰۰	۱۵
کلیه کلی‌فرم‌ها	MPN/100ml	۲۲۰	۱۵۰۰	۲۵۰	۵۸۰	۳۰۰
کدورت	NTU	۸	۱	۵	۲	۴/۶
کلسیم	mg/l	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۳۸	۰/۱۴
منیزیم	mg/l	۰/۰۵۴	۰/۵۸	۰/۵	۰/۴۲	۰/۵۲

* نتایج حاصله به‌ترتیب ناشی از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرا، ۲۰ میلی‌گرم در لیتر آلوم، ترکیب ۱۰۰ میلی‌گرم اولیفرا با ۱۰ میلی‌گرم آلوم، ۱۵ میلی-گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید، ترکیب ۱۰۰ میلی‌گرم اولیفرا با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید.

بحث و نتیجه گیری

۱-استفاده از پودر دانه‌های مورینگا اولیفرا باعث کاهش زمان ته‌نشینی نسبت به آلوم و پک می‌گردد، به‌طوری‌که زمان ته‌نشینی از ۳۰ دقیقه به ۱۰ دقیقه کاهش یافت.

۲-آبگیری از لجن حاصله از تصفیه توسط پودر اولیفرا نسبت به لجن حاصله از تصفیه توسط آلوم و پلی آلومینیوم کلراید آسان‌تر می‌باشد.

۳-بر خلاف منعقدکننده‌های آلوم و پلی آلومینیوم کلراید استفاده از پودر دانه‌های اولیفرا باعث افزایش سختی نمی‌گردد. ترکیب اولیفرا با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید باعث افزایش راندمان ها گردید.

۴-حجم لجن تولیدی حاصله از پودر اولیفرا بسیار کم‌تر از حجم لجن حاصله از آلوم و پک می‌باشد.

منابع

۱- یزدانی، وحید. ارزیابی عملکرد پودر دانه‌های برخی از گونه‌های درخت گز روغنی در مقایسه با آلوم و پلی آلومینیوم کلرید در تصفیه فاضلاب شهری. پایان نامه کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آب، دانشگاه بوعلی سینا همدان.۱۳۸۸. صفحات ۸۰ تا ۹۵.

2- Montgomery, J.M., 1995. Water tretment principals and desing. John wiley, 28p.

3- Lettermanl, R.D., and Pero, R.W., 1990. Contaminants in Polyelectrolytes Used in Water Treatment. J AWWA, 12:145-155.

۴- مصطفی پور، فردوس و همکاران. بررسی مقایسه‌ای کارایی منعقدکننده‌های سولفات آلومینیوم، کلراید فریک و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت از آب آشامیدنی. ۱۳۸۶، دوره ۱۰ شماره ۱: ۱۷- ۲۵.

۵- محوی، امیر حسین و همکاران. کاربرد پلی‌آلومینیوم کلراید در تصفیه آب آشامیدنی آبادان، انیستیتو تحقیقات بهداشتی، مرکز تحقیقات محیط‌زیست، دانشگاه علوم پزشکی تهران. ۱۳۸۵. دوره ۱۴ شماره ۲: ۵۵-۴۸.

۶- مظفریان، ولی الله. فرهنگ نام‌های گیاهان ایران، چاپ سوم، انتشارات فرهنگ معاصر. ۱۳۸۲. ۷۵۸ص.

7- Katayon, S., Megat Mohd Noor, M.J., Asma, M., Abdul Ghani, L.A., Thamer, A.M., Azni, I., Ahmad, J., Khor, B.C. and Suleyman, A.M. 2006. Effects of storage conditions of Moringa oleifera seeds on its performance in coagulation. Bioresource Technology 97:1455–1460.

8- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Th Ed 14.1995.

9- Folkard, G.K, Al-Khalili, R.S, and Sutherland, J.P. 1999. Natural coagulants—a sustainable approach. J Pickford (Ed.), Sustainability of Water and Sanitation Systems, Pub; Intermediate Technology Publications London, ISBN: 0-906055-466, 63–65.

10- Muyibi, S.A. and Okufu, C.A. 1996. Coagulation of low turbidity surface water with Moringa oleifera seeds. International journal of environmental studies 48: 263–273.

11- Suleyman, A, Muyibi, M. and Lilian, M. 1995. Morninga oleifera seeds for softening hardwater. Water Research, 29(4): 1099-1104.

۱۲- بینا، بیژن و همکاران. مقایسه کارایی عصاره دانه مورینگا اولیفرا و پلی آلومنیوم کلراید در حذف کدورت آب. مجله علمی- پژوهشی آب و فاضلاب. ۱۳۸۶. دوره ۱۸ شماره ۱: ۳۳-۲۴

13- Hitendra, B., Folkard, G.K. and Chaudhari, S. 2006. Innovative physico- chemical treatment of wastewater incorporating moringa oleifra seed coagulant. Journal of Hazardous Materials, 142: 477-482.

14- Liew, A.G., Noor, M.J.M.M., Muyibi, S.A., Fugara, A.M.S., Muhammed, T.A. and Lyuke, S.E. 2006. Surface water clarification using moringa oleifera seeds. International journal of environmental studies.63 (2): 211-219.

15- Krishna Prasad, R. 2008. Color removal from distillery spent wash through coagulation using Moringa oleifera seeds: Use of optimum response surface methodology. Journal of Hazardous Materials, 140: 1-8.

16- Ndabigengesere, A. and Narasah, K.S. 1997. Quality of water treated by coagulation using moringa oleifera seeds. Journal of water Research. 32(3): 781-791.

۱۷- دانشور، نظام الدین اصول کنترل کیفیت آب، انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، ۱۳۸۳، ۴۱۳ص.

۱۸- یزدانی، و. بانژاد، ح. و قلی‌زاده، م. استفاده از مواد منعقد کننده طبیعی در فرایند تصفیه آب. سومین همایش منطقه‌ای محیط زیست، دانشگاه تهران. ۱۳۸۸ . تهران. ایران.

19- Ayers, R.S. and Westcot, D.W. 1985. Water quality for agriculture. Irrigation and Drainage Paper, 2(1):170- 174.

۲۰- چالکش امیری، محمد، اصول تصفیه آب، چاپ پنجم، انتشارات ارکان، ۱۳۸۵، ۵۲۴ صفحه.

۲۱- استاندارد استفاده مجدد از پساب سازمان حفاظت محیط زیست ایران، ۱۳۸۶.