

## بررسی عملکرد پودر دانه‌های مورینگا اولیفا در مقایسه با سولفات آلومینیوم و پلی آلومینیوم کلراید در تصفیه آب‌های آلوده

وحید یزدانی<sup>\*۱</sup>

[v.yazdany@yahoo.com](mailto:v.yazdany@yahoo.com)

حسین بانژاد<sup>۲</sup>

علیرضا رحمانی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۰۸/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۰۱/۱۹

### چکیده

**زمینه و هدف:** از آنجایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک دسترسی به منابع آب با کیفیت خوب با محدودیت همراه است، لذا بهره‌برداری 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 اولیفا 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.

**یافته‌ها:** غلظت پودر اولیفا 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 بهینه منعقدکننده‌های آلوم، پلی آلومینیوم کلراید و اولیفا به ترتیب 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 به ترتیب برابر ۴۰ (۱۰۰ میلی‌گرم اولیفا)، ۷۲/۵ (۱۰۰ میلی‌گرم اولیفا)، ۶۷ (۸۰ میلی‌گرم اولیفا)، ۹۹/۸ (۱۰۰ اولیفا + ۱۵ میلی‌گرم آلوم) و ۹۹/۷ (۱۰۰ اولیفا + 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 راندمان ها در صورت ترکیب اولیفر با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید است. استفاده از پودر دانه‌های اولیفر 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 اولیفر بسیار کم‌تر از حجم لجن حاصله از آلوم و پلی آلومینیوم کلراید می‌باشد، ضمن این‌که آبگیری از آن آسان‌تر است.

**واژه‌های کلیدی:** مورینگا اولیفر، سولفات آلومینیوم، پلی‌آلومینیوم کلراید، عملیات تصفیه، راندمان حذف.

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

**Vahid Yazdani**<sup>1\*</sup>

[hassani.doe2006@yahoo.com](mailto:hassani.doe2006@yahoo.com)

**Hossein Banejad**<sup>2</sup>

**Alireza Rahmani**<sup>3</sup>

## **Abstract**

**Background and Objective:** Due to the fact that in arid and semiarid areas, access to high quality water resources may 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 done 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 medium 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 نیمه خشک 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 می شود ولی بهره برداری از همین مقدار، باعث می شود که آب هایی با کیفیت بالاتر را بتوان در مصارف مهم تر به کار برد (یزدانی، ۱۳۸۸).

از رایج ترین موادی که در فرآیند انعقاد کاربرد دارند می توان به نمک های آلومینیوم و آهن اشاره نمود. پلی الکترولیت های مصنوعی نیز از جمله فرآورده هایی هستند که در تصفیه آب در واحد انعقاد به عنوان کمک منعقدکننده استفاده می شوند. آنجا که برخی از این پلیمرها در دراز مدت می توانند اثرات سویی بر سلامتی انسان داشته باشند، در سال های اخیر استفاده از پلیمرهای آلی طبیعی بجای پلی الکترولیت های مصنوعی بسیار معمول شده است (مونت گومری، ۱۹۸۵؛ لترمان و پرو، ۱۹۹۰). در تحقیقی دیگر مصطفی پور و همکاران (۱۳۸۶) عملکرد منعقدکننده های 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 غلظت های ۴۰، ۲۰ و ۴۰ میلی گرم در لیتر است. در این غلظت ها راندمان کاهش کدورت به ترتیب برابر ۹۹/۹، ۹۶ و ۹۹ درصد بود. آن ها همچنین بیان داشتند که تاثیر pH در حذف کدورت برای همه غلظت ها یکسان است.

محو و شیخی (۱۳۸۵) عملکرد پلی آلومینیوم 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 باقی مانده به طور متوسط ۰/۰۶ میلی گرم در لیتر بود.

با توجه به اینکه در این مقاله از دانه های درخت مورینگا اولیفرای برای انجام آزمایشات لخته سازی استفاده شد، لذا لازم است تا توضیح مختصری از این گیاه داده شود. گز رخ (گز روغن) یا

مورینگا نام گونه ی گیاهی است، از خانواده گز رخان که تیره کوچکی از گیاهان جدا گلبرگ و فقط شامل یک جنس به نام مورینگا مرکب از معدودی انواع درختی است (مظفریان، ۱۳۸۲). مورینگا اولیفرای درختی است خزان شونده از خانواده گزهای روغنی که بسیار سریع رشد می کند، این درخت با کم آبی تطبیق پیدا کرده است. غلاف هایی به شکل چوب طبل، دانه ها را در بر گرفته اند (کتایون و همکاران، ۲۰۰۶). طول میوه های آن معمولا در حدود ۳۰-۲۰ سانتی متر است، هر میوه محتوی ۲۰ عدد کروی شکل هستند. میانگین وزنی هر میوه (۳-۲ گرم) و طول (۱/۴-۱ سانتی متر) و پهنای (۱/۷-۱ سانتی متر) است (یزدانی، ۱۳۸۸). وجود نوعی پروتیین دارای بار مثبت در دانه های مورینگا اولیفرای باعث عمل انعقاد می شود، اندازه گیری پتانسیل زتا نشان می دهد که مکانیسم غالب برای انعقاد با مورینگا الیفرای، خنثی کردن بار الکتریکی، برای جذب سطحی بهتر می باشد (کتایون و همکاران، ۲۰۰۶).

تحقیقات معدودی در دنیا در مورد توانایی دانه های مورینگا در انعقادسازی مواد کلوئیدی آب و فاضلاب انجام شده است که از آن جمله می توان به تحقیقاتی که توسط فولکارد (۱۹۹۹) انجام شد اشاره نمود. نتایج وی نشان دهنده غلظت بهینه ای بین ۵۰ تا ۳۰۰ میلی گرم در لیتر مورینگا می باشد. ضمن اینکه این غلظت بهینه به خصوصیات آب ورودی جهت تصفیه بستگی دارد. مویببی و کوفسا (۱۹۹۶) آزمایشاتی بر روی آب دارای کدورت انجام دادند. آن ها به این نتیجه رسیدند که پودر دانه های مورینگا برای انعقادسازی در آب با کدورت بالا موثرتر است. به طور مثال در آب با کدورت پائین تا متوسط (۹۰ NTU-۲۳) حدودا ۵۰ درصد از کدورت را ته نشین می کند. این در حالی است که در کدورت خیلی زیاد (۶۰۰ NTU) حدودا ۹۸/۵ درصد از کدورت را ته نشین می کند. سلیمان و همکاران (۱۹۹۵) تاثیر پودر دانه های مورینگا را بر زدایش سختی آب مورد ارزیابی قرار دادند. آن ها از آبی با سختی ۳۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی گرم در لیتر کربنات کلسیم (CoCo<sub>3</sub>) استفاده کردند. نتایج آن ها حاکی از افزایش راندمان کاهش سختی با افزایش غلظت

با توجه به استفاده روز افزون از منابع آبی و همچنین آلوده شدن آن‌ها، این ضرورت احساس می‌شود که از فاضلاب‌ها به‌عنوان یک منبع آبی مناسب در کشاورزی که پرمصرف‌ترین بخش در زمینه مصرف آب می‌باشد، استفاده نمود. برای استفاده مجدد از پساب‌ها لازم است که آن‌ها را تصفیه کنیم تا کیفیت آن‌ها تا حد مطلوبی افزایش یابد. یکی از موثرترین و مقرون به صرفه‌ترین راه‌ها در این زمینه استفاده از مواد طبیعی برای انجام عمل اختلاط است. از آنجایی که انجام آزمایشات مربوط به لخته‌سازی و ته‌نشینی از یک سو زمان بر بوده و از سوی دیگر در همه مناطق امکان پذیر نمی‌باشد، در این پژوهش ما بر آنیم که تا حد امکان حالت‌های مختلف این فرآیند را شبیه‌سازی کنیم تا دسترسی به شرایط مطلوب‌تر در این فرآیند سهل‌تر گردد. اهداف این پژوهش عبارتند از: (۱) بررسی اثر غلظت پودر دانه‌های مورینگا اولیفرآ در تصفیه فاضلاب، (۲) بررسی اثر ترکیب پودر دانه‌های مورینگا اولیفرآ به ترتیب با آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید در تصفیه فاضلاب. باید متذکر شد که هدف اصلی این تحقیق بدست آوردن غلظت بهینه این مواد در کاهش فراسنج‌های کیفی اندازه‌گیری شده 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 اولیفرآ

دانه‌های خشک شده مورینگا اولیفرآ پس از حدود ۴ ماه از مرحله گل‌دهی به عنوان دانه‌های رسیده جمع‌آوری شدند. لازم به ذکر است که دانه‌های اولیفرآ از استان بوشهر جمع‌آوری گردید. باید توجه داشت که دانه‌های اولیفرآ باید از نظر ظاهری قهوه‌ای رنگ و عاری از هر نوع آلودگی و پوسیدگی باشند. برای اطمینان از خشک بودن دانه‌ها به منظور تهیه پودر، دانه‌های جمع‌آوری شده را به مدت ۵ ساعت در آون با دمای ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. دانه‌ها به صورت دستی پوست‌کنی و سپس با خردکن مولینکس بصورت پودر نرمی به اندازه‌ی تقریبی ۶۰۰ میکرومتر تبدیل شدند. به منظور ایجاد عصاره ۱ گرم از پودر ایجاد شده در ۱ لیتر آب مقطر وارد و به

مورینگا بود. همچنین آن‌ها بیان داشتند که راندمان زدایش سختی به pH آب بستگی دارد.

بینا (۱۳۸۶) از دانه‌های مورینگا برای حذف کدورت و اشرشیا کلی (کلیرم روده‌ای) در آب‌های بسیار کدر استفاده نمود. او بیان داشت که در حضور کائولین کاهش باکتری به میزان بیش از ۹۰ درصد به‌وسیله سوسپانسیون مورینگا در دو ساعت اول آزمایش صورت می‌گیرد و حداکثر حذف اشرشیا کلی ۹۹/۵ درصد می‌باشد. هیتندرا بهوپتووات و همکاران (۲۰۰۶) از دانه‌های مورینگا برای تصفیه فاضلاب استفاده نمودند. آن‌ها تیمارهای ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم پودر دانه مورینگا را تهیه‌ی و با ترکیب با ۱۰ میلی‌گرم آلوم استفاده نمودند، پس از مراحل انعقاد، ته‌نشینی، و فیلتراسیون میزان اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) را اندازه‌گیری نمودند، بهترین عملکرد در حذف اکسیژن مورد نیاز شیمیایی، تیمار ۱۰ میلی‌گرم آلوم در ترکیب با ۱۰۰ میلی‌گرم پودر دانه مورینگا بود، که حدود ۶۴ درصد از COD را حذف نمود.

لیو<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۰۶) عملکرد آلوم را در مقابل دانه‌های مورینگا برای تصفیه آب سطحی در مقیاس آزمایشگاهی مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از که کاهش کدورت توسط دانه‌های مورینگا، آلوم، و مخلوطی از هر دو بود که به ترتیب کدورت نهایی برابر ۲/۷ و ۲/۴ و ۲/۳ (NTU) می‌باشد. در غلظت ۲۰ تا ۶۰ میلی‌گرم در لیتر مورینگا و pH برابر ۷ تا ۸/۵ راندمان کاهش رنگ برابر ۵۶ تا ۶۷ درصد است. در حالی که راندمان حذف رنگ توسط کلرید سدیم و کلرید پتاسیم در این شرایط به ترتیب برابر ۵۳ و ۶۴ درصد است (کریشنا پراساد، ۲۰۰۸). در مجموع می‌توان گفت که دست‌یابی به حداکثر راندمان حذف کدورت معمولاً بر مبنای تجربه بهره‌برداران و یا به‌صورت دقیق‌تر بر اساس نتایج حاصل از آزمایشات دوره‌ای جارست در جهت تعیین بهترین ماده منعقدکننده همراه با بهترین شرایط کاربرد صورت می‌پذیرد (یزدانی، ۱۳۸۸).

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

#### طرز تهیه مخلوط مادر پلی آلومینیوم کلراید و آلوم

برای این منظور به ترتیب مقدار ۱ گرم از هر کدام از مواد فوق را در ۱ لیتر آب مقطر ۲ بار تقطیر ریخته شد و برای ایجاد

مخلوط همگن به مدت ۱۰ دقیقه مخلوط حاصل مخلوط گردید. شایان ذکر است که مخلوط حاصل، مخلوط 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 بوعلی سینا 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 بوعلی سینا 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، ۳۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰، ۷۰، ۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰ و ۱۲۰ میلی‌گرم در لیتر پودر اولیفر (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 راندمان‌های 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 اولیفر 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 دوره‌های 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

نشین نمی‌گردند، لذا راندمان زدایش کدورت با کاهش روبرو گردید. در نتیجه استفاده از غلظت‌های بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرایا 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 اولیفرایا 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 پلی‌آلومینیوم 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 اولیفرایا با ۲۰ میلی‌گرم در لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید بود، که دارای راندمان ۹۹/۷ درصدی در کاهش کدورت است. یکی از مزیت‌های استفاده از پودر دانه‌های اولیفرایا 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 اولیفرایا نسبت به آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید است. به‌طوری‌که استفاده از پودر اولیفرایا باعث کاهش زمان ته‌نشینی از ۳۰ دقیقه به ۱۰ دقیقه گردید. از دیگر مزیت‌های استفاده از پودر دانه‌های اولیفرایا می‌توان به آبیگری آسان از لجن تولیدی در صورت استفاده از این پودر در عملیات انعقاد و لخته‌سازی اشاره نمود. این در حالی است که آبیگری از لجن حاصله از آلوم و پلی‌آلومینیوم کلراید بسیار مشکل و زمان بر بوده است. چنین نتیجه‌ای از سوی اندابیگنسر 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 اولیفرایا در کاهش سختی است. باید متذکر شد که اولیفرایا راندمان بالاتری نسبت به آلوم و پک در کاهش سختی دارد، به‌طوری‌که در غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرایا راندمان کاهش سختی کل و کلسیمی به‌ترتیب برابر ۴۰

ترسیم شد. آبیگری از لجن حاصل نیز توسط روش سانتیفریوژ 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

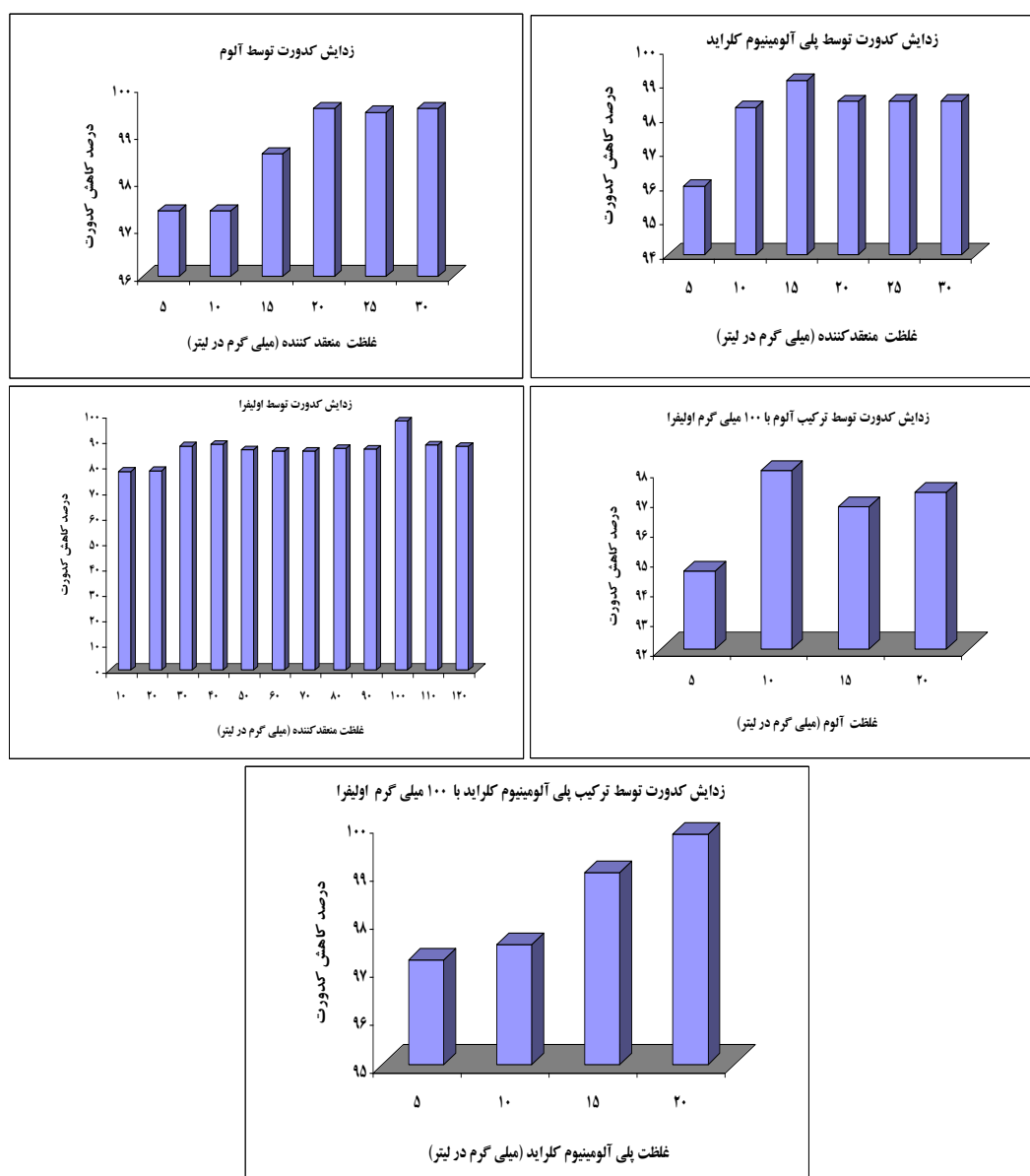
هدف از این پژوهش نشان دادن عملکرد پودر دانه‌های مورینگا اولیفرایا به تنهایی و در ترکیب با آلوم و یا پلی‌آلومینیوم کلراید در فرایند تصفیه فاضلاب شهری است. زیرا در غیر این‌صورت روند تغییرات راندمان تصفیه در غلظت‌های مختلف پودر دانه‌های فوق قابل بحث و بررسی نیست. از طرف دیگر اثر غلظت‌های مختلف بر روی زدایش فراسنج‌های مختلف از قبیل سختی کل، سختی کلسیم، سختی منیزیم، اشرشیا کلی، کدورت، کل‌کلی‌فرم‌ها و اسیدپته در شکل‌های مجزا نشان داده شده است، تا تفکیک این پارامترها از همدیگر به راحتی انجام شود. در پایان نیز به نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادهای 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، به‌طوری‌که 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. بیش‌ترین زدایش کدورت توسط آلوم برابر ۹۹/۵ درصد بود، که در غلظت ۲۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده گردید. مقدار ۱۵ میلی‌گرم در لیتر پلی‌آلومینیوم کلراید قادر به حذف ۹۹ درصدی کدورت است، لازم به ذکر است که تفاوت معنی‌داری در عملکرد پلی‌آلومینیوم کلراید در کاهش کدورت با غلظت‌های بیش از ۱۰ میلی‌گرم در لیتر وجود ندارد. غلظت ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پودر اولیفرایا 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 اولیفرایا به علت اینکه مقداری از این مواد به‌صورت معلق باقی‌مانده و ته-

سختی روبرو شدیم. اندابیگنسر 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.

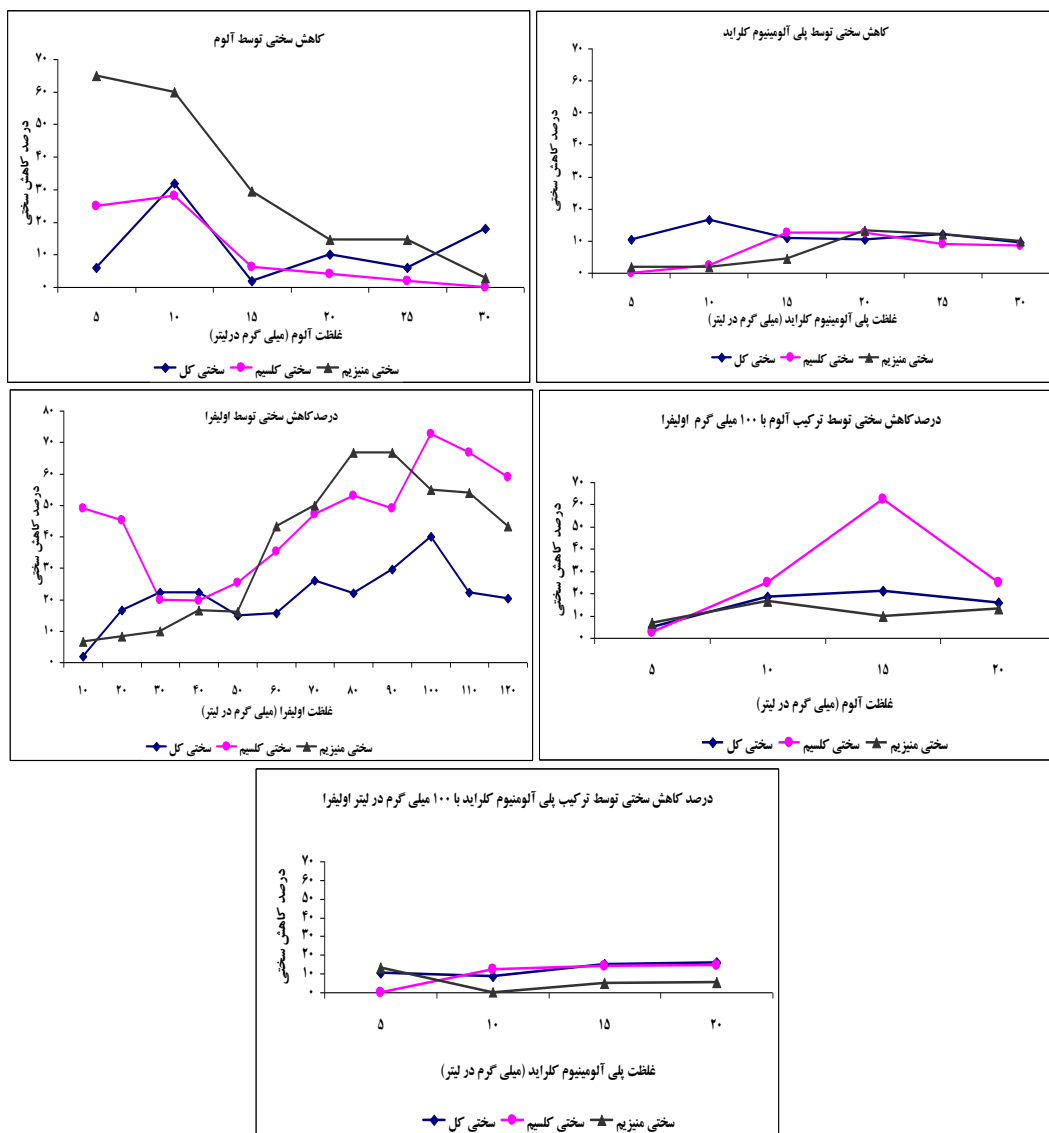
و ۷۲/۵ درصد بود. در حالی که بیش‌ترین راندمان کاهش سختی منیزیم برابر ۶۷ درصد است که در غلظت‌های ۸۰ و ۹۰ میلی‌گرم در لیتر اولیفرآ مشاهده گردید. ترکیب اولیفرآ با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید باعث بهبود عملکرد آن‌ها در کاهش سختی گردید. از دیگر نتایج حاصله می‌توان به روند کاهشی راندمان زدایش سختی با افزایش غلظت آلوم و پلی آلومینیوم کلراید اشاره نمود، به طوری‌که در غلظت‌های بالا با افزایش



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

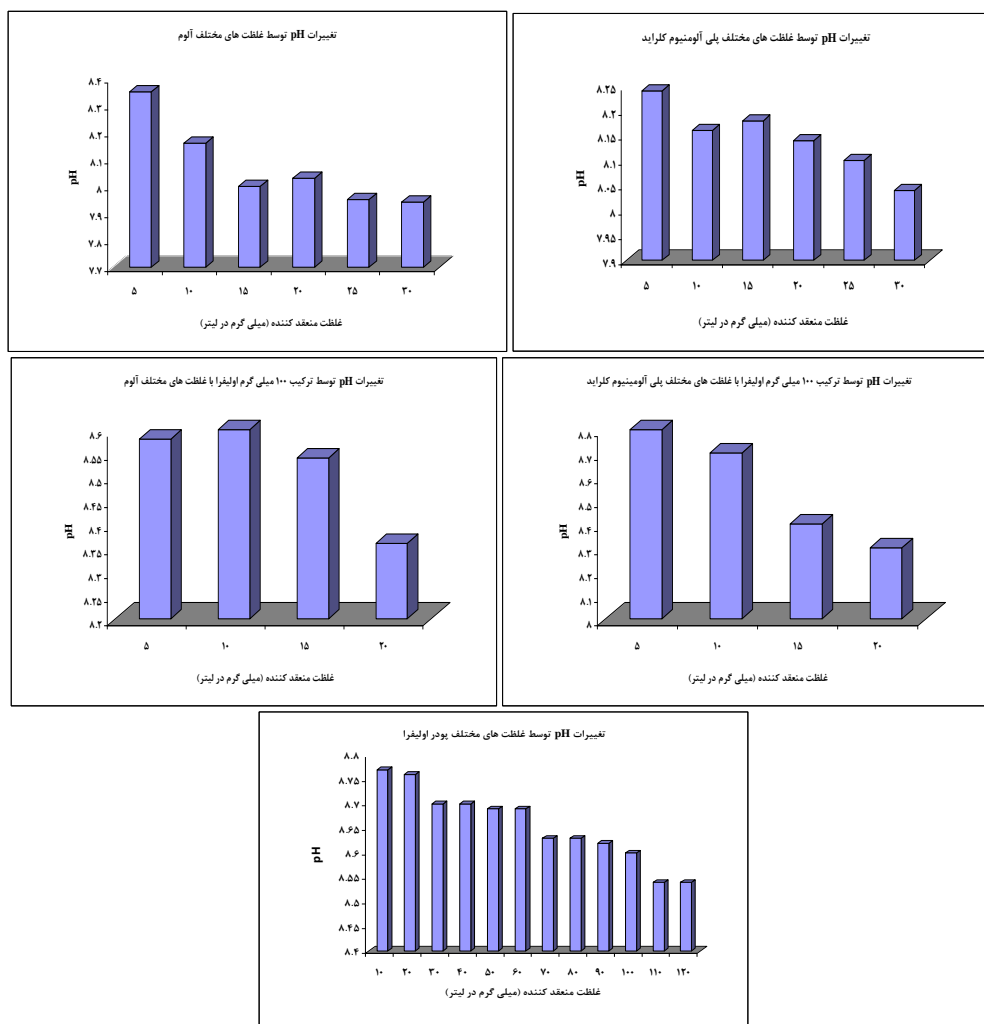
### اثر غلظت‌های مختلف منعقدکننده‌ها بر تغییرات pH

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 (آپرس و وسکات، ۱۹۸۵). با توجه به مباحث ذکر شده اندازه‌گیری اسیدیته آب امری ضروری است. لذا برای آرایه 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 مقادیر پلی آلومینیوم کلراید

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

میزان کاهش توسط اولیفر است. کاهش pH توسط اولیفر نیز توسط مویبسی و کویا (۱۹۹۶) و هیتندرا بهپوتوات و همکاران (۲۰۰۶) گزارش شده است. ترکیب اولیفر با آلوم باعث کاهش بیش تر pH نسبت به آلوم تنها گردید، در مقابل کاهش pH توسط ترکیب اولیفر با پلی آلومینیوم کلراید نسبت به پلی آلومینیوم کلراید تنها چندان تغییری نداشت.

و آلوم درصد کاهش pH نیز افزایش پیدا می کند، لازم به ذکر است که این کاهش در pH باعث اسیدی شدن نمونه فاضلاب می گردد لذا در اکثر تصفیه خانه ها برای جلوگیری از این امر به نمونه فاضلاب آب آهک اضافه می شود تا جبران کاهش pH را نماید. شایان ذکر است که کاهش در pH توسط اولیفر دارای روند مشابهی با کاهش توسط آلوم و پلی آلومینیوم کلراید است. تنها تفاوت اولیفر با آلوم و پک در کاهش pH کم تر بودن



شکل ۳- روند تغییرات pH توسط غلظت های مختلف منعقدکننده ها

Figure 3- Changes in pH by various concentrations of coagulants

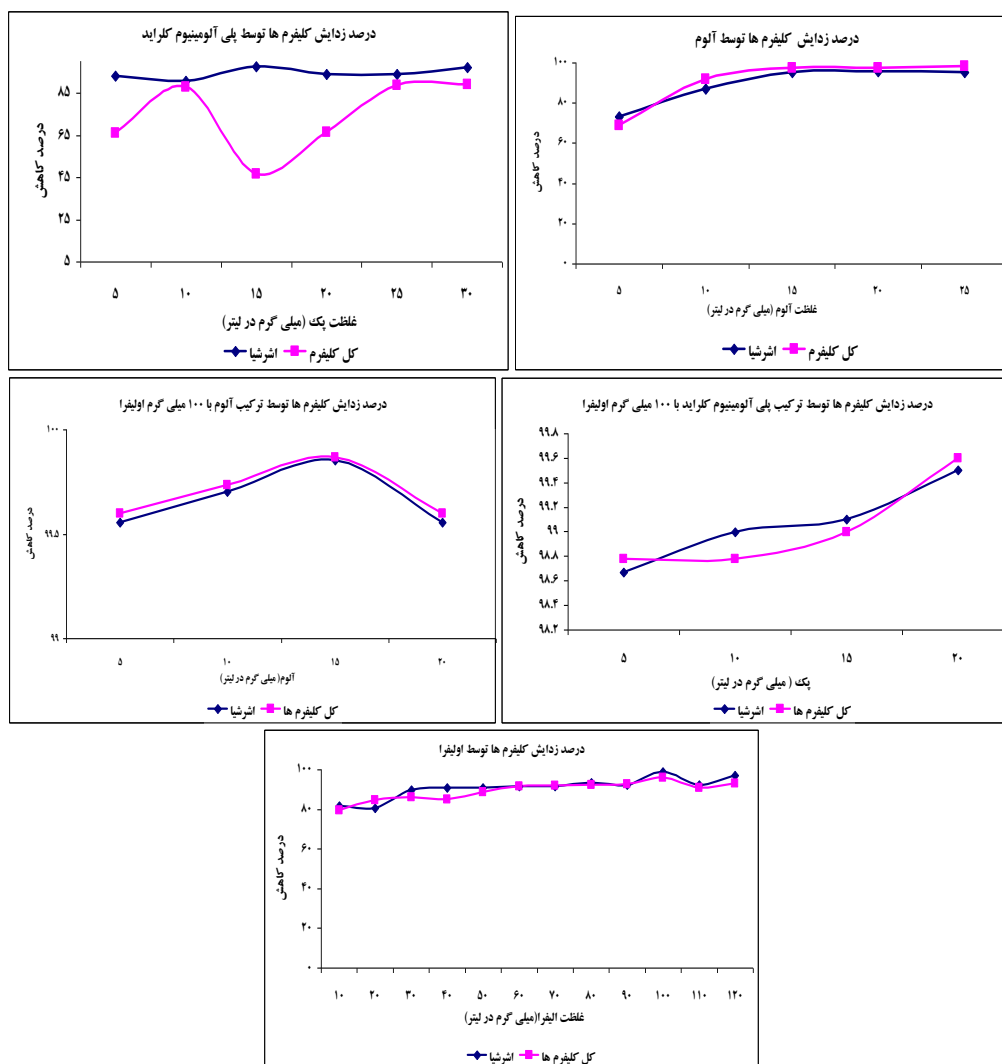
اشرشیا کلی و کل کلیفرمها در شکل ۴ آورده شده است. بر اساس نتایج بدست آمده بیش ترین راندمان زدایش اشرشیا در غلظت های ۲۵ میلی گرم در لیتر آلوم، ۱۵ میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید و ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اولیفر می باشد. به طوری که در این غلظت ها درصد کاهش اشرشیا کلی به ترتیب

اثر غلظت های مختلف منعقدکننده ها بر زدایش اشرشیا کلی و کل کلیفرمها با توجه به این که اشرشیا کلی بیان گر میزان آلودگی میکروبی فاضلاب می باشد، لذا کاهش در آن به منزله کمیبود در تعداد سایر میکروارگانیسمها نیز است. بر این اساس درصد زدایش

کاهش کلی فرم‌ها توسط ترکیب اولیفرآ با پلی آلومینیوم کلراید به صورت خطی بوده و با افزایش غلظت پلی آلومینیوم کلراید درصد کاهش کلی فرم‌ها نیز افزایش می‌یابد. در مقابل روند کاهش کلی فرم‌ها در صورت استفاده از ترکیب آلوم با اولیفرآ 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 کلی فرم‌ها (اشرشیا و سایر کلی فرم‌ها) تابع راندمان حذف کدورت می‌باشد. به طوری - که بیش‌ترین راندمان‌های زدایش کلی فرم‌ها در مواردی مشاهده شد که راندمان حذف کدورت بیشینه بود.

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 اولیفرآ به میزان ۹۹/۸ درصد حاصل گردید. ترکیب اولیفرآ با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید باعث بهبود عملکرد در حذف کلی فرم‌ها گردید. شایان ذکر است که تفاوت معنی‌داری بین ترکیب اولیفرآ با پلی آلومینیوم کلراید و آلوم وجود ندارد. ضمن اینکه در هر دو حالت راندمان زدایش بیش‌تر از عملکرد هر ماده به تنهایی است. از دیگر نتایج حاصله می‌توان به این اشاره کرد که عملیات تصفیه بر روی زدایش اشرشیا نسبت به سایر کلی فرم‌ها موثرتر است. لازم به ذکر است که روند



شکل ۴- درصد کاهش اشرشیا کلی و کل کلی فرم‌ها 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 محیط زیست

سازمان حفاظت محیط زیست از اثرات زیان بار 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. همان طور که در تعریف بالا نهفته است انسان ها در تماس با محیط زیست گاهی اثر سوء بر آن گذاشته و گاهی نیز در اثر آلودگی های موجود در محیط ضرر می بینند. آب به عنوان حلال عمومی موسوم است و پارامترهایی شیمیایی موجود در آن به قدرت حل کنندگی آب مربوط می شود کل جامدات محلول، قلیابیت<sup>۱</sup>، سختی، فلوراید، فلزات، مواد آلی، مواد مغذی و کلی فرم های گرما پای پارامترهای مورد توجه در کیفیت آب به شمار می روند.

پساب تصفیه فاضلاب جزء آب قابل استفاده اما آلوده محسوب می شود که بسته به درجه تصفیه و استاندارد ملی و بین المللی با توجه به بحران کمی و کیفی آب می توان جهت مصارف مختلف از قبیل آبیاری محصولات کشاورزی و گل خانه ای، تغذیه مجدد آب زیرزمینی، مصارف صنعتی جهت آب خنک سازی، دیگ بخار و آب فرآیند صنعتی، استفاده های تفریحی در دریاچه های مصنوعی جهت قایقرانی و شنا، پرورش آبزیان، شرب حیوانات اهلی و وحشی، استفاده شهری غیر آشامیدنی نظیر آبنمای شهری، آتش نشانی، مخزن توالی 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 می توان از پساب تصفیه فاضلاب شهری و صنعتی جهت مصارف مختلف شهری و غیر شهری استفاده نمود، که نوع استفاده مجدد بستگی به کمیت و کیفیت

فاضلاب خام، درجه تصفیه مورد نیاز، هزینه تصفیه و نوع مقررات و استاندارد محیط زیستی دارد. آلودگی بیولوژیکی از مهم ترین نگرانی های 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 پارک ها 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 می توانند جایگزین کودهای شیمیایی شوند (استاندارد محیط زیست، ۱۳۸۶). برای استفاده مجدد از پساب سازمان حفاظت محیط زیست 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 فراسنج های اندازه گیری شده پس از تصفیه در جدول 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 محیط زیست می توان نتیجه گرفت که پساب تصفیه شده توسط آلوم از نظر فراسنج های کلیفرم گوارششی و کلیه کلی فرم ها بیش از استاندارد استفاده در کشاورزی و یا تخلیه به چاه جذب و همچنین رهاسازی در آب های سطحی است. فراسنج های اندازه گیری شده در فاضلاب تصفیه شده توسط سایر تیمارها کم تر از حد استاندارد بوده و از این لحاظ مشکلی در استفاده از آن در مصارف سه گانه بالا نیست. البته باید متذکر شد که به دلیل بالا بودن شوری فاضلاب تصفیه شده، نمی توان از آن برای آبیاری بارانی به علت ایجاد سوختگی در برگ ها استفاده نمود.

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
کلی فرم‌های گوآرشی	MPN/100ml	۴۰۰	۴۰۰	۴۰۰
کلیه کلی فرم‌ها	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	اولیفرآ	آلوم	آلوم + اولیفرآ	پلی آلومینیوم کلراید
pH	-	۸/۷	۸/۰۳	۸/۳۶	۸/۴
کلی فرم‌های گوآرشی	MPN/100ml	۱۲۰	۹۰۰	۱۰	۱۵
کلیه کلی فرم‌ها	MPN/100ml	۲۲۰	۱۵۰۰	۲۵۰	۳۰۰
کدورت	NTU	۸	۱	۵	۴/۶
کلسیم	mg/l	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۱۴
منیزیم	mg/l	۰/۰۵۴	۰/۵۸	۰/۵	۰/۵۲

\* نتایج حاصله به ترتیب ناشی از ۱۰۰ میلی گرم در لیتر اولیفرآ، ۲۰ میلی گرم در لیتر آلوم، ترکیب ۱۰۰ میلی گرم اولیفرآ با ۱۰ میلی گرم آلوم، ۱۵ میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید، ترکیب ۱۰۰ میلی گرم اولیفرآ با ۲۰ میلی گرم در لیتر پلی آلومینیوم کلراید.

### بحث و نتیجه گیری

### منابع

- ۱- استفاده از پودر دانه‌های مورینگا اولیفرآ باعث کاهش زمان ته‌نشینی نسبت به آلوم و پک می‌گردد، به طوری که زمان ته‌نشینی از ۳۰ دقیقه به ۱۰ دقیقه کاهش یافت.
- ۲- آگیری از لجن حاصله از تصفیه توسط پودر اولیفرآ نسبت به لجن حاصله از تصفیه توسط آلوم و پلی آلومینیوم کلراید آسان تر می‌باشد.
- ۳- بر خلاف منعقدکننده‌های آلوم و پلی آلومینیوم کلراید استفاده از پودر دانه‌های اولیفرآ باعث افزایش سختی نمی‌گردد. ترکیب اولیفرآ با آلوم و یا پلی آلومینیوم کلراید باعث افزایش راندمان ها گردید.
- ۴- حجم لجن تولیدی حاصله از پودر اولیفرآ بسیار کم تر از حجم لجن حاصله از آلوم و پک می‌باشد.
- ۱- یزدانی، وحید. ارزیابی عملکرد پودر دانه‌های برخی از گونه‌های درخت گز روغنی در مقایسه با آلوم و پلی آلومینیوم کلراید 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 treatment 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.

- 13- Hitendra, B., Folkard, G.K. and Chaudhari, S. 2006. Innovative physico- chemical treatment of wastewater incorporating moringa oleifera 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.
- 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: ۴۸-۵۵.
- 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. Moringa oleifera seeds for softening hardwater. *Water Research*, 29(4): 1099-1104.
- ۱۲- بینا، بیژن و همکاران. مقایسه کارایی عصاره دانه مورینگا اولیفرای و پلی‌آلومینیوم کلراید در حذف کدورت آب. مجله علمی- پژوهشی آب و فاضلاب. ۱۳۸۶. دوره ۱۸ شماره ۱: ۲۴-۳۳.