Journal of Environmental Studies
Vol. 48, No. 4, Winter 2023

Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir
Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

Feasibility Study of Using Water Treatment Plant Sludge to Improve the Efficiency of Wastewater Treatment Plant Sludge Thickening Process

Document Type
Research Paper

Received
March 26, 2022

Accepted
November 27, 2022

Mohammad Javad Kazemi, Gagik Badalians Gholikandi*

Department of Water and Wastewater Engineering, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

DOI: 10.22059/JES.2022.338882.1008284

Abstract

The issue of optimal disposal of sludge in water treatment plants is among the important issues in line with the principles and goals of sustainable development. In this study, the possibility of applying activated carbon and water treatment sludge with the purpose of reducing the consumption of cationic polyelectrolytes in the thickening stage of wastewater treatment sludge on a laboratory pilot scale was investigated. For this purpose, the effect of these additives on SVI, TTF, DS, pH, and the dosage of polyelectrolytes used was evaluated. SVI and TTF of conditioned sludge at a dose of 300 mg/g along with 1 mg/l of cationic polyelectrolyte decreased to less than 100 ml/g and 100 s-1, respectively, and also increased the amount of sewage sludge solids to at least 5%. Large flocs formation, particles size distribution change, and increasing the porosity of the sludge have become as a result of adding the conditioning materials, and facilitating the thickening and releasing of free water. In addition to improving the efficiency of sewage sludge thickening, these industrial wastes reduce polyelectrolyte consumption by 50%, protecting the environment from the negative impacts of their disposal.

Keywords: Sewage sludge treatment, Sludge thickening, Conditioning, Water treatment sludge, Activated carbon

* Corresponding Author: Email: G_Badalians@sbu.ac.ir

Extended Abstract

Introduction

Produced sludges in water and wastewater treatment plants are the most important daily waste residuals. The amount of total sludge solid produced in Wastewater treatment is approximately 2 % of all treated wastewater. However, 40-50% of wastewater treatment plant operation cost belongs to sludge management. Since the disposal of sludge costs depends on its volume, one of the sludge management purposes is maximum sludge volume reduction by maximum thickening and dewatering. The thickening process is applied in order to increase the solid content in sludge(3-5%) through water separation. The thickening process causes to decrease in sludge volume and as a result, the capacity of subsequence treatment reactors and their equipment will be reduced, as well as the amount of heat energy required in the digester. The thickening process is performed through methods such as coagulation gravity thickening, dissolved air flotation, centrifugation, belt filter, reverse and forward osmosis, microfiltration, etc. chemical and physical conditioners are widely utilized to improve the thickening process in sludge conditioning. Chemical conditioners increase particles size by coagulation and flocculation of existing colloidal and super colloidal particles in sludge. Tche colloidal and super colloidal particles in sludge decrease efficiency of mechanical thickening process performances. These particles during mechanical thickening, are trapped in filter cake, blind the pores, and decrease cake porosity and as a result, water releasing became difficult. Occasionally, thickening and dewatering with chemical conditioners are not significant, and in order to achieve sufficient results required to apply physical conditioners. If filtration yield is low and cake compressibility is high, by Application of physical conditioners the porosity of sludge increases, therefore filtration yield will be increased and its compressibility decrease, thus free water releasing from sludge became easier. Numerous studies have been investigated the use of agricultural waste such as straw, rice, walnut shell, and fruits and vegetable wastes and inorganic waste such bentonite, ash, water treatment sludge, clay and lime as a conditioner. These materials because of their cost-effectiveness and recycling have been considered. Based on the physical and chemical properties of these waste materials, act as physical and/or chemical conditioners and improve the thickening and dewatering process. The limitation of these conditioners should be considered because excessive addition of chemical conditioners increases the charge of the sludge surface and particles again became stable, thus thickening became complicate. The high volume and mass proportion of physical conditioners to sewage sludge, trigger an increased total volume and/or mass of the final product and influence the performance of the entire sludge treatment process. Also, some materials have the potential to change the sludge's physical and chemical properties and have a negative effect on digestion and dewatering processes. Non-carbonic physical conditioners had low Thermal value if the final product is to be managed by incineration, which should be considered in sludge management. Water treatment plant sludge contains high amounts of iron that need to be treated to discharge into the environment. If this sludge is used in the wastewater sludge treatment process, in addition to optimal waste management, it will also be effective in improving the sludge treatment processes. Activated carbon prepared from walnut shells is a valuable agricultural waste due to its physical properties and is highly effective in removing contaminants from water and wastewater. Applying activated carbon in the sludge treatment process, in addition to removing contaminants from sludge, improve the thickening and dewatering process as well. Utilizing polyelectrolytes and physical conditioners simultaneously in thickening and dewatering processes decreases the cost of sludge treatment and improves its performance.

Materials and methods

In this study, a case study of the use of Jalalieh Water Treatment Plant sludge (No. 1, Tehran) and activated carbon prepared from the walnut shell as a physical conditioner with 1 mg/l cationic polyelectrolyte in the thickening of Waste Activated Sludge (WAS) of South Wastewater Treatment Plant Tehran has been studied on a laboratory scale. The parameters of Sludge Volume Index (SVI), Time To Filtration (TTF), Dry Solids (DS), and pH were examined as important related parameters. Also, the sludge particle size distribution and the distribution of activated carbon pores size were performed to examine more closely the changes in the performance of the thickening process.

The specific surface area of the adsorbent as well as the diameter and distribution of the pores were measured using the BET test. In order to study the changes in sludge particle size distribution, the sludge particle size distribution was determined by a laser particle size analyzer.
Walnut Shell Carbon Active (WSCA) and water treatment sludge from Sedimentation Tank (STS), sludge from Drying Bed (DBS), and Water sludge contains activated Carbon (WMC) from Sedimentation Tank were applied in thickening sewage sludge process as conditioners. 1 mg of cationic polyelectrolyte with 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, and 500 mg/g DS of conditioners were added to sewage sludge. The effect of STS, DBS, WMC, and WSCA on SVI, TTF, DS, and pH in the thickening process was investigated according to the methods of 2710D, 2710H, and 2540B, respectively in (APHA, 2012). HANNA pH meter-211 was used to measure the pH of the samples.

Results and discussion

As shown in Fig1 Applying conditioners on WAS decrease the SVI in all sample and STS has the best performance in the sludge settling and thickening process. The effect of four conditioners on sludge thickening performance according to the SVI index is provided in Fig 1. As the results show the decrease in SVI occurs with conditioners. It indicates that the percentage of improvement in thickening performance is different in various conditioners and at 500 mg/g DS of conditioners the STS has the best performance by 90% reduction in SVI and after that DBS, WMC, and WSCA decreased the SVI, 88,79, and 60 percent respectively. According to the results, water treatment sludge has a positive effect on SVI reduction which illustrates the remaining Ferric chloride in sludges is effective in thickening. Ferric chloride by coagulation and flocculation accelerated the settling and since the STS has a lot amount of Ferric chloride, its performance is better than others. Therefore, STS is a proper conditioner in gravity thickening. Since the size and weight of the flocs are important in the thickening process, activated carbon becomes heavier by absorbing colloidal materials in pores and increases the sedimentation rate by zone settling.
The efficiency of applying 500mg/g DS of WMC, DBS, STS, and WSCA on TTF demonstrated that the maximum reduction(95%) happened by WSCA and then 86, 79, and 56% for STS, DBS, and WMC, respectively. WSCA in the thickening process act as a skeleton builder and by creating channels improved water releasing. Water treatment plant sludges besides flocculation by Ferric chloride contains a high amount of inorganic materials which is performed as a skeleton builder and improves the thickening process. 2 mg/l of polyelectrolyte is required to achieve 100 s^{-1} in TTF without conditioners, nonetheless, the amount of polyelectrolyte consumption will be decreased 50% by adding 250, 220, and 150 mg/g DS of DBS, STS, and WSCA respectively.
Solid content increases 3.6-5.6 times by adding 500mg/g conditioners. The maximum increment of DS occurred by STS adding, and DS increased from 2.5% to 14%. The lowest increase in DS occurs with the addition of activated carbon sludge (WMC) from 2.5% to 9% at the maximum dose. The increment of dry solids in sludge while conditioners are added, occurs for two reasons: the first reason is the presence of the conditioners that increase the solids content and the second reason is the effect of conditioners on improving the sludge thickening process and water releasing.
The pH of sludge was around 7 and the conditioners had no significant effect on the pH of sludge. It may be revealed that Conditioners mostly acted as physical conditioning and some little changes in pH were due to chemical reactions.
The effect of Conditioners on the distribution of sludge particles size figured the change occurred on sludge structure, compressibility, porosity, and the size of particles and their distribution. The conditioners by these changes form the skeleton and tiny channel to improve water releasing and finally decrease sludge volume. The porous structure of activated carbon with a high specific surface area, in addition to improving the thickening process with physical conditioning, has the ability to absorb sludge particles due to chemical and/or electrostatic interactions, and improve the release of water from the sludge. The particle size distribution of sludge before and after conditioning with WMC, DBS, STS, and WSCA showed that the particle size distribution in sludge changed and became larger. D10, D50, and D90 of samples after conditioning increased 1.6 to 2.8 times, 1.2 to 2.2 times, and 1.1 to 4.3 times. The mean size of particles increased By large flocs forming with conditioners.

In general, the addition of conditioners in the optimal dose assists to reduce fine particles in the colloidal network and the formation of larger and harder flocs, and by improving sludge filtration, it prevents clogging of the pores and the free water is easily discharged. Reduction of SVI by water treatment sludges was greater than carbon active because they contain remaining Ferric chloride and by conditioning, great flocs formed and settled faster, and since the SVI test is not under pressure and the gravity has an important role in settling, these results were predictable. Due to the application of 80 kPa pressure during the TTF test, the sludge is compressed and the activated carbon, inorganic materials in the sludge, and large flocs act as skeleton builders and reduce the sludge compressibility. In this experiment, the performance of activated carbon due to the hard structure and its pores is better than others, because turned the sludge cake into a porous media with fine channels, which accelerated the process of draining sludge water. With the right management of sludge treatment from water and wastewater treatment processes, not only operating costs decreases but also the irreparable effects of improper discharge on the environment will be prevented.

Conclusion

The results of this study illustrated water treatment plant sludge and activated carbon is effective in decreasing SVI, TTF, polyelectrolyte consumption, and increasing sludge solid content. At the dosage of 300 mg/g DS of conditioners, carbon active has the best performance in decreasing TTF by 82 %, and the thickened water treatment sludge has the best performance on SVI reduction and increment DS by 80% and 220% respectively. the polyelectrolyte consumption reduction is another conditioner utilizing advantages. One of the other benefits of using the materials investigated in this study is a 50% reduction in the use of polyelectrolyte when STS, WSCA, DBS and WMC conditioners are added in doses of 100, 150, 150 and 220 mg/kg, respectively. The water treatment sludge in the thickening process acts as a chemical conditioner due to its ferric chloride by neutralizing, bridging, and large and rigid flocs forming of particles, also the rigid flocs act as physical conditioners. Carbon active as a physical conditioner acts as a skeleton builder and increases the porosity and decreases compressibility of sludge which triggers thickening process improvement. according to results, carbon active and water treatment plant sludge are effective in the thickening process and recommended after semi-pilot tests, they are considered as a physical conditioner in the sludge treatment process.

محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٨، شمارهٔ ٤، زمستان ١٤٠١، صفحهٔ ٤٨١ – ٤٩٦

امکان‌سنجی استفاده از لجن تصفیه‌خانه آب برای ارتقا کارآمدی فرآیند تغلیظ لجن تصفیه‌خانه فاضلاب

محمدجواد کاظمی، گاگیک بدلیانس قلی کندی*

گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

تاریخ وصول مقاله: ١٤٠١/٠١/٠٦ تاریخ پذیرش مقاله: ١٤٠١/٠٩/٠٦

چکیده

مسئله دفع بهینه لجن تصفیه‌خانه‌های آب، همچنین تغلیظ و آبگیری لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از موارد مهم مطرح در راستای اصول و اهداف توسعه پایدار به شمار می‌روند. در این تحقیق، امکان استفاده از لجن تصفیه‌خانه آب و کربن فعال با هدف جایگزینی یا کاهش مصرف پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی در مرحله تغلیظ لجن تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن‌فعال در مقیاس پایلوت آزمایشگاهی بررسی شد. برای این منظور، تاثیر تصفیه‌خانه آب و کربن فعال به همراه پلی‌الکترولیت بر پارامترهای SVI، TTF، DS وpH درراستای بهینه‌سازی مرحله تغلیظ لجن فاضلاب مورد سنجش قرارگرفت. SVI و TTF لجن حالت‌دهی شده در دوز ٣٠٠ mg/g به همراه ١mg/l پلی‌الکترولیت کاتیونی به ترتیب به کمتر از ١٠٠ml/g و ١٠٠ s^{-1} کاهش یافت و همچنین میزان جامدات لجن فاضلاب را به حداقل ۵ درصد رساندند. مواد حالت دهنده تاثیر قابل‌توجهی بر مقدار pH لجن نداشتند. درنتیجه افزودن مواد حالت دهنده، تشکیل فلوک‌های منسجم با قطر بزرگتر، تغییر دانه‌بندی و افزایش تخلخل لجن‌مازاد بیولوژیکی حاصل شده و تغلیظ و جداسازی آب آزاد تسهیل می‌گردد. استفاده از این پسماندهای صنعتی، ضمن بهبود کارآمدی فرآیند تغلیظ لجن فاضلاب باعث کاهش ۵۰٪ در مصرف پلی‌الکترولیت و جلوگیری از تاثیرات منفی ناشی از دفع این پسماندها در محیط‌زیست می‌گردد.

کلید واژه‌ها: تصفیه لجن فاضلاب، تغلیظ لجن، حالت‌دهی، لجن تصفیه‌خانه آب، کربن فعال

سرآغاز

لجن‌های حاصل از فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب از جمله مهم‌ترین پسماندهای تولید شده روزانه (کمی و کیفی) هستند. مقدار لجن تولیدشده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن فعال تا حدود ٢ درصد حجمی مقدار فاضلاب تصفیه‌شده است. درعین‌حال، مدیریت و تصفیه آن به دلیل پیچیدگی راهبری فرایندها و تأسیسات موردنیاز حدوداً ۴۰–۵۰ درصد هزینه‌های بهره برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مذکور را به خود اختصاص می‌دهد. به همین دلیل تلاش‌های گسترده‌ای برای دستیابی به راهکارهای نوین تصفیه و دفع بهینه لجن همچنان انجام می‌پذیرند (Turovskiy and Mathai, 2006; Collard, Teychené et al., 2017; Yi, Zhong et al., 2021). نظر به اینکه هزینه دفع لجن تابعی از حجم لجن تصفیه شده است، بنابراین یکی از اهداف اصلی

* نویسنده مسئول
Email: G_Badalians@sbu.ac.ir
DOI: 10.22059/JES.2022.338882.1008284
DOR: 20.1001.1.10258620.1401.48.4.3.2

تصفیه لجن در کنار تثبیت آن، حداکثر تغلیظ و آبگیری ممکن لجن و کاهش حجم آن می‌باشد (U.S, 1975; Epa, 1993; Zhang et al., 2017). فرآیند تغلیظ با هدف افزایش میزان جامدات موجود در لجن مازاد ثانویه (تا محدوده ۳-۵ درصد) از طریق جداسازی بخشی از آب موجود در آن به کار می‌رود. با انجام فرایند تغلیظ، حجم لجن کاهش یافته و درنتیجه ظرفیت راکتورهای مربوط به فرآیندهای بعدی تصفیه و تجهیزات موردنیاز آن‌ها و همچنین مقدار انرژی گرمایی مورد نیاز در هاضم نیز کاهش می‌یابد. از دیگر مزایای فرآیند تغلیظ لجن می‌توان به کاهش هزینه‌های پمپاژ و حمل ونقل لجن اشاره نمود (Turovskiy and Mathai, 2006). فرآیند تغلیظ لجن با استفاده از روش‌ها، تاسیسات و تجهیزات مکانیکی نظیر تغلیظ همزمان با ته‌نشینی، تغلیظ ثقلی، شناورسازی با هوای محلول، سانتریفیوژ، نوارهای ثقلی، استوانه‌های مدور و روش‌های غشایی مانند اسمز مستقیم و میکروفیلتر قابل انجام است (Yi et al., 2021; Zhao et al., 2022). حالت‌دهی لجن با استفاده از حالت دهنده‌های شیمیایی و فیزیکی به منظور بهبود فرایند تغلیظ کاربرد زیادی دارد. حالت‌دهنده‌های شیمیایی با انعقاد و لخته‌سازی ذرات کلوئیدی و فوق کلوئیدی به تجمع ذرات لجن کمک می‌کند تا لخته‌های بزرگی را تشکیل دهند. وجود ذرات کلوئیدی و فوق کلوئیدی در لجن اغلب منجر به کاهش کارآمدی فرآیند تغلیظ دستگاهی در طول مدت زمان انجام آن می‌شود. این ذرات در زمان تغلیظ با تجهیزات مکانیکی به منافذ کیک لجن نفوذ کرده و با گرفتکی محیط فیلتر، تخلخل کیک را کاهش یافته و از خروج آب لجن جلوگیری می‌کند (Chen et al., 2019). گاهی اوقات حالت‌دهنده‌های شیمیایی به تنهایی نمی‌توانند فرایند تغلیظ و آبگیری را به خوبی انجام دهد و نیاز است از حالت‌دهنده‌های فیزیکی استفاده شود. در صورتی که نرخ فیلتراسیون پایین و تراکم‌پذیری کیک بالا باشد آزاد سازی آب در فرایند تغلیظ با مشکل مواجه خواهد شد و باید با افزودن حالت‌دهنده‌های فیزیکی که نقش کمک فیلتر را دارند به افزایش تخلخل کیک لجن و کاهش تراکم‌پذیری آن کمک کرد تا آب آزاد در فرایند تغلیظ مکانیکی سریعتر تخلیه شود (Qi et al., 2011).

مطالعات متعددی در زمینه استفاده از پسماند محصولات کشاورزی مانند کاه و گندم(Wang et al., 2017)، ذرت (Guo et al., 2020)، برنج (Wu et al., 2016)، پسماند میوه و سبزیجات(Guo et al., 2019)، پوست گردو (Wójcik, 2020) و مواد دیگر مانند بنتونیت (Masihi and Badalians Gholikandi, 2020)، خاک رس و آهک (Joseph-Soly et al., 2019) جهت حالت‌دهی لجن به منظور آمایش آن قبل از تغلیظ و آبگیری صورت گرفته است. این مواد به دلیل ارزان بودن و همچنین استفاده مجدد مورد توجه قرار گرفته‌اند. این مواد بر اساس مشخصات فیزیکی و شیمیایی پسماندها، ممکن است به عنوان حالت‌دهنده فیزیکی و یا شیمیایی عمل کنند و فرایند تغلیظ و آبگیری را بهبود بخشند(Wu et al., 2020). افزودن حالت‌دهنده‌های فیزیکی و شیمیایی دارای محدودیت‌هایی می‌باشد که باید در مطالعات در نظر گرفته شود. افزودن بیش از حد حالت‌دهنده‌های شیمیایی می‌تواند باعث افزایش بار سطحی لجن شده و با پایدارسازی ذرات، فرایند تغلیظ با مشکل مواجه شود. نسبت بالای حجم و جرم حالت‌دهنده‌های فیزیکی به لجن فاضلاب در زمان حالت‌دهی منجر به افزایش حجم لجن و میزان مواد جامد محصول نهایی شده و عملکرد کل فرایند تصفیه لجن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین برخی دیگر از این مواد ممکن است مشخصات فیزیکی و شمیایی لجن را دچار تغییر کرده و فرایندهای بعدی مانند هضم و آبگیری را با مشکل مواجه کند و نرخ بازیافت جامدات لجن را کاهش دهد. حالت‌دهنده‌های فیزیکی با پایه غیرکربنی در صورتی که محصول نهایی لجن به روش سوزاندن مدیریت شود، ارزش حرارتی پایین‌تری دارند که باید در مدیریت لجن مورد توجه قرار گیرد(Qi et al., 2011).

لجن تصفیه‌خانه آب حاوی مقادیر بالای آهن است که

برای تخلیه به محیط‌زیست نیاز به تصفیه دارد. در صورتی که از این لجن در فرایند تصفیه لجن فاضلاب استفاده شود علاوه بر مدیریت بهینه پسماند، در بهبود فرایندهای تصفیه لجن نیز موثر خواهد بود(Carleton et al., 2020). کربن فعال تهیه شده از پوست گردو به دلیل خواص فیزیکی آن یک پسماند کشاورزی ارزشمند می‌باشد و در حذف مواد آلاینده از محیط های آب و فاضلاب کارایی بالایی داشته و با استفاده از آن در فرایند تصفیه لجن ممکن است علاوه بر حذف مواد آلاینده از لجن به بهبود فرایند تغلیظ و آبگیری نیز کمک کند (Hosseinlou and Taebi, 2010; Saqib et al., 2013; Wójcik, 2020). از آنجایی که استفاده از پلی‌الکترولیت ها در فرایندهای تغلیظ و آبگیری، هزینه تصفیه لجن را افزایش میدهد و همچنین عملکرد آن در برخی موارد (مانند پایین بودن نرخ فیلتراسیون و تراکم‌پذیری بالای لجن) پایین می‌باشد، استفاده از مواد دیگر به صورت همزمان برای رفع این مشکلات ضروری به نظر می‌رسد(Zhu et al., 2018).

در این تحقیق به بررسی موردی استفاده از لجن حاصل در تصفیه‌خانه آب تهران و کربن فعال تهیه شده از پوست گردو به عنوان حالت‌دهنده فیزیکی به همراه ۱ میلی‌گرم بر لیتر پلی‌الکترولیت کاتیونی (۵۰ درصد میزان مصرف در تصفیه‌خانه) در تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی[1](WAS) تصفیه‌خانه فاضلاب تهران در مقیاس پایلوت آزمایشگاهی پرداخته شده است. پارامترهای اندیس حجمی لجن[2](SVI)، مدت زمان صاف سازی[3](TTF)، جامدات خشک[4](DS) و مقدار pH به عنوان پارامترهای مهم مرتبط مورد بررسی قرار گرفتند. همچنین آزمایش توزیع اندازه ذرات لجن تصفیه‌خانه آب و توزیع حفرات کربن فعال برای بررسی دقیقتر تغییرات در عملکرد فرآیند تغلیظ انجام پذیرفت.

مواد و روش بررسی

مواد

لجن مازاد بیولوژیکی از محل خط جریان برگشتی لجن مازاد بیولوژیکی تصفیه‌خانه فاضلاب تهران با فرایند تصفیه لجن فعال و لجن تصفیه‌خانه آب با روش تصفیه متداول از حوض تغلیظ و بستر لجن تصفیه‌خانه آب برداشت شد که در آن از کلرفریک(۶ میلی گرم برگرم) به عنوان منعقد کننده برای انعقاد و لخته سازی و آهک (۳ میلی‌گرم‌برگرم) جهت تنظیم pH آب استفاده می‌شود، مشخصه‌های کیفی آنها مطابق جدول ۱ بدست آمد.

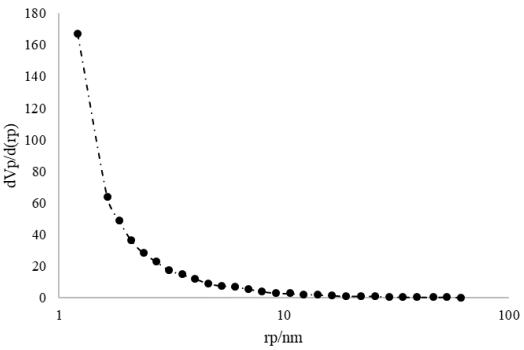
جدول ۱: مشخصات کیفی لجن مازاد بیولوژیکی تصفیه‌خانه فاضلاب و لجن تصفیه‌خانه آب

مشخصه کیفی	واحد	لجن مازاد بیولوژیکی تصفیه‌خانه فاضلاب	لجن آب تغلیظ شده	لجن آب تغلیظ شده حاوی کربن فعال	لجن آب آبگیری شده
دما	°C	۱۸/۲ ± ۴/۰	۱۶/۲ ± ۴/۰	۱۶/۵ ± ۴/۰	۱۸/۷ ± ۴/۰
pH	–	۷/۰۳ ± ۰/۲۰	۷/۲۳ ± ۰/۲۰	۷/۴۷ ± ۰/۲۰	۷/۰۵ ± ۰/۲۰
نیاز اکسیژن شیمیایی (COD)	mg/L	۹۵۲۰ ± ۲۰۰۰	۲۵۶ ± ۱۰	۲۵۱ ± ۱۰	۲۳۶ ± ۱۰
جامدات فرار (VS)	mg/L	۵۷۰۰ ± ۱۰۰۰	۱۵۶۴ ± ۱۰۰۰	۱۵۴۹ ± ۱۰۰۰	۱۳۷۹ ± ۱۰۰۰
جامدات معلق فرار (VSS)	mg/L	۵۱۸۳ ± ۱۰۰۰	۳۲۳ ± ۱۰۰۰	۳۲۰ ± ۱۰۰۰	۲۴۶ ± ۱۰۰۰
کل جامدات (TS)	mg/L	۸۳۵۰ ± ۱۰۰۰	۲۳۵۷ ± ۱۰۰۰	۲۵۵۷ ± ۱۰۰۰	۳۳۵۷ ± ۱۰۰۰

پودر کربن فعال تهیه شده از پوست گردو با مش ۵۰ و قطر ذرات ۲۹۷ میکرومتر با فعال سازی شیمیایی در این مطالعه استفاده شده است. اندازه‌گیری سطح ویژه جاذب و همچنین قطر و توزیع حفره‌ها، با استفاده از آزمون BET[5] انجام شد. به منظور بررسی تغییرات دانه‌بندی ذرات لجن، توزیع اندازه ذرات لجن با دستگاه دانه‌بندی لیزری تعیین شد.

سطح ویژه ماده جاذب یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های یک ماده جاذب است که به طور مستقیم بر بازده جذب سطحی فیزیکی بر روی آن موثر می‌باشد. اندازه‌گیری سطح

ویژه جاذب و همچنین قطر و توزیع حفره‌ها، با استفاده از نتایج آزمون BET انجام شد. سطح ویژه محاسبه‌شده، میانگین قطر و توزیع حفره‌ها برای جاذب زغال پوست گردو در شکل ۱ و جدول ۲ آمده است.



شکل ۱: توزیع حفرات در کربن فعال

جدول ۲: مقایسه سطح ویژه و میانگین قطر حفره‌های جاذب فعال شده

متغیر	WSCA
سطح ویژه m^2/g	۱۴۳۴٫۶
کل حجم حفرات $(P/P_0=0.990)\ cm^3/g$	۰٫۷۴۷
قطر میانگین حفرات nm	۲٫۰۸
بیشترین قطر nm	>۱٫۲۱
سطح بیشترین قطر حفرات	۲۵۶٫۳۷

شکل ۱ نشان می‌دهد که کربن فعال بیشتر دارای حفرات ریز بوده و با افزایش قطر منافذ احجام مربوط به آن کاهش می‌یابد. ساختار متخلخل کربن فعال با سطح ویژه بالا می‌تواند علاوه بر بهبود فرایند تغلیظ با حالت‌دهی فیزیکی، به دلیل برهمکنش‌های شیمیایی و/یا الکترواستاتیکی ذرات لجن را جذب کنند و به خروج جریان آب از لجن کمک کنند (Farhat et al., 2012).

روش بررسی

اندیس حجمی لجن (SVI)، عبارت است از میزان حجمی که به وسیله یک گرم از یک محلول سوسپانسیون پس از ۳۰ دقیقه ته‌نشینی، اشغال می‌شود. اندیس حجمی لجن برحسب میلی لیتر بر گرم، از رابطه ۱ تعیین می‌شود (APHA, 2012).

$$SVI = \frac{V \times 1000}{SS} \quad (۱)$$

که SS غلظت جامدات معلق موجود در نمونه محلول سوسپانسیون و V حجم لجن ته‌نشین شده در استوانه آزمایش پس از گذشت ۳۰ دقیقه هستند.

آزمایش مدت‌زمان صاف‌سازی لجن (TTF) شامل قرار دادن نمونه‌های لجن در قیف بوخنر به همراه کاغذ صافی، اعمال شرایط خلأ و اندازه‌گیری مدت‌زمان موردنیاز جهت صاف‌سازی ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه می‌باشد(APHA, 2012).

پودرکربن فعال [۶](WSCA) و لجن تصفیه‌خانه آب به صورت لجن حاصل از حوض تغلیظ فرایند تصفیه‌خانه آب [۷](STS)، لجن حاصل از بستر لجن تصفیه‌خانه آب [۸](DBS)، و لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب حاوی کربن فعال [۹](WMC) به عنوان حالت‌دهنده مورد بررسی قرار گرفت. به دلیل اینکه میزان دوز حالت‌دهنده‌ها به عنوان تنها پارامتر مستقل در این مطالعه می‌باشد و پارامترهای وابسته یعنی SVI، TTF و DS باید به صورت دقیق برای هر دوز مشخص شود، از طراحی آزمایش به روش گام به گام استفاده و نمونه‌ها مورد آزمایش قرارگرفتند. از آنجایی که یکی از اهداف مطالعه کاهش میزان مصرف پلی‌الکترولیت در فرایند تغلیظ لجن می‌باشد، میزان پلی الکترولیت مورد استفاده در این مطالعه بر اساس آزمایش های اولیه تحقیق ۱ میلی‌گرم برگرم معادل نصف میزان مصرف آن در تصفیه خانه فاضلاب در نظر گرفته شد. دوزهای تزریق حالت‌دهنده‌ها به لجن(نسبت کربن فعال و لجن‌های آب به لجن فاضلاب) به همراه ۱ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت کاتیونی، برابر ۵۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۲۵۰ ، ۳۰۰ ، ۳۵۰، ۴۰۰، ۴۵۰ و ۵۰۰ میلی‌گرم به گرم جامدات خشک لجن بر مبنای مطالعات قبلی (Masihi and Badalians Gholikandi, 2020) و امکان‌پذیری انجام آن در مقیاس واقعی انتخاب گردید. تاثیر استفاده از DBS، STS، WMC و WSCA بر میزان SVI، TTF و DSدر فرایند تغلیظ به ترتیب مطابق با روش‌های 2710D، 2710H و 2540B استاندارد متد (APHA, 2012) مورد بررسی قرار گرفت. برای اندازه‌گیری pH نمونه‌ها نیز از دستگاه

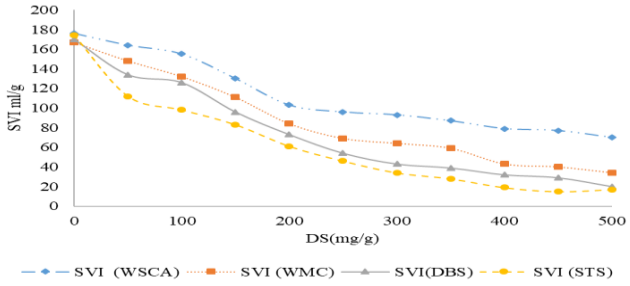
HANNA pH meter-211 استفاده شد.

نتایج

تاثیر استفاده از انواع لجن تصفیه‌خانه آب و کربن فعال بر میزان SVI در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

نتایج حاصل از بررسی تاثیر استفاده از انواع لجن تصفیه‌خانه آب و کربن فعال بر میزان SVI بر فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی در شکل ۱ مشاهده می‌گردد. شاخص حجمی لجن مطابق با تجربیات عملی بهره‌برداری بوده؛ اما به‌منظور کنترل جریان عادی فرآیند، بسیار سودمند است و جهت ارزیابی قابلیت تغلیظ و ته‌نشینی لجن فعال و دیگر سوسپانسیون‌های بیولوژیکی به کار می‌رود. در حالت دوز صفر، میزان SVI لجن بدون افزودن مواد حالت دهنده و پلی‌الکترولیت کاتیونی برابر ۲۳۰ ۱۰± ml/g بوده و با افزودن ۱ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت کاتیونی بدون افزودن مواد حالت‌دهنده‌ها (STS, DBS, WMC, WSCA) میزان SVI لجن مازاد بیولوژیکی از ۲۳۰ ml/g به ۱۷۰ ml/g (۲۱ درصد) رسیده و بعد از آن ثابت ماند در حالی که با افزودن مواد حالت‌دهنده به لجن فاضلاب قابلیت ته‌نشینی و تغلیظ بهبود یافته و بهترین عملکرد مربوط به لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب (STS) می‌باشد. کاهش SVI تا ۹۰ درصد با افزودن لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب و ۸۸ درصدی با لجن آبگیری شده (DBS) به دست آمده که نشان می‌دهد حضور کلروفریک در لجن در بهبود این امر موثر است. کربن فعال و لجن حاوی آن نیز به ترتیب ۶۰ و ۷۹ درصد میزان SVI را کاهش می‌دهند. در دوز مشخص ۳۰۰ میلی‌گرم‌برگرم، SVI لجن حالت‌دهی‌شده با تمام حالت‌دهنده‌ها کاهش ۸۰ درصدی داشته و به ۱۰۰ ml/g رسیده است که به عنوان لجن با قابلیت ته‌نشینی مناسب شناخته می‌شود.

حالت‌دهنده STS حاوی مقادیر بالای کلرورفریک باقیمانده از مرحله انعقاد و لخته‌سازی تصفیه آب می‌باشد. این مواد با ایجاد پل بین ذرات و تشکیل فلوک‌های بزرگتر و سنگین‌تر نسبت به سایر حالت‌دهنده‌ها موجب تسریع در فرایند ته‌نشینی لجن فاضلاب می‌شود (Gobena et al., 2020; Carleton et al., 2020; Likus et al., 2021). استفاده از STS در فرایندهای تغلیظ به روش ته‌نشینی ثقلی مناسب و اقتصادی خواهد بود. از آنجایی در فرایند ته‌نشینی اندازه و وزن فلوک‌ها موثر می‌باشد، کربن فعال به دلیل ساختار متخلخل و حفرات در سطح آن با جذب مواد کلوئیدی در حفرات خود سنگین‌تر شده و سریعتر ته‌نشین می‌شود (Hosseinlou and Taebi, 2010). همانطور که شکل ۲ نشان می‌دهد لجن تصفیه‌خانه آب سرعت بالاتری در ته نشینی لجن نسبت به کربن فعال دارد. WMC به دلیل حضور لجن تصفیه خانه آب عملکرد بهتری نسبت به WSCA داشته در تغلیظ ثقلی کارامدتر می باشد.



شکل ۲: تاثیر استفاده از کربن فعال (WSCA) لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب (STS)، لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه آب (DBS) لجن تغلیظ شده حاوی کربن فعال تصفیه‌خانه آب (WMC) بر میزان SVIدر فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

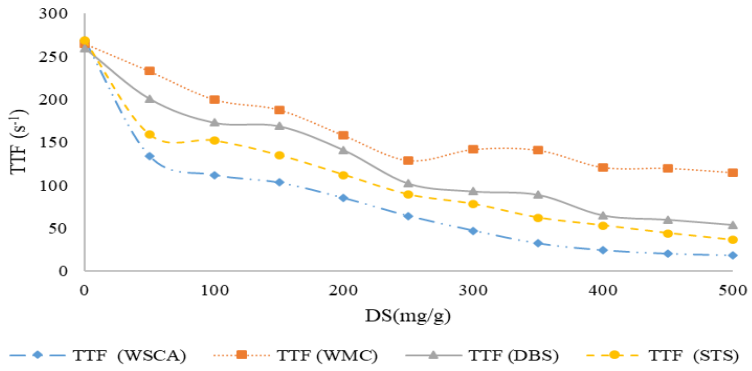
تاثیر انواع لجن تصفیه‌خانه آب و کربن فعال بر میزان TTF در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

تاثیر کارآمدی استفاده از WMC، DBS،STS و WSCA بر میزان TTF بر فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی در شکل ۳ قابل مشاهده است. این آزمایش جهت ارزیابی راهبری فرآیندهای تغلیظ و آبگیری یا تعیین نوع و دوز مواد

حالت‌دهنده مصرفی به کار می‌رود. میزان کاهش TTF همانطور که از نمودار مشخص می‌باشد ۹۵ درصد کاهش برای استفاده از کربن فعال و سپس به ترتیب ۸۶، ۷۹ و ۵۶ درصد برای STS، DBS و WMC در دوز تزریق ۵۰۰ میلی‌گرم‌برگرم اتفاق می‌افتد.

برای دست یابی به TTF برابر $100\ s^{-1}$ بدون افزودن لجن تصفیه‌خانه آب و سایر مواد افزودنی نیاز به ۲ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت کاتیونی برای حالت دهی در حالت بهره‌برداری تصفیه‌خانه فاضلاب تهران است. با افزودن به ترتیب ۲۵۰، ۲۲۰ و ۱۵۰ میلی‌گرم‌برگرم برای STS،DBS و WSCA به همراه ۱ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت کاتیونی TTF به عدد $100\ s^{-1}$رسیده و میزان مصرف پلی‌الکترولیت کاتیونی نیز به مقدار ۵۰ درصد کاهش یافته است. همچنین WMC در دوز ۲۵۰ میلی‌گرم‌برگرم با ۱ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت به TTF برابر ۱۲۹ رسیده که بدون آن به ۲ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت برای رسیدن به TTF، $129\ s^{-1}$ لازم بود.

حضور مواد منعقدکننده و کربن فعال باعث کاهش زمان صاف سازی با فیلتر می‌شود. در لجن تصفیه‌خانه آب مواد منعقد کننده با تشکیل فلوک‌های بزرگتر باعث آزاد شدن آب پیوندی شده و همچنین مواد معدنی مانند ماسه به عنوان سازند فیزیکی عمل کرده و موجب بهبود فرایند تغلیظ می‌شود STS به دلیل دارا بودن میزان بالای کلرفریک نسبت به‌DBS به دلیل فرایندهای انعقاد در مرحله آبگیری لجن، عملکرد قابل توجهی دارد(Likus et al., 2021). کربن فعال نیز مانند یک سازند فیزیکی عمل کرده و با ایجاد کانال‌هایی در محیط لجن به بهبود فرایند تغلیظ کمک می‌کند. WMC در آزمایش TTF کارایی پایین‌تری نسبت به سایر مواد داشته است، با بررسی نتایج آزمایش‌های سایر پارامترها و مشخصات لجن دلیل این کاهش می‌تواند به دلیل تشکیل فلوک‌های بزرگ یعنی D90 بزرگتر نسبت به بقیه حالت‌دهنده‌ها باشد و می‌تواند در آزمایش TTF خروج آب را با مشکل مواجه سازد(Zhang et al., 2019).

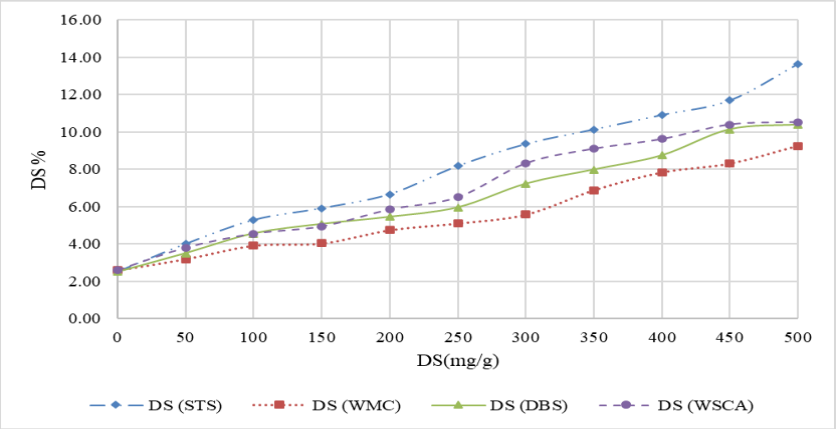


شکل ۳: تاثیر استفاده از کربن فعال (WSCA) لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب (STS)، لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه آب (DBS) لجن تغلیظ شده حاوی کربن فعال تصفیه‌خانه آب (WMC) بر میزان TTF در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

تاثیر انواع لجن تصفیه‌خانه آب و کربن فعال بر میزان DS در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

میزان جامدات خشک لجن تحت تاثیر مواد افزوده شده مطابق شکل ۴ افزایش پیدا می‌کند. بیشترین مقدار افزایش DS در زمان افزودن لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب اتفاق افتاده و از ۲٫۵ درصد به ۱۴ درصد می رسد. کمترین میزان افزایش DS با افزودن لجن حاوی کربن فعال (WMC) از ۲٫۵ درصد به ۹ درصد در دوز ماکزیمم اتفاق می افتد. افزایش میزان جامدات خشک در لجن به دو دلیل اتفاق می افتد. دلیل اول به خاطر حضور خود مواد افزودنی که از دوز ۵۰ تا ۵۰۰ میلی گرم بر گرم تزریق می‌شود، میزان جامدات را از ۵ تا ۵۰ درصدجامدات خشک افزایش می‌دهد و دلیل دوم تاثیری که این مواد در بهبود فرایند تغلیظ لجن به عنوان کمک منعقد کننده می‌گذارند. میزان مواد جامد لجن در

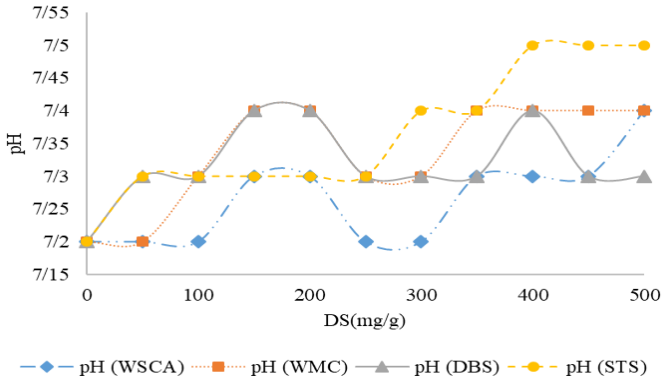
نمونه‌های حالت‌دهی شده به اندازه درصد وزنی مواد افزوده شده اضافه می‌شود و به همان نسبت DS لجن افزایش پیدا می‌کند. از سوی دیگر با توجه به خصوصیات فیزیکی و شیمیایی این مواد، افزودن آن‌ها موجب تسریع در تخلیه آب آزاد لجن شده و با کاهش حجم لجن، غلظت مواد جامد در آن افزایش می‌یابد (Hosseinlou and Taebi, 2010; Likus et al., 2021). با توجه به اینکه میزان جامدات خشک بهینه جهت ورود به مرحله هضم در حدود ۵ درصد می‌باشد، میزان بهینه دوز هر یک از حالت دهنده‌ها بر اساس عملکرد آن‌ها در تغلیظ لجن فاضلاب به حدود ۵ درصد به دست می‌آید. با توجه به شکل ۴ میزان دوز STS، WSCA، DBS و WMC برای رسیدن به DS برابر ۵ درصد به ترتیب در حدود ۱۰۰، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم‌برگرم می‌باشد. همچنین این نتایج با تغییرات میزان SVI همگرایی بیشتری دارند و بنابراین در این مطالعه به عنوان دوز بهینه در نظر گرفته می‌شوند.



شکل ۴: تاثیر استفاده از کربن فعال (WSCA) لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب (STS)، لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه آب (DBS) لجن تغلیظ شده حاوی کربن فعال تصفیه‌خانه آب (WMC) بر میزان DS در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

تاثیر انواع لجن تصفیه‌خانه آب و کربن فعال بر میزان pH در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

مواد افزوده شده تاثیر قابل توجهی بر pH لجن نداشته است(شکل ۵) و تغییرات رخ داده به دلیل مشخصات فیزیکی و شیمیایی مواد افزوده شده می‌باشد. pH لجن مازاد بیولوژیکی و مواد افزوده شده به آن در یک محدوده pH (۷) قرار دارند و از آنجایی که مواد افزوده شده بیشتر به عنوان حالت‌دهنده‌های فیزیکی عمل می‌کنند، در فرایند تغلیظ واکنش شیمیایی رخ نمی‌دهد و در نتیجه pH نیز تغییر قابل توجهی نکرد. مواد حالت‌دهنده با تغییر بافت لجن و دانه‌بندی آن موجب بهبود فرایند تغلیظ می‌شود(Qi et al., 2011).

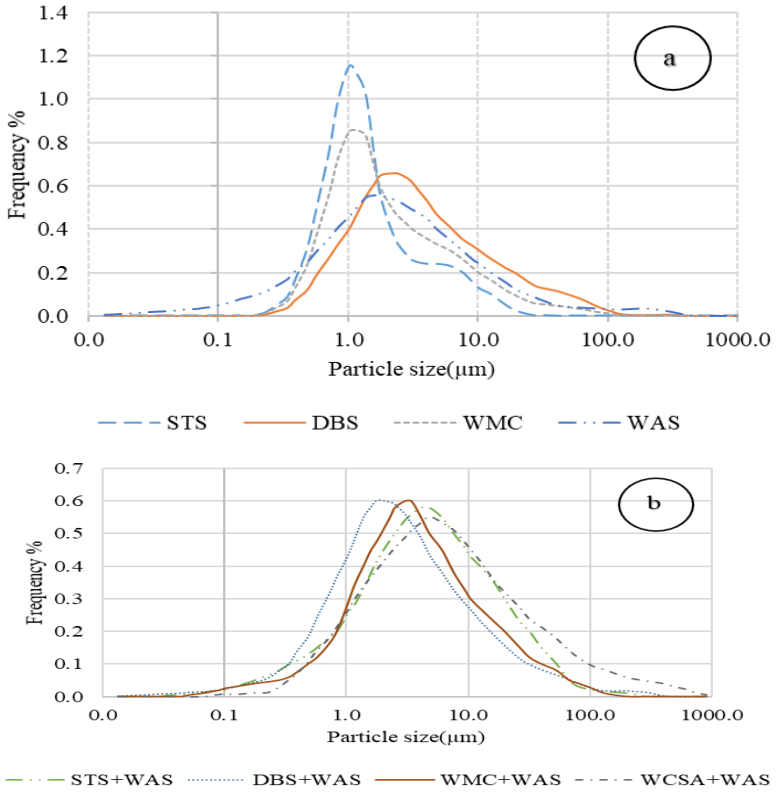


شکل ۵: تاثیر استفاده از کربن فعال (WSCA) لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب (STS)، لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه آب (DBS) لجن تغلیظ شده حاوی کربن فعال تصفیه‌خانه آب (WMC) بر میزان pH در فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی

تغییرات اندازه ذرات در فرایند آبگیری

توزیع اندازه ذرات در عملکرد فرایندها به دلیل تغییر در ساختار لجن می‌تواند موثر باشد. با افزودن مواد معدنی بر پایه کربن و آهن می‌توان از آن‌ها به عنوان سازند فیزیکی در ساختار لجن استفاده کرد تا در فرایند تغلیظ تاثیرات مثبتی داشته باشد(Qi et al., 2011). توزیع اندازه ذرات لجن تغلیظ تصفیه‌خانه آب (STS)، لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه آب (DBS) لجن تغلیظ شده حاوی کربن فعال تصفیه‌خانه آب (WMC) و لجن مازاد بیولوژیکی(WAS) در شکل ۶ ارائه شده است.

افزودن حالت‌دهنده به لجن می‌تواند محتوای جامد لجن را از نظر مشخصات فیزیکی مانند میزان مواد جامد، ترکیب آن‌ها، تخلخل، تراکم‌پذیری اسکلت بندی و دانه‌بندی لجن تغییر دهد (Chen et al., 2019). توزیع اندازه ذرات لجن قبل و بعد از حالت‌دهی در دوز بهینه با WMC، DBS، STS و WSCA در شکل ۶ (a) و (b) نشان داده شده است. همانطور که از شکل ۶ (b) مشخص می‌باشد توزیع اندازه ذرات در لجن بعد از حالت‌دهی به دلیل انعقاد و لخته‌سازی تغییر کرده و درشتر می‌شوند. حالت‌دهی لجن فاضلاب با مواد افزوده شد منجر به تشکیل ذرات با اندازه بزرگتر شده و یا این مواد افزوده شده به عنوان هسته مرکزی فلوک‌ها و ذرات جدید تشکیل شده قرار می‌گیرند. تغییرات دانه‌بندی در لجن حالت‌دهی شده نسبت به لجن مازاد بیولوژیکی به این صورت می‌باشد که D10، D50 و D90 به ترتیب ۱,۶ تا ۲,۸ برابر، ۱,۲ تا ۲,۲ برابر و ۱,۱ تا ۴,۳ برابر نسبت به لجن مازاد بیولوژیکی افزایش داشته است(جدول ۳).



شکل ۶: توزیع اندازه ذرات لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب (STS)، لجن آبگیری شده تصفیه‌خانه آب (DBS) لجن تغلیظ شده حاوی کربن فعال تصفیه‌خانه آب (WMC) و لجن مازاد بیولوژیکی(WAS)، a) قبل از حالت‌دهی، b) بعد از حالت‌دهی

مواد حالت‌دهنده افزوده شده در لجن، میزان فلوک‌های بزرگتر را افزایش داده و متوسط اندازه ذرات را تغییر داده است. نکته مهمی که وجود دارد کربن فعال به دلیل ماهیت سخت خود و لجن تغلیظ شده به دلیل وجود کلروفریک، لخته‌های سفت و سختری نسبت به لجن آبگیری شده تشکیل می‌دهند که باعث کاهش بیشتر تراکم‌پذیری لجن

می‌شوند و آزمایش TTF که تحت فشار می‌باشد تاثیر افزودنشان بیشتر مشخص می‌شود. تفاوت ماهیت و ساختار کربن فعال و لجن آب آبگیری شده نیز در عملکرد آن‌ها تاثیرگذار می‌باشد. به طور کلی افزودن مواد حالت‌دهنده در دوز بهینه به کاهش ذرات ریز در شبکه کلوئیدی و تشکیل فلوک‌های درشتر و سفت و سخت کمک کرده و با بهبود فیلتراسیون لجن از مسدودسازی منافذ آن جلوگیری کرده و آب آزاد شده به راحتی از لجن تخلیه می‌شود. این افزایش اندازه ذرات با ناپایدارسازی کلوئیدها که معمولا به وسیله حالت‌دهنده‌های شیمیایی اتفاق می افتد (در اینجا از ۱ میلی‌گرم پلی‌الکترولیت کاتیونی و حالت‌دهنده‌های STS ، WSCA، DBS و WMC به ترتیب ۱۰۰، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم‌برگرم استفاده شده است)، به تجمیع ذرات ریز لجن کمک شده و به لخته‌های بزرگ تبدیل می‌شوند(Guo et al., 2011).

جدول ۳: توزیع اندازه ذرات لجن در D10، D50 و D90

حالت دهنده	D10(µm)	D50(µm)	D90(µm)
WAS	3.5	18	105
STS+WAS	7	34	265
DBS+WAS	5.7	22	125
WMC+WAS	8.3	32	453
WCSA+WAS	10	41	315

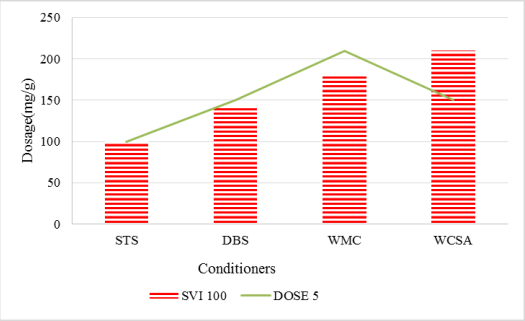
بحث

فرایند تغلیظ با هدف افزایش غلظت مواد جامد لجن انجام می‌شود. با تغلیظ لجن حجم سازه های مورد نیاز و مواد مصرفی در فرایندهای بعدی شامل هضم و آبگیری کاهش می‌یابد (Puchajda and Oleszkiewicz, 2008; Cho et al., 2010; Rahmani et al., 2013). از سوی دیگر بسته به نوع مواد افزوده شده این مواد می‌تواند در عملکرد فرایند هضم نیز تاثیرگذار باشند (Kapp, 1984; Garlicka et al., 2020). افزودن لجن تصفیه‌خانه آب و کربن فعال، اندیس حجمی لجن (SVI) و مدت زمان صاف سازی (TTF) را به میزان قابل قبولی کاهش داده‌اند. تغییرات pH در فرایند تغلیظ قابل توجه نبوده و مقادیر بدست آمده برای فرایند هضم بی‌هوازی مناسب می‌باشد. لجن تصفیه‌خانه آب و کربن فعال موجب بهبود فرایند تغلیظ شده و با استفاده از این مواد افزوده شده در دوزهای بهینه، میزان مصرف پلی‌الکترولیت نیز کاهش پیدا می‌کند. بررسی تغییرات جامدات خشک به منظور مقایسه عملکر مواد حالت‌دهنده به دلیل نزدیک بودن نتایج آن با پارامترهای بهره‌برداری در تصفیه‌خانه فاضلاب پارامتر مناسبی می‌باشد. با توجه به نتایج آزمایش DS، حالت‌دهنده‌های STS، WSCA، DBS و WMC به ترتیب در دوزهای پایین‌تری میزان جامدات خشک را از ۲,۵ درصد به ۵ درصد افزایش داده‌اند. با بررسی دقیقتر نتایج بدست آمده از آزمایشات فرایند تغلیظ و تغییرات جامدات خشک در دوزهای بهینه مواد افزودنی مشاهده می‌شود لجن تصفیه‌خانه آب نسبت به کربن فعال کارایی بالاتری در تغلیظ لجن داشته است. از آنجایی که انجام آزمایش SVI تحت فشار نبوده نشان می‌دهد احتمال حضور مواد منعقد کننده (کلروفریک فعال نشده) در لجن آب تغلیظ شده وجود داشته و این مواد در زمان حالت‌دهی لجن آب و فاضلاب فعال شده و موجب بهبود ته‌نشینی لجن می‌شود، همچنین حضور مواد معدنی باعث ایجاد تخلخل در محیط لجن شده و به تخلیه آب آزاد لجن کمک کرده است (Masihi and Badalians Gholikandi, 2020). ارتباط بین میزان دوز مورد نیاز برای رسیدن به جامدات خشک ۵ درصد که برای فرایند هضم بی‌هوازی مورد نیاز است و رسیدن SVI به ۱۰۰ml/g که نشان‌دهنده ته‌نشینی و تغلیظ شوندگی مناسب لجن

می‌باشد در شکل ۷ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزودن دوز بهینه مورد نیاز برای رسیدن به جامدات خشک ۵ درصد، میزان SVI لجن نیز بجز حالت‌دهنده WSCA به عدد ml/g ۱۰۰ رسیده که نشان از قابلیت ته‌نشینی مناسب لجن می‌باشد. در دوز mg/g ۱۵۰ WSCA میزان جامدات خشک ۵ درصد بوده و SVI مطابق شکل ۲ برابر ml/g ۱۳۰ می‌باشد که کمتر از ml/g ۱۵۰ بوده و عدد قابل قبولی است.

از سوی دیگر در آزمایش تعیین مدت زمان صاف سازی به دلیل اعمال فشار ۸۰ کیلوپاسکال در طول آزمایش، لجن تحت فشار قرار گرفته و کربن فعال و مواد دانه‌ای موجود در لجن و فلوک‌های تشکیل شده درشت دانه، همچون سازندهای اسکلتی عمل کرده و مدت زمان صاف سازی را کاهش داده‌اند. در این آزمایش عملکرد کربن فعال به دلیل ساختار سخت و همچنین وجود حفرات در سطح آن در زمان مکش، کیک لجن را تبدیل به یک محیط متخلخل با کانال‌های ریز نموده که موجب تسریع در فرایند تخلیه آب لجن شده است (Lawler et al., 1986; Zhang et al., 2019).

مطابق شکل‌های ۲ تا ۴، در دوزهای بالاتر از بهینه انتخاب شده برای حالت‌دهنده‌ها میزان SVI و TTF کاهش و میزان جامدات خشک افزایش می‌یابد، ولی در دوزهای بهینه علاوه بر بهبود فرایند تغلیظ، هزینه‌های بهره برداری نیز کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۷: ارتباط بین دوزاژ مورد نیاز حالت دهنده‌ها برای رسیدن لجن به SVI 100 و درصد جامدات خشک ۵ درصد

نتیجه‌گیری

با مدیریت مناسب تصفیه لجن حاصل از فرآیندهای تصفیه آب و فاضلاب می‌توان از سویی در هزینه های بهره برداری آن‌ها صرفه جویی نمود و از سوی دیگر از اثرات جبران ناپذیر ناشی از تخلیه نامناسب در محیط‌زیست جلوگیری کرد. نتایج این مطالعه نشان دادند لجن تغلیظ شده تصفیه‌خانه آب و کربن فعال در کاهش SVI، TTF و مصرف پلی‌الکترولیت و همچنین در افزایش غلظت مواد جامد در لجن تصفیه‌خانه فاضلاب موثر می‌باشد. حالت‌دهنده‌های STS و DBS به دلیل دارا بودن کلرفریک در کاهش SVI لجن نتایج بهتری داشتند در صورتی که کربن فعال در کاهش TTF نتایج بهتری داشت. کاهش ۵۰ درصدی استفاده از پلی‌الکترولیت با افزودن حالت‌دهنده‌های STS، WSCA، DBS و WMC به ترتیب در دوزهای ۱۰۰، ۱۵۰، ۱۵۰ و ۲۲۰ میلی‌گرم‌برگرم از دیگر مزایای استفاده از مواد مورد بررسی در این مطالعه بوده است. لجن تصفیه‌خانه آب می‌تواند به دو روش شیمیایی و فیزیکی به فرایند تغلیظ لجن کمک کند. لجن تصفیه‌خانه آب به دلیل داشتن مواد منعقد کننده با خنثی‌سازی بار ذرات در ایجاد پل بین ذرات و تشکیل فلوک‌های درشتر و سختر به عنوان حالت‌دهنده شیمیایی عمل کرده و تغلیظ لجن را تسهیل می‌بخشد و از سوی دیگر به دلیل تشکیل فلوک‌های درشت و سخت و مواد معدنی آن مانند یک حالت‌دهنده فیزیکی تغلیظ لجن را بهبود بخشد. کربن فعال با ایجاد ساختار متخلخل در لجن، باعث تغییر ساختار لجن شده و با کاهش تراکم‌پذیری به عنوان یک حالت‌دهنده فیزیکی موجب بهبود فرایند تغلیظ لجن مازاد بیولوژیکی می‌شود. بنابراین در صورتی که مدیریت مناسب در بخش بهره برداری تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صورت پذیرد این راهکار می‌تواند با در نظر گرفتن کیفیت لجن تصفیه‌خانه‌ها به عنوان گزینه‌ای برای بهبود در فرایند تغلیظ در نظر گرفته شود. بدین منظور بررسی استفاده از مواد حالت‌دهنده در مقیاس نیمه صنعتی و صنعتی توصیه می‌شود.

یادداشت‌ها

1. Waste Activated Sludge
2. Sludge Volume Index
3. Time To Filtration

4. Drying of Solid
5. Bruner-Emmet-Teller
6. Walnut Shell Carbon Active
7. Sedimentation Tank Sludge
8. Dry Beds Sludge
9. Water sludge Mix Carbon

فهرست منابع

APHA (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater(22nd edition)*. Washington D.C, American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) and Water Environment Federation (WEF)

Gobena, B., Adela, Y., Serbessa, G. G., & Alemayehu, E. (2020). Evaluation of Residual Al3+ and Fe3+ Concentration in Blended Alum-Ferric Chloride Coagulant Use. *Int J Water Wastewater Treat*, 6(3).

Carleton, G., H. Al daach and T. J. Cutright (2020). "Laboratory evaluation of alum, ferric and ferrous-water treatment residuals for removing phosphorous from surface water." *Heliyon*. 6(8), e04681.

Chen, C., Q. Xiong, S. J. Jiang, Y. Q. Dong and H. B. Hou (2019). "Effect of rice husk flour size on sewage sludge dewaterability during composite conditioning with persulfate." *Desalination and Water Treatment*. 168, 340-347.

Cho, K. W., C. M. Chung, Y. J. Kim and T. H. Chung (2010). "Continuous clarification and thickening of activated sludge by electrolytic bubbles under control of scale deposition." *Bioresource Technology*. 101(9), 2945-2951.

Collard, M., B. Teychené and L. Lemée (2017). "Comparison of three different wastewater sludge and their respective drying processes: Solar, thermal and reed beds – Impact on organic matter characteristics." *Journal of Environmental Management. 203, 760-767.*

Epa (1993). "*Biosolids Laws and Regulations*." (Standards for the Use or Disposal of Sewage): 2015-2015.

Farhat, S., F. Kamel, Y. Jedoui and M. Kallel (2012). "The relation between the RO fouling membrane and the feed water quality and the pretreatment in Djerba Island plant." *Desalination* 286: 412-416.

Garlicka, A., M. Zubrowska-Sudol, K. Umiejewska, O. Roubinek, J. Palige and A. Chmielewski (2020). "Effects of thickened excess sludge pre-treatment using hydrodynamic cavitation for anaerobic digestion." *Energies*. 13(10), 2483.

Guo, J., S. Jiang and Y. Pang (2019). "Rice straw biochar modified by aluminum chloride enhances the dewatering of the sludge from municipal sewage treatment plant." *Science of the Total Environment. 654, 338-344.*

Guo, Z., L. Ma, Q. Dai, R. Ao, H. Liu, Y. Wei and L. Mu (2020). "Role of extracellular polymeric substances in sludge dewatering under modified corn-core powder and sludge-based biochar pretreatments." *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 202, 110882.

Guo, Z., L. Ma, Q. Dai, J. Yang, R. Ao and L. Wang (2019). "Dewatering performance of sewage sludge under pretreatment with modified corn-core powder." *Science of the Total Environment*. 684, 402-412.

Hosseinlou, R. and A. Taebi (2010). "Comparison of influence of walnut shell, clay and powdered activated carbon on settleability of activated sludge." *Journal of Environmental Studies*. 63-70.

Joseph-Soly, S., T. Saldanha, A. Nosrati, W. Skinner and J. Addai-Mensah (2019). "Improved dewatering of clay rich mineral dispersions using recyclable superabsorbent polymers." *Chemical Engineering Research and Design*. 142, 78-86.

Kapp, H. (1984). "Sludge Thickening Prior to Anaerobic Digestion." *Water Science and Technology* **16**(12): 419-432.

Lawler, D. F., Y. J. Chung, S. J. Hwang and B. A. Hull (1986). "Anaerobic Digestion: Effects on Particle Size and Dewaterability." *Journal of the Water Pollution Control Federation*. 1107-1117.

Likus, M., M. Komorowska-Kaufman, A. Pruss, Ł. Zych and T. Bajda (2021). "Iron-based water treatment residuals: Phase, physicochemical characterization, and textural properties." *Materials*. 14(14), 3938.

Masihi, H. and G. Badalians Gholikandi (2020). "Using acidic-modified bentonite for anaerobically digested sludge conditioning and dewatering." *Chemosphere*. 241, 125096.

Puchajda, B. and J. Oleszkiewicz (2008). "Impact of sludge thickening on energy recovery from anaerobic digestion." *Water Science and Technology. 57(3), 395-401.*

Qi, Y., Thapa, K. B., & Hoadley, A. F. (2011). Application of filtration aids for improving sludge dewatering properties–a review. *Chemical Engineering Journal*, 171(2), 373-384.

Rahmani, A. R., D. Nematollahi, K. Godini and G. Azarian (2013). "Continuous thickening of activated sludge by electro-flotation." *Separation and Purification Technology*. 107, 166-171.

Saqib, A. N. S., Waseem, A., Khan, A. F., Mahmood, Q., Khan, A., Habib, A., & Khan, A. R. (2013). Arsenic bioremediation by low cost materials derived from Blue Pine (Pinus wallichiana) and Walnut (Juglans regia). *Ecological Engineering*, 51, 88-94.

Turovskiy, I. S., & Mathai, P. K. (2006). Wastewater sludge processing. John Wiley & Sons.

Black, Crow, Eidsness, & United States. Environmental Protection Agency. Office of Technology Transfer. (1974). *Process design manual for sludge treatment and disposal*. US Environmental Protection Agency, Technology Transfer.

Wang, S., Yang, Y. K., Chen, X. G., Lv, J. Z., & Li, J. (2017). Effects of bamboo powder and rice husk powder conditioners on sludge dewatering and filtrate quality. *International biodeterioration & biodegradation*, 124, 288-296.

Wójcik, M. (2020). Investigation of filtration properties and microbiological characteristics of sewage sludge after physical conditioning with the use of ground walnut shells. *Powder Technology*, 361, 491-498.

Wu, B., Dai, X. and Chai, X., (2020). Critical review on dewatering of sewage sludge: Influential mechanism, conditioning technologies and implications to sludge re-utilizations. *Water research*, 180, p.115912.

Wu, Y., Zhang, P., Zhang, H., Zeng, G., Liu, J., Ye, J., ... & Gou, X. (2016). Possibility of sludge conditioning and dewatering with rice husk biochar modified by ferric chloride. *Bioresource Technology*, 205, 258-263.

Yi, X., Zhong, H., Xie, M. and Wang, X., (2021). A novel forward osmosis reactor assisted with microfiltration for deep thickening waste activated sludge: performance and implication. *Water Research*, 195, p.116998.

Zhang, Q., Hu, J., Lee, D. J., Chang, Y., & Lee, Y. J. (2017). Sludge treatment: current research trends. *Bioresource technology*, 243, 1159-1172.

Zhang, X., Kang, H., Zhang, Q., Hao, X., Han, X., Zhang, W., & Jiao, T. (2019). The porous structure effects of skeleton builders in sustainable sludge dewatering process. *Journal of environmental management*, 230, 14-20.

Zhao, L., Z. Liu, F. Soyekwo, C. Liu, Y. Hu and Q. J. Niu (2022). "Exploring the feasibility of novel double-skinned forward osmosis membranes with higher flux and superior anti-fouling properties for sludge thickening." *Desalination* **523**: 115410-115410.

Zhu, C., F. Li, P. Zhang, J. Ye, P. Lu and H. Wang (2018). "Combined sludge conditioning with NaCl-cationic polyacrylamide-rice husk powders to improve sludge dewaterability." *Powder Technology* **336**: 191-198.