Water and Wastewater, Vol. 35 , No. 4, pp: 71-87

Removal of Pollutants in the Wastewater Treatment of Industrial Park of Semnan City with the Help of Chemical and Natural Coagulants

Maryam Daraee[1], Shima Khosravi[1], Ehsan Neshan Shahjooei[2], Aghil Ghanbari[1], Kiana Peyvandi[3*]

1. Scientific Assist., Dept. of Chemical Engineering, Faculty of Chemical, Oil and Gas Engineering, Semnan University, Semnan, Iran
2. Scientific Assist., Dept. of Chemical Engineering, Faculty of Chemical, Oil and Gas Engineering, Semnan University, Semnan, Iran and Behin Gostar Afra Company, Semnan, Iran
3. Assoc. Prof., Dept. of Chemical Engineering, Faculty of Chemical, Oil and Gas Engineering, Semnan University, Semnan, Iran (Corresponding Author) k_peyvandy@semnan.ac.ir

https://doi.org/10.22093/wwj.2025.482691.3440 **Original Paper**

Abstract

Due to the expansion of industries and the increase in the volume of industrial wastewater, as well as the reduction of natural water resources and the water shortage crisis in human societies, adopting appropriate methods to remove pollutants and treat wastewater has become necessary. In this way, the high volume of industrial effluents can be optimized by recycling the water used to bring the pollutants to the standard level for various purposes such as washing factory equipment, watering green spaces and trees, etc. Among different methods such as membrane filtration, reverse osmosis, etc., the use of absorbents to remove pollutants can be effective in achieving the goal with optimal efficiency and low cost. Coagulants, both chemical and natural, are used to remove the blockage of the absorbent and reduce the need for their regeneration or replacement. This research aims to compare the performance of several different coagulants from different groups, along with zeolite adsorbent, to treat the central sewage effluent of Semnan Industrial Park. The role of this process in reducing COD, TSS and turbidity is also investigated. The obtained results show the optimal performance of polyammonium chloride with a reduction of 60% for COD, 85% for TSS and 85% for turbidity. Similarly, Moringa, as a natural absorbent, exhibits high removal efficiency, with a reduction of 70% for COD, 75% for TSS, and 80% for turbidity. The use of two chemical and natural methods will be very effective in reducing pollutants to the allowed amount depending on the type of wastewater.

Keywords:
Wastewater Treatment, Pollution Load, Chemical and Natural Coagulants, Polyaluminum Chloride, Moringa.

OPEN ACCESS

Received: Aug. 8, 2024
Revised: Oct. 11, 2024
Accepted: Oct. 26, 2024

To cite this article:
Daraee, M., Khosravi, Sh., Neshan Shahjooei, E., Ghanbari, A., Peyvandi, K., 2024. Removal of pollutants in the wastewater treatment of industrial park of Semnan City with the help of chemical and natural coagulants. *Water and Wastewater*, 35(4), 71-87. https://doi.org/10.22093/wwj.2025.482691.3440.

Use your device to scan and read the article online

© The Author(s).
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

1. Introduction

Due to the expansion of industries, the increasing volume of industrial wastewater, the reduction of natural water resources, and the water scarcity crisis in human societies, it is essential to adopt appropriate methods for pollutant removal and wastewater treatment. Such measures make it be possible to utilize industrial effluents by recycling the water used to bring the pollutants to the standard level for various purposes such as washing factory equipment, watering green spaces and trees, etc. (Abd Wahid et al., 2016). The purpose of this research is to evaluate the performance of various chemical and natural coagulants on reducing the pollution load of effluent from the central treatment plant of Semnan Industrial Park Company.

2. Methodology and experimental section

Wastewater sample was collected every morning from the target factory, and COD[1] and TSS[2] measurements were performed. Then, using a jar test, coagulants were added to maintain the uniformity of laboratory and operational conditions. The performance of chemical coagulants such as cationic polyelectrolyte, potassium aluminum sulfate, alum, and polyaluminum chloride was investigated to reduce COD, TSS, and turbidity at a specific time, temperature, and stirring speed.

Among different methods such as membrane filtration, reverse osmosis, etc., the use of absorbents to remove various pollutants can be effective in achieving the goal with optimal efficiency and low cost (Aboulhassan et al., 2014).

Chemical and natural coagulants are used to remove the blockage of the absorbent. The aim of this research is to compare the performance of several coagulants from different groups, along with zeolite adsorbent, to treat the central sewage effluent of Semnan Industrial Estates Company. To investigate the role of this process in reducing COD, TSS and turbidity. As discussed, in addition to natural and chemical coagulants, the use of adsorbents in the surface adsorption process as a complementary process in removing pollutants and reducing the microbial load of wastewater is very effective. The surface adsorption process is now used as one of the separation techniques in various industries.

The surface adsorption process for water or wastewater treatment has a relatively simple process design and operation, and produces a high-quality treated effluent stream. Moreover, since surface adsorption is reversible in some cases, adsorbents can be reused using appropriate regeneration processes. Therefore, in most cases, the use of the adsorption process is considered an economical method in the industry. An important aspect of the separation process during adsorption is the selection of a suitable adsorbent with an acceptable mesh size. Due to the wide range of these materials, various materials from natural to synthetic have been used as adsorbents in various processes. Including chitosan, silica gel and zeolites, activated carbon, carbon nanostructure materials, etc.. These adsorbents, sometimes alone or with structural modifications, have demonstrated excellent performance for various applications (Dashti et al., 2022).

3. Results and discussion

The obtained results show the optimal performance of polyammonium chloride, with a reduction of 60% for COD, 85% for TSS, and 85% for turbidity. Similarly, Moringa, as a natural absorbent, achieved reductions of 70% for COD, 75% for TSS, and 80% for turbidity, indicating a high capacity for pollutant removal. The use of two chemical and natural methods can be highly effective in reducing pollutants to a permissible level, depending on the type of wastewater. Polyaluminum chloride performs the coagulation process through its two main mechanisms: entrapment in sedimentary flocs and neutralization and stabilization of the electrical charge. It hydrolyzes rapidly in water, producing various cationic compounds that can attract negatively charged compounds, neutralize them, and consequently destabilize these particles.

Using the correct amount of polyaluminum chloride is important; using an incorrect amount in this process can lead to the particles recharging and becoming unstable, and increased sludge formation. Polyaluminum chloride initially stabilizes colloidal particles and creates microflocs by holding them together. At this stage, a flocculant, such as a polyelectrolyte, is added to the water to connect these small flocs together and provide sedimentation conditions. As a result, polyaluminum chloride has shown the best performance in reducing COD and turbidity, while other coagulants had comparatively lesser effects on reducing these parameters.

In summary, to enhance the efficiency of the treatment process and achieve better quality effluent at the outlet of the central treatment plant, it is necessary to use appropriate coagulants to control the quality of the effluent from the central treatment plant. Regarding the central treatment plant of the townships company, adding polyaluminum chloride or Moringa plant coagulants has demonstrated very good results. The optimal site for adding these additives is after the activated sludge process and before entering the secondary sedimentation basins.

Based on existing studies, the use of chemical coagulants is the most effective option for reducing wastewater pollution load, due to their reasonable cost and availability. Also additionally, one of the most important

[1] Chemical Oxygen Demand (COD)

[2] Total Suspended Solids (TSS)

techniques for pollutant removal is the use of adsorbents, which, depending on their porosity and type, can effectively remove waste materials. An important consideration in the use of adsorbents is the pollution load of the fluid entering it high pollution levels can lead to premature clogging and ineffectiveness of the adsorbent over time.

Therefore, efforts are focused on reducing the wastewater pollution percentage through the use of additives as coagulants and coagulant aids. Subsequently, proper removal in a reasonable time with optimal efficiency through the adsorption process as a complementary method can be achieved. An economic comparison between adsorbents, chemical coagulants, and natural coagulants for pollutant removal shows that each has its own advantages and disadvantages. Adsorbents which offer high efficiency and reusability, are suitable for removing a wide range of pollutants however, their high cost and difficulty in recovery are among their disadvantages. Chemical coagulants, with their low cost and easy access, have high operational speed in pollutant removal, but their high sludge production and environmental impacts are considered among their disadvantages. In contrast, natural coagulants, with environmental compatibility and low cost, have lower efficiency compared to the other two groups and may require larger amounts to achieve the desired result. Ultimately, the choice of the most appropriate method for pollutant removal depends on various factors, including the type and concentration of pollutants, cost, environmental considerations, and legal requirements. In some cases, a combination of methods can be the most effective solution.

4. Conclusions

The performance of polyaluminum chloride achieved a reduction of 60% for COD, 85% for TSS, and 85% for turbidity Similarly, Moringa, as a natural absorbent, achieved a reduction of 70% for COD, 75% for TSS, and 80% for turbidity, a high capacity for pollutant removal.

آب و فاضلاب، دوره ۳۵، شماره ۴، صفحه: ۸۷-۷۱

حذف آلاینده‌های موجود در پساب تصفیه‌خانه شرکت شهرک‌های شهرستان سمنان به کمک مواد منعقدکننده شیمیایی و طبیعی

مریم دارایی[۱]، شیما خسروی[۱]، احسان نشان شاهجویی[۲]، عقیل قنبری[۱]، کیانا پیوندی[۳*]

۱- همیار علمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران
۲- همیار علمی، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه سمنان و شرکت بهین گستر افرا، سمنان، ایران
۳- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شیمی، نفت و گاز، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران (نویسنده مسئول) k_peyvandy@semnan.ac.ir

مقاله پژوهشی

https://doi.org/10.22093/wwj.2025.482691.3340

چکیده

با توجه به گسترش صنایع و افزایش حجم پساب صنعتی و مخاطرات محیطزیستی ناشی از ورود پساب حاوی آلاینده‌های خطرناک با منابع آب زیرزمینی، لزوم توجه به پاکسازی و حذف بخشی از ناخالصی‌های موجود در پساب‌های صنعتی با روش‌های مناسب امری ضروری به نظر می‌رسد. به‌این‌ترتیب می‌توان با رساندن آلاینده‌ها به حد استاندارد برای مصارف مختلفی ازجمله شستشوی تجهیزات کارخانه، آبیاری فضای سبز و درختان از حجم بالای پساب‌های صنعتی استفاده بهینه کرد. در بین روش‌های مختلف همچون غشای فیلتراسیون و اسمز معکوس که عموماً پرهزینه هستند، بهره‌گیری از جاذب‌ها برای حذف آلاینده‌های مختلف می‌تواند در دستیابی به این هدف با کارایی مطلوب و هزینه کم مؤثر باشد. همچنین برای رفع مسدود شدن سریع جاذب و نیاز به احیا یا تعویض آن می‌توان از منعقدشده‌ها یا کمک‌منعقدکننده‌های شیمیایی و طبیعی استفاده کرد. هدف این پژوهش، تمرکز بر تصفیه پساب صنعتی تصفیه‌خانه مرکزی شرکت شهرک‌های استان سمنان بود که در آن عملکرد چندین منعقدکننده مختلف از گروه‌های متفاوت در کنار جاذب زئولیتی بررسی شد تا نقش این مواد بر کاهش COD، TSS و کدورت مشخص شود. پایین آوردن شاخص‌های مذکور نشان‌دهنده رفع مخاطرات مهمی از پساب دفع شده در محیط‌زیست است. نتایج به‌دست‌آمده عملکرد مطلوب پلی آمونیوم کلراید با درصد کاهش ۶۰ درصد برای COD، ۸۵ درصد برای TSS و ۸۵ درصد برای کدورت را نشان می‌دهد. همچنین مورینگا به‌عنوان یک جاذب طبیعی با کاهش ۷۰ درصد برای COD، ۷۵ درصد برای TSS و ۸۰ درصد برای کدورت نشان می‌دهد که این ماده ظرفیت بالایی برای حذف ناخالصی‌ها و رفع مشکلات ناشی از عدم تصفیه پساب دارد. با توجه به دیدگاه اقتصادی استفاده از روش‌های شیمیایی و طبیعی و جاذب‌ها می‌تواند با توجه به نوع آلاینده امکان‌پذیر باشد. به‌کارگیری دو روش شیمیایی و طبیعی با توجه به نوع پساب در کاهش آلاینده‌ها به مقدار مجاز بسیار مؤثر خواهد بود.

واژه‌های کلیدی:
تصفیه پساب، بار آلودگی، مواد منعقدکننده شیمیایی و طبیعی، پلی آلومینیوم کلراید، مورینگا

دریافت: ۱۴۰۳/۵/۱۸
اصلاح: ۱۴۰۳/۷/۲۰
پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۵

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

دارایی، م.، خسروی، ش.، نشان شاهجویی، ا.، قنبری، ع.، پیوندی، ک.، ۱۴۰۳، حذف آلاینده‌های موجود در پساب تصفیه‌خانه شرکت شهرک‌های شهرستان سمنان به کمک مواد منعقدکننده شیمیایی و طبیعی.
آب و فاضلاب، ۳۵(۴)، ۷۱-۸۷.
https://doi.org/10.22093/wwj.2025.482691.3440

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید

© The Author(s).
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.482691.3440

۱- مقدمه

با توجه به گسترش صنایع و به دنبال آن حجم بالای پساب‌های صنعتی ضرورت تصفیه پساب کارخانجات و استفاده مجدد از آن برای آبیاری فضای سبز یا برخی کاربردهای صنعت ضروری به نظر می‌رسد. خطرات بالقوه زیست‌محیطی و بهداشتی انسان نیاز به استفاده از منعقدکننده‌های طبیعی و شیمیایی و همچنین جاذب‌ها برای تصفیه فاضلاب صنعتی را ضروری کرده است. سیستم‌های تصفیه فاضلاب شامل یک سری از فرایندهایی است که در ابتدا مواد جامد از فاضلاب حذف می‌شوند. سپس، به دنبال آن فرایندهای تجزیه مواد مغذی محلول و مواد آلی است و در صورت لزوم، می‌تواند مرحله ضدعفونی و گندزدایی برای از بین بردن باکتری‌های بیماری‌زا که ممکن است در آن وجود داشته باشد انجام شود؛ بنابراین ارائه راهکار مناسب برای بهبود پساب خروجی به محدوده مجاز و استاندارد اهمیت ویژه‌ای دارد. یکی از این روش‌ها استفاده از مواد منعقدکننده شیمیایی و طبیعی مناسب است (Aboulhassan et al., 2014).

در فرایند انعقاد، بار ذرات کلوئیدی با کمک منعقدکننده‌ها (به‌طورمعمول نمک‌های آلومینیوم یا آهن) بی‌ثبات می‌شود که منجر به تشکیل لخته در اثر برخورد ذرات بی‌ثبات و تجمع آنها می‌شود که در نهایت از فاز مایع جدا می‌شود (Aravind et al., 2016). برخی از منعقدکننده‌های شیمیایی استفاده شده برای تصفیه فاضلاب خانگی شامل آلوم، کلرید فریک، پلی آلومینیوم کلراید[1] و سولفات آلومینیوم هستند. گائوتام و همکاران در سال ۲۰۲۰ عملکرد نمک‌های فریک برای تصفیه فاضلاب را بررسی کردند و کاربرد این مواد برای تصفیه فاضلاب گزارش شد. کلرید آهن(III) که به آن کلرید فریک نیز گفته می‌شود، می‌تواند به‌عنوان یک ماده منعقدکننده برای تصفیه فاضلاب استفاده شود. علاوه بر آن می‌توان از کلرید فریک برای تصفیه فاضلاب صنایع آرایشی و بهداشتی با هدف کاهش مقدار اکسیژن‌خواهی شیمیایی[2] استفاده کرد. با استفاده از کلرید فریک، تقریباً تا ۶۳/۹ درصد کاهش COD در pH برابر با ۶ حاصل می‌شود. از پلی آلومینیوم فریک کلراید نیز می‌توان به‌عنوان ماده منعقدکننده استفاده کرد. در شرایط مطلوب، ۹۶ درصد رنگ و ۸۶ درصد COD می‌تواند از فاضلاب خارج شود. از کلرید فریک می‌توان برای حذف ۹۳ درصد ارتو فسفات (از خانواده فسفات‌های محلول در آب) حاصل از پرورش آبزیان استفاده کرد. سولفات آهن(II) که سولفات آهن نیز نامیده می‌شود، می‌تواند به‌عنوان عامل انعقادی برای تصفیه فاضلاب عمل کند (Gautam and Saini, 2020).

در پژوهش احمد و همکاران در سال ۲۰۱۶ مقایسه‌ای با استفاده از منعقدکننده‌ها، آهک، آلوم، کلرید فریک ($FeCl_3$)، سولفات آهن ($FeSO_4$) و کلرید منیزیم ($MgCl_3$) برای تصفیه فاضلاب صنعت نساجی، انجام و نتیجه‌گیری شد که سولفات آهن مؤثرترین ماده‌ای است که در بین مواد مذکور می‌تواند رنگ را در دوز انعقادی پایین حذف کند و دارای حداقل حجم لجن ته‌نشین شده و حداکثر رنگ‌زدایی از فاضلاب است (Ahmed et al., 2016).

در پژوهش دیگری ابوصبحا و همکاران از سولفات آلومینیوم و کلرید فریک به‌عنوان منعقدکننده استفاده کردند. برای سولفات آلومینیوم و کلرید فریک بازه pH بهینه بین ۴ تا ۵ است که کل مواد جامد معلق در آب[3] را به ترتیب حدود ۹۳ و ۸۰ درصد کاهش می‌دهد. با استفاده از سولفات آلومینیوم و کلرید فریک، COD به ترتیب با نرخ‌های ۶۸ و ۵۸ درصد حذف شد و دوز بهینه منعقدکننده ۰/۵ گرم در لیتر تعیین شد. مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در فرایند حذف، میزان pH بود (Abusabha et al., 2024).

امروزه از پلی آلومینیوم کلراید به‌عنوان منعقدکننده برای تصفیه فاضلاب به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. لازم به ذکر است که منعقدکننده‌های شیمیایی، در کاهش TDS[4]، فنل فتالئین، COD و کروم مؤثر هستند. برخی از نمک‌های هیدرولیزکننده که می‌توانند به‌عنوان منعقدکننده برای کمک به روند انعقاد و لخته شدن استفاده شوند، پلی آلومینیوم کلراید، پلی‌فریک سولفات و پلی آلومینیوم فری کلراید هستند. آنها حتی در دوز کم، کارایی حذف رنگ بالایی دارند (Akyol, 2012) و برای تصفیه فاضلاب در محدوده وسیعی از pH مؤثر هستند. برای حذف فسفر از پلی فریک استات استفاده می‌شود. پژوهش‌ها ثابت می‌کند که این ماده یک گزینه مناسب برای حذف فسفر از فاضلاب است. نکته جالب‌توجه در مورد این مواد این است که کارایی منعقدکننده‌های شیمیایی تحت تأثیر تغییرات

[1] Poly Aluminum Chloride (PAC)
[2] Chemical Oxygen Demand (COD)
[3] Total Suspended Solids (TSS)
[4] Total Dissolved Solids (TDS)

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.482691.3440

pH قرار نمی‌گیرد و در واقع در محدوده وسیعی از pH مؤثر هستند و شرایط بهینه در غلظت‌های بسیار کم به دست می‌آید. دسترسی آسان به مواد شیمیایی، سهولت ذخیره‌سازی، عدم از دست دادن کارایی با ذخیره طولانی‌مدت، قابلیت اطمینان سیستم و کارایی بهتر نسبت به بقیه روش‌ها از مزایای اصلی منعقدکننده‌های شیمیایی است. کارایی ماده منعقدکننده شیمیایی تحت تأثیر چندین عامل مختلف مثل افزودن لخته‌سازها و میزان کم آلومینیوم باقیمانده در لخته‌سازها قرار می‌گیرد. به‌این ترتیب می‌توان گفت بازده مواد منعقدکننده شیمیایی با افزودن لخته‌سازها می‌تواند بیشتر بهبود یابد. لخته‌سازها موادی هستند که ذرات تثبیت‌شده را به هم پیوند می‌دهند و باعث ته‌نشینی ناخالصی‌های کلوئیدی به شکل مایع می‌شوند.

احمد و همکاران در سال ۲۰۰۸ از پلی‌آکریل آمیدهای آنیونی و کاتیونی برای تصفیه فاضلاب کارخانه کاغذ و آسیاب استفاده کردند. علاوه بر منعقدکننده‌های شیمیایی، استفاده از مواد طبیعی برای کمک به فرایند لخته‌سازی مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس پژوهش‌ها، عملکرد منعقدکننده‌های طبیعی در تصفیه فاضلاب‌های خروجی صنایع مختلف نشان‌دهنده کارایی تصفیه‌ای معادل با منعقدکننده‌های شیمیایی است. بیان این نکته ضروری است که از فرایند انعقاد با استفاده از منعقدکننده‌های طبیعی به‌طور مؤثری برای تصفیه آب آشامیدنی استفاده شده است (Ahmad et al., 2008).

همچنین از مواد گیاهی مختلف برای تصفیه پساب‌های صنعتی استفاده می‌شود (Ashmawy et al., 2012). مواد گیاهی مانند: مورینگا اولیفیرا[1]، کیتوزان و کیتین[2]، گیاه اکرا[3]، انجیر تیغی هندی[4]، گیاه پاتاتوروم[5]، صمغ بذر گل[6] و گل ختمی چینی[7] می‌توانند به‌عنوان منعقدکننده استفاده شوند. به‌طورکلی، از منعقدکننده‌های طبیعی مستقیماً به‌عنوان پودر یا محلول مایع استفاده می‌شود. فرآورده‌های گیاهی (مانند دانه‌ها) ابتدا از گیاه استخراج شده و سپس پاک می‌شوند تا آلودگی‌هایی که ممکن است با فرایند انعقاد تداخل داشته باشند از بین رفته و بعد خشک می‌شوند. پودر (با توجه به نیاز استخراج روغن یا بدون آن) با خرد کردن ایجاد می‌شود. این پودر ممکن است مستقیماً استفاده شود و یا می‌توان از آن محلول مادر تهیه کرد. از منعقدکننده‌های طبیعی همچنین می‌توان در کنار منعقدکننده‌های مصنوعی برای افزایش کارایی فرایند انعقاد برای تصفیه فاضلاب کمک گرفت (Abd Wahid et al., 2016).

آنتنه و سهو در سال ۲۰۱۴ از دانه‌های مورینگا الیفرا و گیاه پاتاتوروم به‌عنوان یک ماده منعقدکننده طبیعی برای فاضلاب حاصل از شستشوی ماشین استفاده کردند. در این پژوهش کدورت و کارایی این مواد در کاهش COD بررسی شد. با استفاده از مورینگا الیفرا، ۹۴ درصد کدورت، ۶۰ درصد COD و ۸۱ درصد حذف فسفر به‌دست آمد، درحالی‌که با استفاده از گیاه پاتاتوروم، ۹۷ درصد کدورت، ۵۴ درصد COD و ۸۲ درصد حذف فسفر به‌دست آمد. این نتایج با منعقدکننده‌های مصنوعی مقایسه شد و منعقدکننده‌های طبیعی برای فرایند انعقاد پیشنهاد شد که نقش مؤثرتری در حذف داشتند، مقرون‌به‌صرفه بوده و برای محیط‌زیست مخاطره‌ای ندارند. آنها در این پژوهش امکان انعقاد طبیعی برای تصفیه فاضلاب لبنیات را بررسی کردند. نوعی میوه[8] و لوبیای معمولی[9] برای حذف کدورت از فاضلاب استفاده شد. بذرهای میوه نان صحرایی[10] به ۹۴ درصد کارایی حذف کدورت رسیدند و بذرهای لوبیای معمولی تا ۹۹ درصد حذف کدورت را به‌دست آوردند (Anteneh and Sahu, 2014).

آراویند و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز از هسته انگور برای حذف رنگ‌های کاتیونی استفاده و تأیید کردند که مواد منعقدکننده مشتق از هسته انگور باعث رنگ‌زدایی رنگ کاتیونی می‌شود. این پژوهش منعقدکننده را به‌عنوان یک گزینه بسیار امیدوارکننده برای حذف رنگ‌ها، گونه‌های فلزی، فلزات سنگین، کدورت و COD نشان داد (Aravind et al., 2016).

در پژوهشی دیگر آشماوی و همکاران در سال ۲۰۱۲ نیز از آب مغز (ساقه) موز برای تصفیه فاضلاب نساجی استفاده کردند.

[1] Moringa Oleifera
[2] Chitosan and Chitin
[3] Abelmoschus Esculentus
[4] Opuntia Ficus-Indica
[5] Synchorous Potatorum
[6] Prosopis Laevigata Seed Gum
[7] Prosopis Laevigata Seed Gum
[8] Artocarpus Heterophylius
[9] Phaseolus Vulgaris
[10] Artocarpus Heterophylius

dx.doi.org/10.22093/wwj.2025.482691.3440

در pH معادل ۴، ۹۷/۵ درصد کدورت و ۵۰/۱ درصد کل مواد جامد از فاضلاب حذف شدند. نتایج تأیید کرد که آب ساقه موز پتانسیل زیادی برای حذف کدورت از فاضلاب نساجی دارد (Ashmawy et al., 2012).

توماسی و همکاران در سال ۲۰۲۲ استفاده از تانن به‌عنوان یک منعقدکننده طبیعی را بررسی کردند. تانن با خواص شیمیایی و زیست‌تجزیه‌پذیری بالا، توانسته جایگزینی مناسب برای منعقدکننده‌های شیمیایی رایج باشد. این ماده قادر است کدورت، رنگ، مواد معلق، ترکیبات آلی محلول مانند COD و BOD[1]، مواد معدنی محلول (مانند فسفات کل و فلزات سنگین) و میکروارگانیسم‌ها را با موفقیت حذف کند. نتایج نشان می‌دهند که منعقدکننده‌های مبتنی بر تانن می‌توانند با کاهش نیاز به تنظیم pH و تولید لجن کمتر، هزینه‌های عملیاتی تصفیه آب را کاهش دهند. علاوه بر این، این مواد با سایر فناوری‌های تصفیه سازگار بوده و می‌توانند به‌عنوان کمک‌منعقدکننده برای کاهش مصرف مواد شیمیایی استفاده شوند. همچنین، استفاده از تانن از طریق فراوری ضایعات کشاورزی و محصولات جانبی، روشی پایدار و دوستدار محیط‌زیست ارائه می‌دهد. این پژوهش پتانسیل بالای تانن را در بهبود فرایندهای تصفیه آب و پساب نشان داده و آن را به‌عنوان گزینه‌ای مؤثر و زیست‌محیطی معرفی کرده است (Tomasi et al., 2022).

ورسانی و همکاران در سال ۲۰۲۴ به بررسی پتانسیل مواد لیگنوسلولزی، به‌ویژه باگاس نیشکر و الیاف نارگیل، به‌عنوان منعقدکننده و لخته‌ساز برای تصفیه فاضلاب در ترکیب با آلوم پرداختند. هدف اصلی، ارزیابی کارایی ترکیبات آلوم-باگاس نیشکر و آلوم-الیاف نارگیل در بهبود پارامترهای کیفیت آب، شامل کدورت، هدایت الکتریکی[2]، pH، کدورت، BOD و COD، با استفاده از روش‌های اصلاح‌شده (تصفیه اولیه و ثانویه) بود. نتایج پارامترهای کیفیت آب نشان داد که کاهش قابل‌توجهی در کدورت، COD و BOD برای فاضلاب‌های تصفیه‌شده با آلوم-باگاس نیشکر و آلوم-الیاف نارگیل حاصل شده است. در مقایسه با سایر منعقدشده‌ها، فاضلاب تصفیه‌شده با آلوم- باگاس نیشکر کارایی بالا و فعالیت منعقدکنندگی عالی (۹۰درصد) نشان داد (Varsani et al., 2024).

در جدول ۱ خلاصه‌ای از انواع منعقدکننده‌های شیمیایی و طبیعی و اثربخشی آنها در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی ارائه شده است که می‌تواند برای مقایسه عملکرد بررسی شود.

در کنار استفاده از مواد منعقدکننده طبیعی و شیمیایی، استفاده از جاذب‌ها در فرایند جذب سطحی به‌عنوان یک فرایند تکمیلی در حذف آلاینده‌ها و کاهش بار میکروبی پساب بسیار مؤثر است. فرایند جذب سطحی امروزه به‌عنوان یکی از فن‌های جداسازی در صنایع مختلف استفاده می‌شود. فرایند جذب سطحی به‌منظور تصفیه آب یا پساب، دارای طراحی و عملیات فرایندی نسبتاً ساده‌ای بوده و یک جریان خروجی تصفیه شده باکیفیت بالا تولید می‌کند. به‌علاوه، ازآنجایی‌که جذب سطحی در برخی موارد برگشت‌پذیر است، جاذب‌ها را می‌توان با استفاده از فرایندهای احیای مناسب، مجدد استفاده کرد. به همین دلیل در بیشتر موارد استفاده از فرایند جذب، روشی اقتصادی در صنعت به شمار می‌آید. مهم‌ترین بخش فرایند جداسازی طی فرایند جذب، انتخاب جاذب مناسب با مش قابل‌قبول است. به دلیل گستردگی این مواد تاکنون مواد گوناگونی از طبیعی تا سنتز شده در فرایندهای گوناگون به‌عنوان جاذب استفاده شده است. از جمله جاذب‌هایی که در چند سال اخیر مورد توجه بسیاری از پژوهشگران واقع شده است، استفاده از جاذب‌های متخلخل در فرایند جذب است که از جمله این جاذب‌های می‌توان به کیتوسان، سیلیکاژل و زئولیت‌ها، کربن فعال و ساختارهای کربنی نانو مواد اشاره کرد. این جاذب‌ها گاهی به‌تنهایی و یا با اصلاح ساختار انجام شده بر روی آنها می‌توانند عملکردهای بسیار مناسبی را برای کاربردهای مختلف از خود نشان دهند.

دشتی و همکاران در سال ۲۰۲۲ نشان دادند که مقدار بهینه کربن فعال برابر با ۱۵ گرم، pH برابر با ۴ و زمان تماس ۴ ساعت باعث کاهش ۸۸ درصد COD و ۹۱ درصد رنگ می‌شود (Dashti et al., 2022).

در پژوهش حاضر عملکرد ماده منعقدکننده طبیعی مورینگا و منعقدکننده‌های شیمیایی به همراه فرایند جذب به کمک جاذب مناسب برای تصفیه پساب و تولید آب برای بخش کشاورزی بررسی شد.

[1] Biochemical Oxygen Demand (BOD)
[2] Electrical Conductivity (EC)

جدول ۱- خلاصه‌ای از انواع منعقدکننده‌های شیمیایی و طبیعی و اثربخشی آنها در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی

Table 1. Types of chemical and natural coagulants and their effectiveness in industrial wastewater treatment

Chemical coagulants						
Coagulant	**Industry**	**Coagulant state**	**Optimal value**	**Parameters checked**	**Removal efficiency**	**Ref.**
PAC and Shendi	Wastewater	Powder	30 mg/L and 400 mg/L	Turbidity COD	71% 63%	(Aboulhassan et al., 2014)
Ferric chloride	Sewage wastewater	Solution	400 ppm	Turbidity	98%	(Gautam et al., 2020)
Alum and cationic polymer (C-492)	Tannery wastewater	Dry	100 and 5 mg/L	Turbidity TSS total COD chromium	97% 97% 36.20% 98.40%	(Ahmed et al., 2016)
Natural coagulants						
Coagulant	**Wastewater source**	**Coagulant state**	**State matter**	**Optimal (%)**	**Parameters**	**Removal efficiency**	**Ref.**
Moringa (425 µm)	Dairy wastewater	Deoiled	Direct powder	300 mg/L	Turbidity	90%	(Bangar et al., 2017)
Moringa (212 µm)	Dairy wastewater	Deoiled	Direct powder	500 mg/L	Turbidity	93.50%	(Bangar et al., 2017)
Moringa oleifera+NALCO 7751	Palm oil mill effluent	Deoiled powder	-	4000+7000 mg/L	Suspended solids COD	99.30% 52.50%	(Bhatia et al., 2007)
Moringa and Alum	Textile industry effluent	Powder	Stock solution	50:50:00	Turbidity BOD COD	61.60% 80.67% 66.73%	(Bhatia et al., 2007)

۲- روش انجام آزمایش

هدف این پژوهش بررسی عملکرد منعقدکننده‌های مختلف شیمیایی و طبیعی بر کاهش بار آلودگی پساب تصفیه‌خانه مرکزی شرکت شهرک‌های سمنان بود. برای این هدف، هر روز صبح یک نمونه پساب از کارخانه موردنظر تحویل گرفته و COD و TSS اندازه‌گیری شد. سپس با استفاده از جارتست در حضور مواد منعقدکننده به درون جارتست اضافه شد تا یکنواختی شرایط آزمایشگاهی و عملیاتی رعایت شده باشد. به‌این‌ترتیب عملکرد مواد منعقدکننده شیمیایی مانند پلی‌الکترولیت کاتیونی، آلومینیوم پتاسیم سولفات، زاج، پلی آلومینیوم کلراید و به‌منظور کاهش COD، TSS و کدورت در زمان و دما و دور همزن مشخص بررسی شد. لازم به ذکر است معمولاً برای ارزیابی انعقادسازی محلول‌هایی که غلظت مواد جامد معلق آنها کمتر از ۵۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر باشد از جارتست استفاده می‌شود. در این دستگاه چندین ظرف همزن‌دار کاملاً یکسان است که با یک موتور می‌چرخند. هر همزن در داخل یکی از بشرهای دارای حجم‌های مساوی از نمونه پساب موردنظر قرار می‌گیرد. امکان تغییر سرعت همزن‌ها برای دستیابی به شرایط بهینه وجود دارد، ولی همه همزن‌ها در هر لحظه سرعت یکسانی دارند. به این منظور ابتدا ماده منعقدکننده مناسب را به هر ظرف اضافه کرده و سپس با افزودن پساب مناسب (۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلی‌لیتر) به آنها برای مدت‌زمان مشخص (بین ۳۰ تا ۶۰ دقیقه) و دور مشخص (۸۰ تا ۱۲۰ دور بر دقیقه) به هم زده شد. پس از گذشت مدت‌زمان تعیین شده میکسر را خاموش کرده، نمونه‌ها برای مدت ۳۰ دقیقه ثابت نگه داشته شده تا ته‌نشین شوند. سپس کدورت، COD و TSS اندازه‌گیری شد. شکل ۱ تصویری از تصفیه‌خانه صنعتی استفاده شده برای آزمودن‌های منعقدکننده نشان داده شده است.

۳- نتایج و بحث

در این بخش عملکرد مواد منعقدکننده بر روی پساب ورودی به تصفیه‌خانه مرکزی شرکت شهرک‌ها و خروجی از بخش لجن فعال بررسی شد. برای این منظور از پساب ورودی شرکت شهرک‌ها و خروجی از تصفیه در زمان‌های مشخص نمونه‌گیری شد و به کمک دستگاه جارتست در زمان و دور مشخص عملکرد مواد منعقدکننده مختلف به‌منظور کاهش COD، TSS و کدورت بررسی شد. نتایج آنالیزها در شکل‌های ۲ تا ۴ نشان داده شده است. این شکل‌ها نشان

Fig. 1. A picture of an industrial treatment plant

شکل ۱- تصویری از تصفیه‌خانه صنعتی

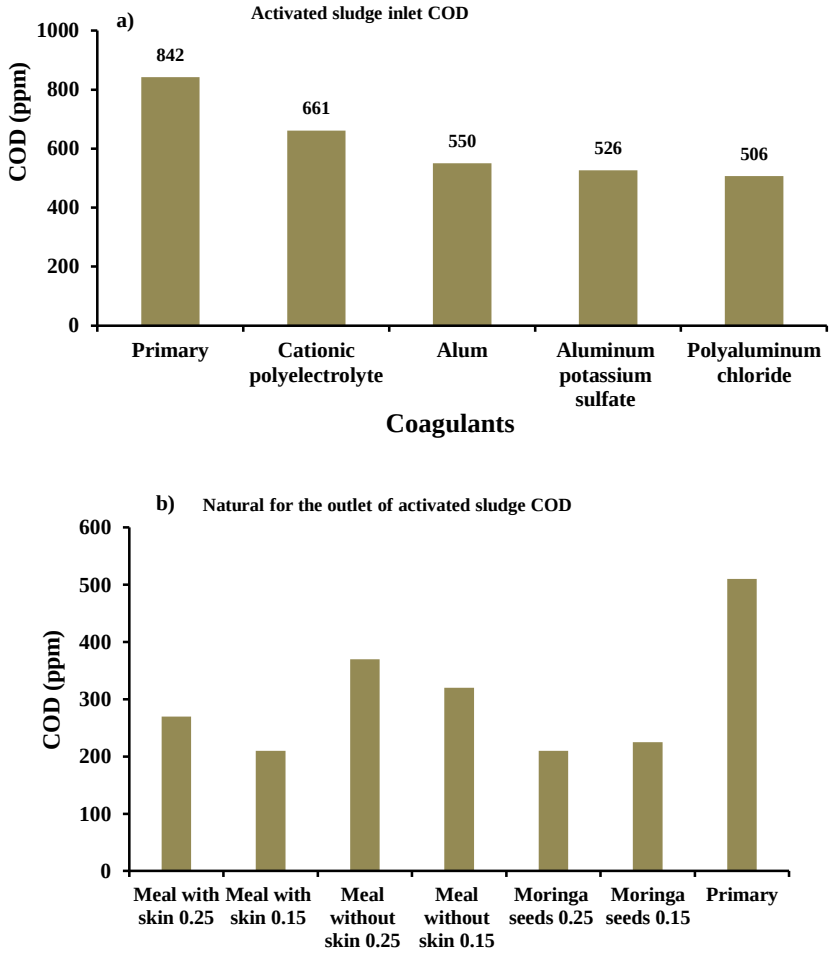

Fig. 2. COD reduction graph with the help of coagulants a) chemical for the inlet of the treatment plant and b) natural for the outlet of activated sludge

شکل ۲- نمودار میزان کاهش COD به کمک مواد منعقدکننده a) شیمیایی برای ورودی تصفیه‌خانه و b) طبیعی برای خروجی لجن فعال

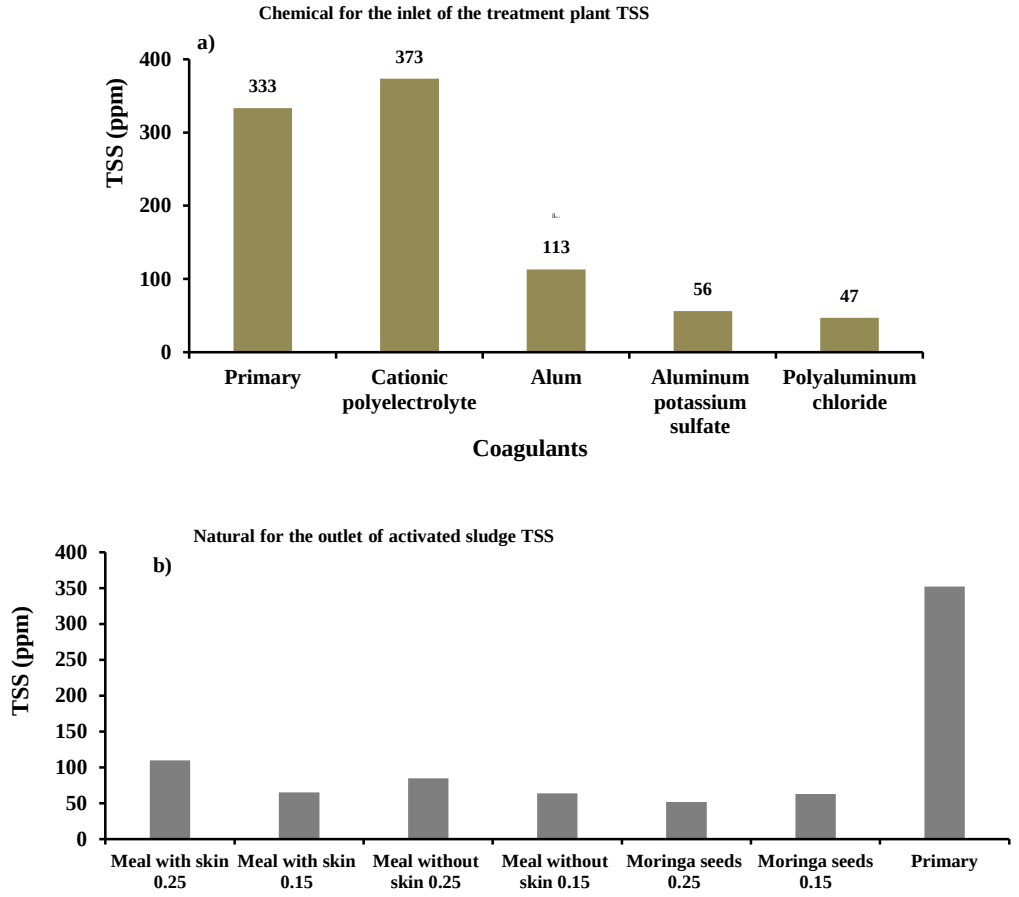

Fig. 3. TSS reduction graph with the help of coagulants a) chemical for the inlet of the treatment plant and b) natural for the outlet of activated sludge

شکل ۳- نمودار میزان کاهش TSS به کمک مواد منعقدکننده a) شیمیایی برای ورودی تصفیه‌خانه و b) طبیعی برای خروجی لجن فعال

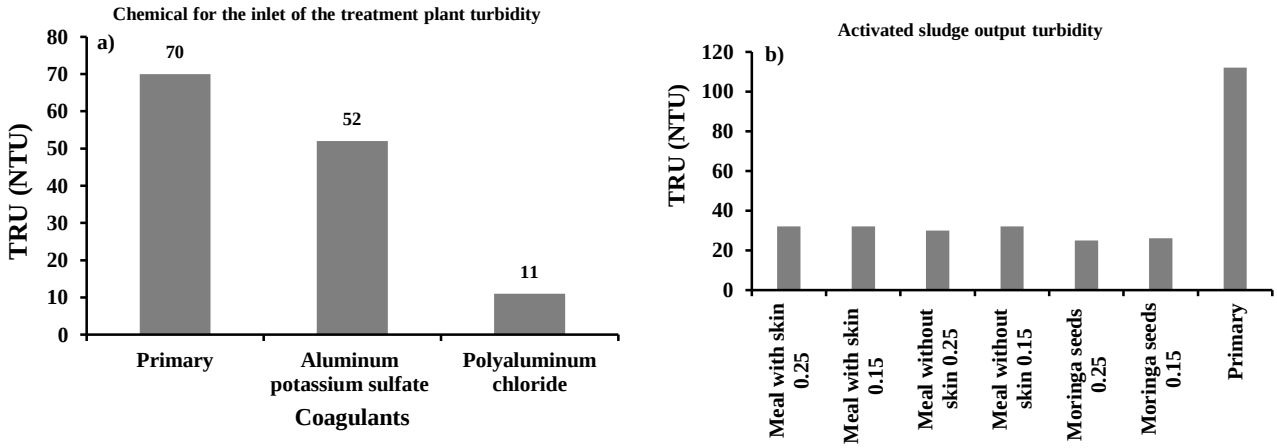

Fig. 4. The graph of the reduction of turbidity with the help of coagulants a) chemical for the inlet of the treatment plant and b) natural for the outlet of activated sludge

شکل ۴- نمودار میزان کاهش کدورت به کمک مواد منعقد کننده a) شیمیایی برای ورودی تصفیه‌خانه و b) طبیعی برای خروجی لجن فعال

می‌دهند که پلی‌آلومینیوم کلراید و مورینگا بهترین نتیجه را در کاهش COD، TSS و کدورت برای ورودی تصفیه‌خانه و خروجی از لجن فعال داشته است.

نتایج حاصل از آنالیزها برای گیاه مورینگا نشان می‌دهد که این گیاه عملکرد بسیار خوبی را برای کاهش بار آلودگی موجود در آب حتی نسبت به پلی آلومینیوم کلراید و پلی الکترولیت کاتیونی از خود نشان می‌دهد. پیش‌بینی می‌شود که مکانیسم غالب برای حذف کدورت و کاهش COD و سایر آلاینده‌ها به کمک گیاه مورینگا، جذب سطحی و خنثی‌سازی بار و پل‌زنی بین ذره‌ای است، درحالی‌که برای پلی‌آلومینیوم کلراید فقط پل‌زنی بین ذره‌ای (از طریق ایجاد کمپلکس‌های بین هسته‌ای) عامل اصلی حذف آلاینده‌ها است. اگرچه هر دو ماده منعقدکننده مورینگا و پلی‌آلومینیوم کلراید به‌شدت به پارامترهایی مانند pH، دما و غلظت آلاینده‌ها وابسته هستند، اما بر اساس نتایج در شرایط یکسان استفاده از گیاه مورینگا به‌صورت بذر و دانه نتایج قابل‌توجه‌تری را نسبت به پلی آلومینیوم کلراید از خود نشان داده است. بیان این نکته ضروری است که عوامل فیزیکی و شیمیایی مانند شرایط مخلوط شدن، pH، قلیاییت، کدورت و درجه حرارت آب بر کارایی منعقدکننده بسیار تأثیرگذار است. به همین منظور برای اطمینان از نتایج به‌دست‌آمده و عملکرد بهترین منعقدکننده، در چندین مرتبه از پساب خروجی از لجن فعال نمونه‌برداری انجام شد و نمونه واقعی در همه آزمایش‌های انجام شده نتایج مطلوبی را هنگام استفاده از پلی آلومینیوم کلراید و گیاه مورینگا به‌عنوان ماده منعقدکننده، نشان داد. همچنین برای اطمینان از عملکرد مطلوب PAC بر حذف آلاینده‌ها و کاهش COD این آزمایش پساب چندین کارخانه نیز بررسی شد که در نتایج آن در شکل‌های ۵ تا ۷ نشان داده شده است.

نتایج حاصل از آزمایش‌ها استفاده از مواد منعقدکننده مختلف بر اساس شکل‌های ۵ تا ۷ نشان‌دهنده این بود که پلی آلومینیوم کلراید دارای بهترین کارایی برای همه شرکت‌ها و به‌خصوص خروجی از لجن فعال شرکت شهرک‌ها برای حذف آلاینده‌ها بوده است. در کدورت ماده پلی آلومینیوم کلراید با غلظت ۳۰۰ میلی‌گرم در لیتر تقریباً کاهش ۸۵ درصدی در کدورت از خود نشان داده است، زیرا فعالیت قوی‌تر پلی آلومینیوم کلراید باعث تسهیل فلوکولاسیون آب خام و به‌خصوص در درجه حرارت‌های پایین مانند کمتر از ۵ درجه شده و باعث خاصیت فوق‌العاده کدورت‌زدایی در آب می‌شود.

در حقیقت پلی آلومینیوم کلراید با دو مکانیسم اصلی خود شامل گرفتار شدن در لخته‌های رسوبی و خنثی و پایدار کردن بار الکتریکی، فرایند انعقاد را انجام می‌دهد. همچنین به‌سرعت در آب هیدرولیز می‌شود و ترکیبات کاتیونی متفاوتی را از خود تولید کرده که می‌تواند باعث جذب ترکیبات با بار منفی شود و آنها را

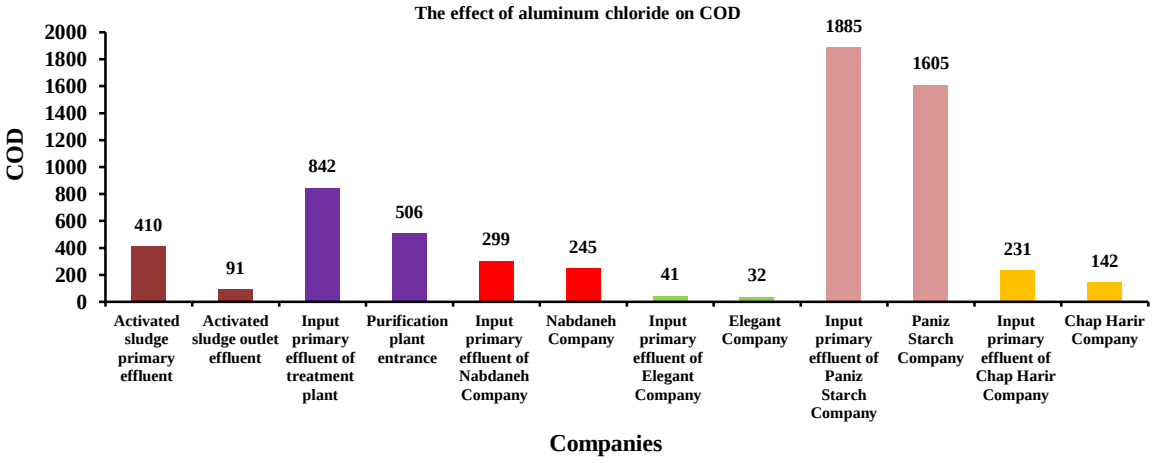

Fig. 5. COD reduction diagram with the help of polyaluminum chloride coagulant on the effluent of different companies

شکل ۵- نمودار کاهش COD به کمک ماده منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید بر روی پساب شرکت‌های مختلف

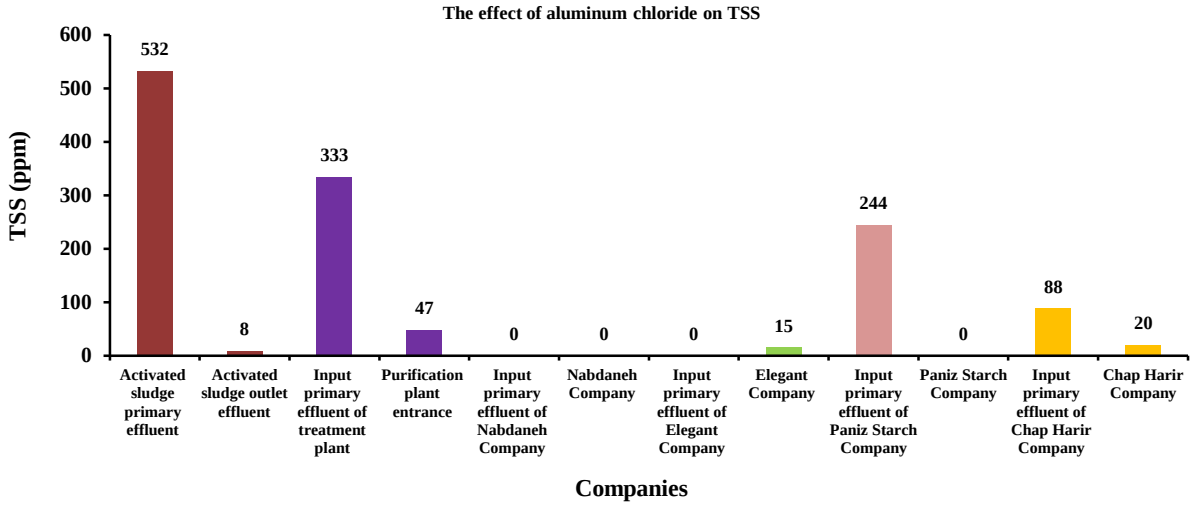

Fig. 6. Diagram of TSS reduction using polyaluminum chloride coagulant on several different effluents

شکل ۶- نمودار کاهش TSS به کمک ماده منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید بر روی چندین پساب مختلف

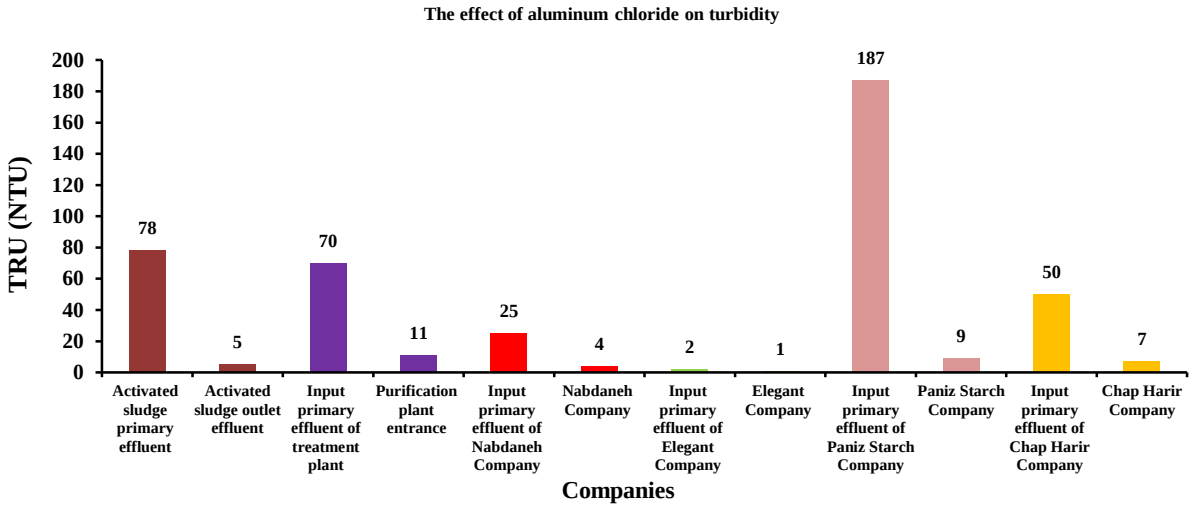

Fig. 7. Graph of turbidity reduction using polyaluminum chloride coagulant on several different effluents

شکل ۷- نمودار کاهش کدورت به کمک ماده منعقدکننده پلی آلومینیوم کلراید بر روی چندین پساب مختلف

خنثی و در نتیجه باعث از بین رفتن پایداری این ذرات شود. استفاده از میزان مناسب آن در این فرایند مهم است، زیرا در صورت استفاده به میزان نادرست در این فرایند موجبات باردارشدن مجدد ذرات و ناپایداری آنها را فراهم ساخته و همچنین باعث افزایش لجن تشکیل شده نیز می‌شود. پلی آلومینیوم کلراید در ابتدا باعث پایدارسازی ذرات کلوئیدی شده و با چسباندن آنها به یکدیگر باعث به وجود آمدن میکرولخته‌ها می‌شود. در این مرحله یک عامل لخته‌ساز مانند پلی الکترولیت‌ها به آب اضافه شده تا این لخته‌های کوچک به یکدیگر متصل و شرایط رسوب را فراهم آورد. به همین دلیل استفاده از پلی آلومینیوم کلراید بهترین نتیجه را در کاهش COD و کدورت از خود نشان داده است، اما سایر مواد منعقدکننده دیگر اثر کمتری در کاهش این پارامترها داشتند.

۳-۱- جاذب‌ها و جذب سطحی

آنالیزهای دینامیک و پیوسته بر روی خروجی تصفیه‌خانه بعد از کلرزنی انجام شد. در شکل ۸ نمای کلی از پکیج‌های موردنظر پر

شده از جاذب و همچنین مخزن نگهداری پساب نشان داده شده است.

لازم به ذکر است این مخزن برای اینکه بتواند آزمایش را در شرایط دینامیک و پیوسته برقرار کند، با بیشترین حجمی که در فضای آزمایشگاهی موجود امکان استقرار داشت، حدود ۵۰۰ لیتر در نظر گرفته شد و دبی ورودی و خروجی به فیلترها ۲ لیتر بر دقیقه، دبی خروجی از فیلتر اول ۱/۵ لیتر بر دقیقه، دبی خروجی از فیلتر دوم ۱/۲ لیتر بر دقیقه بود. ارتفاع کل فیلتر اول ۴۸ سانتی‌متر و فیلتر دوم ۲۴ سانتی‌متر بود (شکل ۸).

با توجه به حجم مخزن و دبی‌های تنظیم شده آزمایش برای مدت‌زمان ۳ ساعت به‌صورت پیوسته با عبور از جاذب‌های موردنظر انجام شد که نتایج به‌دست‌آمده از آزمودن‌های پیوسته در مدت‌زمان‌های مختلف و اثر جاذب‌های مشخص شده بر روی کاهش میزان آلایندگی در جدول ۲ و شکل‌های ۹ تا ۱۴ داده شده است. علامت ZA نشان‌دهنده زئولیت طبیعی اسیدشویی شده و علامت AC نشان‌دهنده کربن فعال خریداری شده است.

همان گونه که در نمودارهای ۹ تا ۱۲ نشان داده شده است با عبور سیال که همان پساب خروجی از تصفیه‌خانه مرکزی است، در زمان‌های ۳۰، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۵۰ و ۱۸۰ دقیقه نمونه‌گیری و آنالیز شد. مقایسه اعداد به‌دست‌آمده برای COD نشان داد که حدوداً و به‌طور میانگین ۴۰ درصد در کاهش COD در طی مدت‌زمان ۳ ساعت به‌دست آمد. قطعاً با افزایش مدت‌زمان، اگر مقدار زئولیت مصرفی در همین بازه باشد، کاهش در کارایی و بازده

Fig. 8. Absorption filters
شکل ۸- فیلترهای جذب

فرایند ملاحظه خواهد شد که باید با افزایش مقدار زئولیت‌ها در افزایش حجم بستر زئولیت فراوری شده این مشکل قابل جبران است و با طراحی مناسب می‌توان به کارایی مناسب در طول زمان مطلوب دست یافت. همین روند کاهش در TSS و کدورت هم ملاحظه می‌شود که خصوصاً در مورد کدورت عملکرد پکیج زئولیت فراوری شده با میانگین بازده ۳۰ درصد بسیار مطلوب و امیدوارکننده است. برای اطمینان بیشتر از قدرت جاذب‌های شناخته شده دیگر در چنین فرایندی، بستر موردنظر بار دیگر با استفاده از کربن فعال پر شد و آزمایش‌های پیوسته در شرایط حضور AC انجام شد و در زمان‌های ۳۰ و ۱۸۰ دقیقه مقدار COD، TSS و کدورت بررسی شد.

جدول ۲- نتایج آنالیزهای حاصل از آزمودن‌های دینامیک بر روی جاذب‌ها
Table 2. Analysis results from dynamic tests on absorbents

COD removal (%)	TUR [NTU]	TSS [ppm]	COD [ppm]	EC[ms]	T (°C)	TDS [ppm]	Time (min)	Filter
-	36	86	163	184.2	24.3	4330	0	Initial
47.24	15.26	39	86	181.6	24.6	4010	30	ZA
34.97	20.4	40	106	181.7	25.3	4010	60	
37.43	13.74	71	102	178.6	25.1	4130	90	
43.56	14.52	34	92	178.5	25.1	4080	120	
46.01	14.49	58	88	179.2	25.1	4140	150	
38.65	14.7	46	100	178.6	25.3	4070	180	
-	15.70	30	91	182.4	24.2	3960	30	AC
6	14.37	46	94	181.6	24.1	4250	180	

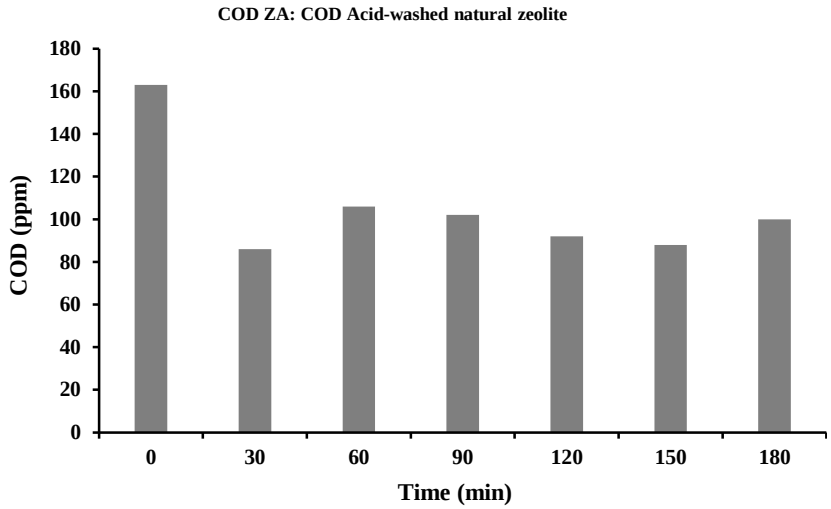

Fig. 9. The process of reducing COD for the effluent of Semnan Industrial Park by ZA

شکل ۹- روند کاهش COD برای پساب خروجی شرکت شهرک‌ها توسط ZA

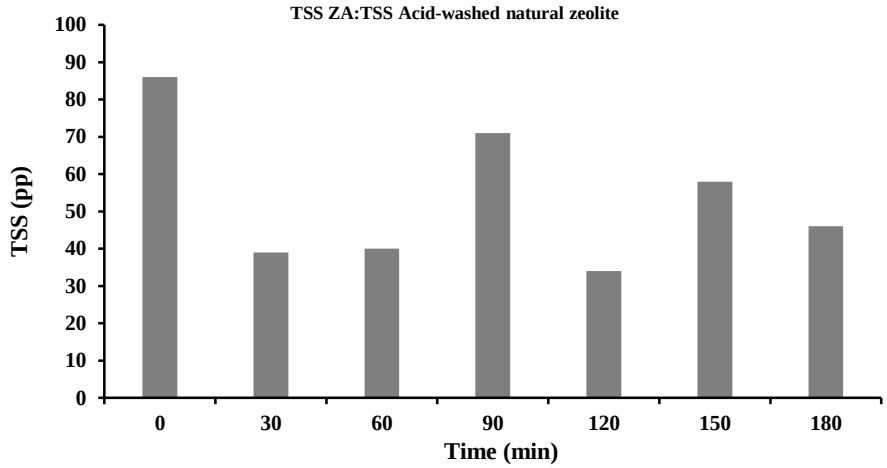

Fig. 10. The TSS trend for the effluent of the settlement company by ZA

شکل ۱۰- روند کاهش TSS برای پساب خروجی شرکت شهرک‌ها توسط ZA

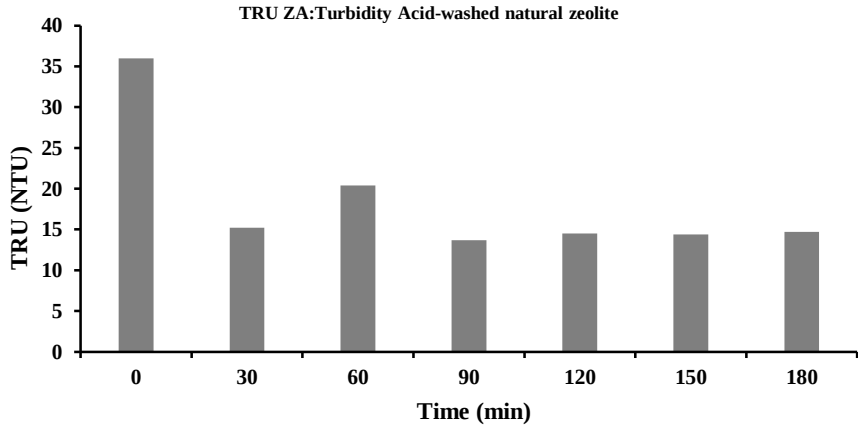

Fig. 11. The process of turbidity reduction for the effluent of the settlement company by ZA

شکل ۱۱- روند کاهش کدورت برای پساب خروجی شرکت شهرک‌ها توسط ZA

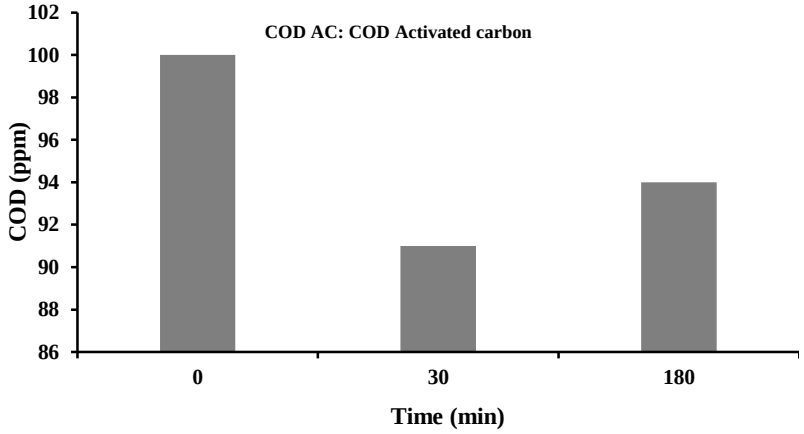

Fig. 12. The process of reducing COD for the effluent of the settlement company by AC

شکل ۱۲- روند کاهش COD برای پساب خروجی شرکت شهرک‌ها توسط AC

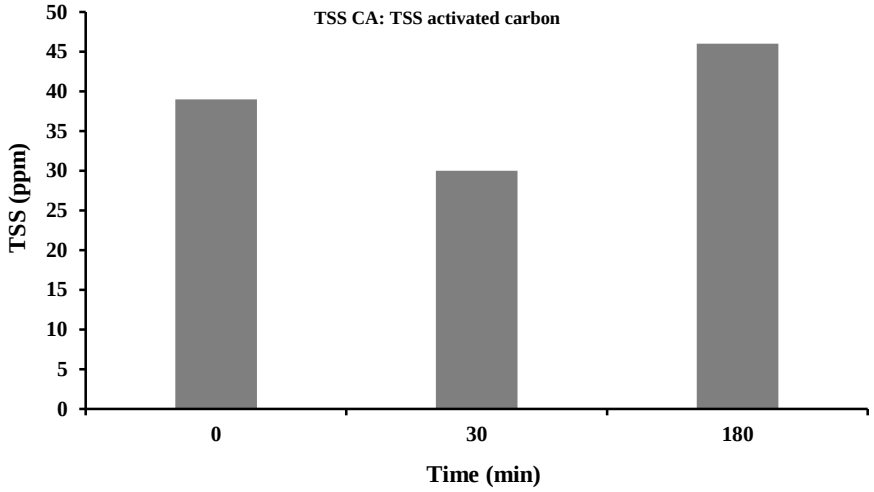

Fig. 13. The TSS reduction trend for the effluent of the settlements company by AC

شکل ۱۳- روند کاهش TSS برای پساب خروجی شرکت شهرک‌ها توسط AC

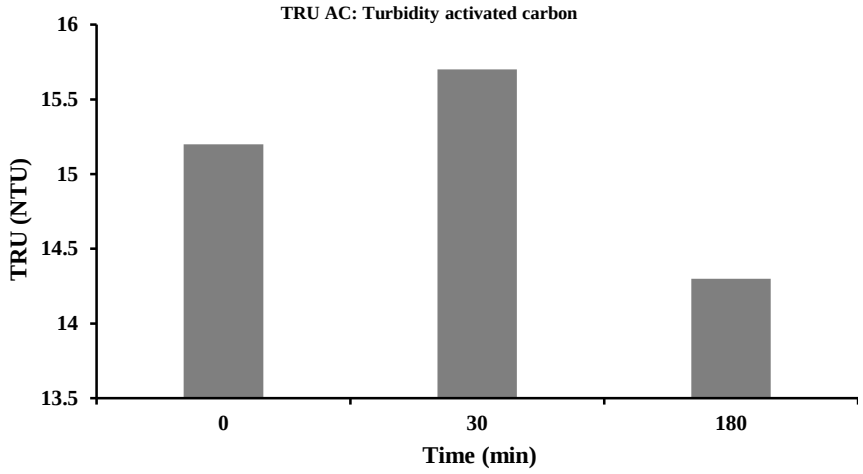

Fig. 14. The process of turbidity reduction for the effluent of the settlement company by AC

شکل ۱۴- روند کاهش کدورت برای پساب خروجی شرکت شهرک‌ها توسط AC

نتایج به‌دست‌آمده از شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ نشان می‌دهد توان و بازده پکیج زئولیت فراوری شده نسبت به کربن فعال بسیار بالاتر و مطلوب‌تر است و درنتیجه می‌توان برای بهبود پساب تصفیه شده و خروجی از تصفیه‌خانه مرکزی، سامانه تصفیه تکمیلی را با طراحی مناسب از ستون‌هایی که با استفاده از زئولیت فراوری شده به‌صورت بستر درآمده است راه‌اندازی کرد. بدون شک دبی سیال خروجی بعد از واحد کلرزنی در طراحی سامانه مذکور به‌منظور انجام فرایند جذب ضروری است و پایین آمدن کدورت با کارایی حدوداً ۲۰ درصد توسط پکیج زئولیتی گویای این واقعیت است که برای پساب خروجی از واحدهای صنعتی که با مشکل رنگ نامطلوب مواجه هستند، کارایی لازم را داشته باشد. به‌طورکلی می‌توان گفت صنایعی که تصفیه‌خانه هرچند کوچک برای پساب خروجی از واحد صنعتی دارند، پتانسیل عملیاتی شدن استفاده از ستون‌های جذب با حضور زئولیت فراوری شده وجود دارد؛ بنابراین، معمولاً با استفاده از افزودنی‌ها در نقش مواد منعقدکننده و کمک‌منعقدکننده تلاش می‌شود تا درصد آلودگی پساب کاهش یافته و آنگاه با فرایند جذب به‌عنوان یک روش تکمیلی به حذف مناسب در زمان معقول با کارایی مطلوب دست یابند.

مقایسه اقتصادی بین جاذب‌ها، مواد منعقدکننده شیمیایی و طبیعی برای حذف آلاینده‌ها نشان می‌دهد که هرکدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. جاذب‌ها با کارایی بالا و قابلیت استفاده مجدد، برای حذف طیف گسترده‌ای از آلاینده‌ها مناسب هستند، اما از جمله معایب آن هزینه زیاد و دشواری در بازیابی آنها است. مواد منعقدکننده شیمیایی با هزینه کم و دسترسی آسان، سرعت عمل بالایی در حذف آلاینده‌ها دارند، اما از جمله معایب آن تولید لجن زیاد و تأثیرات زیست‌محیطی آنها محسوب می‌شود. در مقابل، مواد منعقدکننده طبیعی با سازگاری با محیط‌زیست و هزینه پایین، کارایی کمتری نسبت به دو گروه دیگر دارند و ممکن است به مقدار بیشتری از آنها برای رسیدن به نتیجه مطلوب نیاز باشد. در نهایت، انتخاب بهترین روش برای حذف آلاینده‌ها به عوامل مختلفی ازجمله نوع و غلظت آلاینده‌ها، هزینه، ملاحظات زیست‌محیطی و الزامات قانونی بستگی دارد و در برخی موارد، استفاده ترکیبی از روش‌ها می‌تواند مؤثرترین راه‌حل باشد.

۴- نتیجه‌گیری

در مجموع می‌توان گفت به‌منظور افزایش کارایی فرایند تصفیه و رسیدن به پساب با کیفیت بهتر در خروجی از تصفیه‌خانه مرکزی، لازم است از مواد منعقدکننده مناسب به‌منظور کنترل کیفیت پساب‌های خروجی استفاده شود.

در خصوص تصفیه‌خانه مرکزی شرکت شهرک‌ها افزودن منعقدکننده پلی‌آلومینیوم کلراید و یا گیاه مورینگا نتایج بسیار خوبی نشان داده است و بهترین مکان برای اضافه کردن این افزودنی‌ها بعد از لجن فعال و قبل ورود به حوضچه‌های ته‌نشینی ثانویه است. بر اساس مطالعات، استفاده از مواد منعقدکننده شیمیایی به علت قیمت مناسب و در دسترس بودن به‌عنوان بهترین گزینه به‌منظور کاهش بار آلودگی پساب است. همچنین با توجه به اینکه یکی از فن‌های بسیار مهم برای حذف آلاینده‌ها، استفاده از جاذب‌ها است که با توجه به تخلخل و نوع می‌توانند در حذف مواد زائد به‌خوبی عمل کنند. نکته‌ای که در استفاده از جاذب‌ها حائز اهمیت است بار آلودگی سیال ورودی به آن است که در صورت بالا بودن مقدار آلودگی منجر به بسته شدن زودهنگام و عدم کارایی جاذب برای مدت‌زمان مناسب می‌شود. از همین رو، معمولاً با استفاده از افزودنی‌ها در نقش مواد منعقدکننده و کمک‌منعقدکننده تلاش می‌شود تا درصد آلودگی پساب کاهش یافته و آنگاه با فرایند جذب به‌عنوان یک روش تکمیلی به حذف مناسب در زمان معقول با کارایی مطلوب دست یابند.

۵- قدردانی

از مدیریت شرکت شهرک‌های سمنان برای همکاری در این پروژه قدردانی می‌شود.

References

Abd Wahid, M. A., Hara, H. and Noor, M. J. M. M., 2016. A review on genetically engineered natural coagulant based on moringa oleifera for turbidity removal. *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 28. https://doi.org/10.11113/mjce.v28.15993.

Aboulhassan, M., Souabi, S., Yaacoubi, A. and Baudu, M., 2014. Treatment of paint manufacturing wastewater by the combination of chemical and biological processes. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 3, 1747-1758. [Link]

Abusabha, S., Zaimes, G. and Marei, A., 2024. Applying the experiment design approach to minimize pollutants in olive mill wastewater using aluminum sulfate and ferric chloride as coagulants. West Bank-occupied Palestinian territories. *Desalination and Water Treatment*, 320, 100671. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100671.

Ahmad, A., Wong, S., Teng, T. and Zuhairi, A., 2008. Improvement of alum and PACl coagulation by polyacrylamides (PAMs) for the treatment of pulp and paper mill wastewater. *Chemical Engineering Journal*, 137, 510-517. https://doi.org/10.1016/j.cej.2007.03.088.

Ahmed, I., Habib, M., Habib, U., Hai, A. and Khan, A. U., 2016. Analysis and treatment of tannery waste water by using combined filtration and coagulation treatment process: treatment of tannery waste water by using combined filtration and coagulation. *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences: B. Life and Environmental Sciences*, 53, 179-183. [Link]

Akyol, A., 2012. Treatment of paint manufacturing wastewater by electrocoagulation. *Desalination*, 285, 91-99. https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.09.039.

Anteneh, W. and Sahu, O., 2014. Natural coagulant for the treatment of food industry wastewater. *International Letters of Natural Sciences*, 4. https://doi.org/10.56431/p-44oq44.

Aravind, J., Kanmani, P., Sudha, G. and Balan, R., 2016. Optimization of chromium (VI) biosorption using gooseberry seeds by response surface methodology. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 2, 61. https://doi.org/10.7508/gjesm.2016.01.007.

Ashmawy, M., Moussa, M., Ghoneim, A. and Tammam, A., 2012. Enhancingthe efficiency of primary sedimentation in wastewater treatment plants with the application of Moringaoliefera seeds and quicklime. *The Journal of American Science*, 8. 494-502. [Link]

Bangar, C., Mhaske, P., Parasur, V. and Pawar, S., 2017. Comparative study of removal of dairy waste characteristics by using various natural and chemical coagulants. *In Special Issue: National Conference Momentum-17. International Journal of Research in Advent Technology (IJRAT)*, (Vol. 14). [Link].

Bhatia S., Othman Z. and Ahmad A. L., 2007. Pretreatment of palm oil mill effluent (POME) using Moringa oleifera seeds as natural coagulant. *Journal of Hazardous Materials*, 145(1-2), 120-126. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.11.003.

Dashti, A. F., Salman, N. A. S., Adnan, R. and Zahed, M. A., 2022. Palm oil mill effluent treatment using combination of low cost chickpea coagulant and granular activated carbon: optimization via response surface methodology. *Groundwater for Sustainable Development*, 16, 100709. https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100709.

Gautam, S. and Saini, G., 2020. Use of natural coagulants for industrial wastewater treatment. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 6, 553-578. https://doi.org/10.22034/gjesm.2020.04.10.

Tomasi, I. T., Machado, C. A., Boaventura, R. A., Botelho, C. M. and Santos, S. C., 2022. Tannin-based coagulants: current development and prospects on synthesis and uses. *Science of The Total Environment*, 822, 153454. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153454.

Varsani, V. G., Vyas, S. J., Dudhagara, D., Chudasama, T. and Gadhvi, K., 2024. Unlocking the potential of lignocellulosic waste: a kinetic modeling approach for bio-coagulants in sewage water treatment. *Environmental Technology and Innovation*, 33, 103486. [Link]