نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال هفتم، شماره ۲، صفحات ۳۴-۴۱، تابستان ۱۴۰۱

Journal of Water and Wastewater
Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 7, No. 2, PP. 34-41, Summer 2022
DOI: 10.22112/JWWSE.2022.304696.1284

مقاله پژوهشی

بررسی اثر هضم هوازی لجن بر کیفیت آبگیری لجن مازاد سیستم SBR تصفیه‌خانه شهر یزد

مسعود طاهریون*[۱]، بهزاد آقابابایی[۲]، سجاد محمدی اسفرجانی[۲]، سید وحید غلمان[۳] و اکبر صالحی وزیری[۳]

۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
۳- کارشناس ارشد، شرکت آب و فاضلاب استان یزد، یزد، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: taheriyoun@iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۷
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۹
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

فرآیندهای تصفیه و دفع لجن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بخش زیادی از هزینه‌های کل تصفیه را شامل می‌شوند. یکی از بخش‌های پرهزینه تصفیه لجن، آمایش شیمیایی است. بررسی تأثیر زنجیره فرآیندی بر آمایش و قابلیت آبگیری در بهینه‌سازی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش کیفیت لجن خروجی می‌تواند مؤثر باشد. در این مقاله تأثیر هضم هوازی لجن مازاد تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد به‌روش SBR بر قابلیت آبگیری آن مورد بررسی قرارگرفت. به این منظور نمونه لجن مازاد تصفیه‌خانه در آزمایشگاه در زمان‌های ماند مختلف از ۱/۵ تا ۷ روز هوادهی شد. سپس قابلیت آبگیری لجن به دو روش آزمایش مقاومت ویژه فیلتراسیون (SRF) و زمان فیلتراسیون (TTF) در دو حالت با و بدون آمایش شیمیایی با پلی آکریل آمید کاتیونی اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد هوادهی لجن تا ۳ روز بدون آمایش بهترین قابلیت آبگیری لجن را ایجاد می‌کند. برای حالت آمایش با پلیمر بعد از هوادهی بهترین نتیجه تا زمان ۱/۵ روز به‌دست آمد که موجب شد در دوز بهینه قابلیت آبگیری لجن تا ۴/۵ برابر بهبود پیدا کند. در این حالت مقدار دوز پلیمر نسبت به حالت آمایش لجن هوادهی نشده کاهش ۳۰ درصد را نشان داد. این مسئله بیانگر اثر زمان ماند هضم بر کیفیت آبگیری است که در ابتدای فرآیند، تجزیه مواد سلولی موجب بهبود آزاد شدن آب از ذرات جامد شده ولی ادامه آن به‌دلیل کاهش اندازه ذرات و تبدیل به مواد کلوئیدی، قابلیت آبگیری را کاهش می‌دهد.

کلمات کلیدی: هضم هوازی، آبگیری لجن، آمایش، مقاومت ویژه فیلتراسیون

Research Paper

Study of the Impact of Aerobic Digestion on the Waste Sludge Dewaterability of SBR System of Yazd Wastewater Treatment Plant

Masoud Taheriyoun*[1], BehzadAghababaei[2], Sajjad Mohammadi Esfarjani[2], Vahid Ghelman[3] and Akbar Salehi Vaziri[3]

1- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2- M.Sc. Student, Department of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
3- Senior Expert, Yazd Water and Wastewater Company, Yazd, Iran.
*Corresponding Author, Email: taheriyoun@iut.ac.ir

Received: 18/09/2021
Revised: 11/12/2021
Accepted: 30/12/2021
© IWWA

Abstract

Sludge treatment and disposal processes in wastewater treatment plants account for a significant portion of the total treatment costs. One of the most expensive parts of sludge treatment is chemical conditioning. Study of the effect of process chain on the conditioning and dewaterability can effectively optimize and reduce operating costs and increase the quality of effluent sludge. This paper investigates the impact of aerobic digestion of waste sludge in Yazd wastewater treatment plant by SBR method on its dewaterability. For this purpose, the waste sludge sample of the plant was aerated in the laboratory at different residence times from 1.5 to 7 days. Then the dewaterability of the sludge was measured by two methods of Specific Resistance to Filtration (SRF) and Tests of Time of Filtration (TTF) in two cases with and without chemical conditioning with cationic polyacrylamide. The results showed that sludge aeration for up to 3 days without conditioning led to the best sludge dewaterability. The best results were obtained at 1.5 days aeration for the conditioning mode with polymer, which improved the dewaterability up to 4.5 times in the optimum polymer dosage. In this case, the polymer dosage decreased by 30% compared to the non-aerated conditioned sludge. It indicates the effect of digestion retention time on dewaterability. At the beginning of the process, the decomposition of cellular material improves the release of water from solid particles. Still, its continuation reduces the dewatering capability due to reduced particle size and conversion to colloidal materials.

Keywords: Aerobic digestion, Conditioning, Sludge dewatering, Specific resistance to filtration (SRF)

۱- مقدمه

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به‌روش لجن فعال، تصفیه و دفع لجن یک بخش پرهزینه است که در حدود ۳۵ تا ۵۰ درصد کل هزینه‌های بهره‌برداری را به‌خود اختصاص می‌دهد (امانعلی‌خانی و همکاران، ۱۳۹۴). هدف استفاده از سیستم‌های تثبیت و هضم لجن جلوگیری از فساد پذیری لجن، کاهش بو و کاهش پاتوژن‌ها و تولید لجنی پایدار و بی‌خطر برای دفع است. طبق گزارش‌ها، حدود ۴۵ درصد از هضم لجن در آمریکا به روش هوازی صورت می‌گیرد (Woo, 2008). از جمله مزایای سیستم تثبیت هوازی آسان بودن بهره‌برداری، کاهش بیشتر مواد آلی موجود در لجن نسبت به سیستم‌های بی‌هوازی و پتانسیل کمتر برای تولید بو است (Turovskiy, 2006). فرآیند خودخوری میکروارگانیزم‌ها در هضم هوازی علاوه‌بر کاهش بار آلی و پاتوژن‌ها، جرم و حجم لجن را کاهش می‌دهد و نسبت به هضم بی‌هوازی اثربخشی بهتر در زمان کمتر دارد (Liu and Wu, 2020).

برای کاهش هزینه‌های راهبری تاسیسات تصفیه و دفع لجن لازم است حجم لجن تولیدی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کاهش یابد. حدود ۹۵ تا ۹۹ درصد لجن حاصل از تصفیه فاضلاب از آب تشکیل شده است. معمولاً جداسازی آب از لجن به‌منظور تغلیظ یا آبگیری آن به آسانی قابل انجام نیست. یکی از روش‌های کاهش حجم لجن استفاده از مواد منعقدکننده به‌منظور افزایش آبگیری از لجن است (Turovskiy, 2006). هدف از آمایش لجن، افزایش آبگیری لجن با صرف انرژی کمتر، کاهش هزینه‌های حمل و نقل و دفع لجن و کاهش خطرات محیط‌زیستی است. آمایش لجن سبب تجمع ذرات ریز پراکنده و کلوئیدی موجود در لجن و آزاد شدن آب پیوندی موجود میان آن‌ها می‌شود.

امروزه پلی‌الکترولیت‌ها در تصفیه آب و فاضلاب کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند (Wang et al., 2012). به‌دلیل مصرف مداوم این مواد آمایش شیمیایی یکی از بخش‌های پرهزینه تصفیه لجن در تصفیه‌خانه‌ها است. بررسی تأثیر زنجیره فرآیندی بر آمایش و قابلیت آبگیری در بهینه‌سازی و کاهش هزینه‌های بهره‌برداری و افزایش کیفیت لجن خروجی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی داشته باشد. یکی از سوال‌های موجود در بحث تثبیت و آبگیری لجن، اثر هاضم‌های هوازی بر میزان آبگیری لجن فاضلاب شهری است.

تحقیقات انجام شده اغلب نشان می‌دهد استفاده از هاضم‌های هوازی و بی‌هوازی باعث کاهش میزان آبگیری از لجن می‌شود (Turovskiy, 2006). هم‌چنین برخی مراجع از بهبود خاصیت آبگیری در هضم بی‌هوازی و کاهش خاصیت آبگیری در هضم هوازی شده است (Metcalf, 2014). در تحقیقی اثر پلی‌الکترولیت بر لجن هضم شده به‌روش بی‌هوازی نشان داد در روزهای اولیه هضم توانایی آبگیری افزایش و مقدار دز مصرفی منعقدکننده را نیز افزایش می‌دهد (Bruus,et al., 1993). در تحقیقی اثر فرآیند فنتون بر لجن هضم شده هوازی بررسی شد که نشان از بهبود ویژگی‌های آبگیری از لجن نسبت به لجن اولیه شد (Barbusiński and Filipek, 2000). Jie Ni et al. (2019) در مطالعه‌ای بر روی لجن هضم شده، اثر پرسولفات و نانو ذرات صفر ظرفیتی آهن را بر میزان آبگیری لجن بررسی کردند. نتایج، بهبود آبگیری لجن با استفاده از این مواد را تا ۸۰ درصد نشان می‌دهد. Turovskiy (2001) نشان داد آبگیری لجن با غلظت جامدات کم (تا ۱/۵ درصد) در روزهای ابتدایی هوادهی بهبود و از روز ۵ به بعد کاهش یافت که زمان بهینه برای آبگیری روز سوم بود. برای لجن با غلظت بالای جامدات (۲ درصد و بیشتر)، آبگیری با افزایش زمان هوادهی لجن کاهش می‌یافت. در پژوهش دیگر اثر پلی الکترولیت بر آبگیری لجن فعال و لجن فعال هضم هوازی شده نشان از بهبود آبگیری پس از هضم هوازی لجن نسبت به لجن اولیه داشت. در حالی‌که افزودن پلی الکترولیت به لجن هضم شده هوازی باعث کاهش آبگیری آن شد (Cydzik et al., 2020).

Zhang et al. (2016) اثر هوادهی لجن در زمان‌های کوتاه بر آبگیری بررسی کردند. نتایج نشان داد که میزان آبگیری لجن در زمان ۳ ساعت هوادهی بیشترین افزایش را دارد. در پژوهش حاضر تأثیر هضم هوازی لجن تصفیه‌خانه فاضلاب یزد به‌روش SBR بر قابلیت آبگیری آن برای لجن هوادهی نشده و هوادهی شده در زمان‌های مختلف با و بدون پلیمر زنی و با استفاده از روش مقاومت ویژه فیلتراسیون و زمان فیلتراسیون بررسی می‌شود.

۲- مواد و روش‌ها

در این تحقیق از دستگاه جارتست برای انعقاد و لخته‌سازی، پمپ هوا برای هوادهی به لجن، پلی اکریل آمید کاتیونی (CPAM) ساخت شرکت ZETAG آلمان به‌عنوان پلی الکترولیت مورد استفاده در تصفیه خانه یزد (جدول ۱)، دستگاه قیف بوخنر مطابق شکل ۱ برای تعیین پارامترهای SRF و TTF استفاده شد.

ابتدا ۵۰۰ میلی‌لیتر لجن را در بشر یک لیتری ریخته و محلول ۰/۰۵٪ از مواد آمایش‌دهنده پلی اکریل آمید کاتیونی ساخته می‌شود و به‌مقدار مشخص (براساس دوز در نظر گرفته شده) به بشر اضافه می‌شود. سپس بشر را در دستگاه جار تست قرار داده (براساس استاندارد ASTM D-2035) و محلول آمایش‌دهنده به

آن اضافه می‌شود. با توجه به تفاوت ماهیت لجن و آب در آزمایش جارتست براساس Wang et al. (2018) برای اختلاط سریع دستگاه روی دور تند به مدت ۲۰ ثانیه در سرعت ۱۷۰ دور در دقیقه و برای اختلاط آرام، دور کند به‌مدت ۳ دقیقه درسرعت ۷۰ نگه‌داشته می‌شود. پس از آن مقدار ۱۰۰ میلی‌لیتر از لجن آمایش یافته را جدا کرده و برای تست SRF به دستگاه قیف بوخنر انتقال داده می‌شود.

جدول ۱- مشخصات ماده منعقدکننده (پلی الکترولیت) استفاده شده در پژوهش

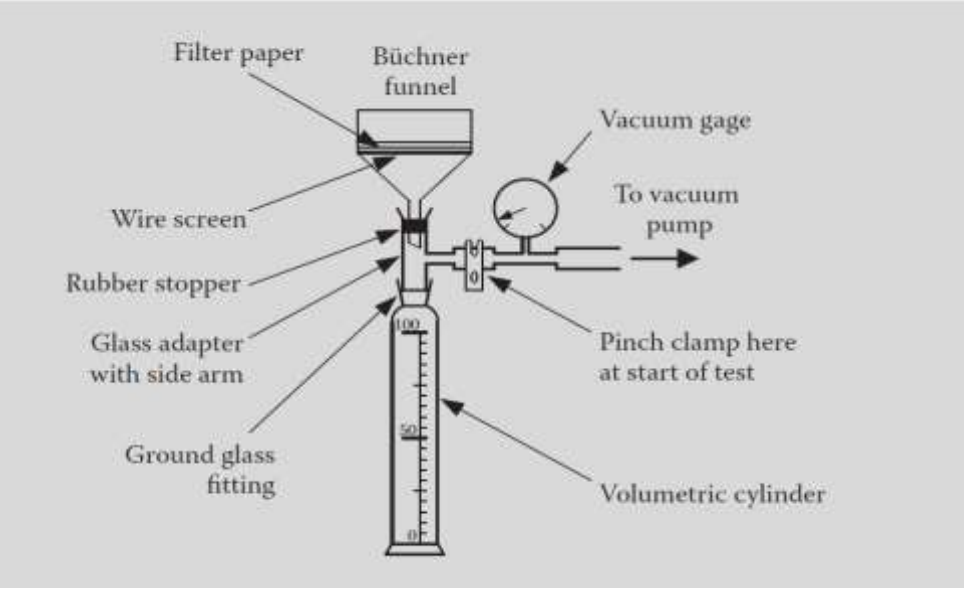
نوع ماده	شرکت سازنده	فرمول شیمیایی	وزن مولکولی (g/mol)
پلی‌اکریل‌آمیدکاتیونی (CPAM)	BASF (Germany) Zetag 8167	$[CH_2CHCONH_2]n]$	۸ میلیون

۲-۱- آزمایش مقاومت ویژه در برابر فیلتراسیون

SRF[1] یا پارامتر مقاومت ویژه در برابر فیلتراسیون، یکی از پارامترهای مهم برای اندازه‌گیری قابلیت آبگیری از لجن است. دستگاه مورد استفاده برای آزمایش SRF دستگاه قیف بوخنر است که اجزای این دستگاه شامل: پمپ خلاء، فشار سنج، قیف بوخنر، سه راهی، شیر قطع و وصل جریان هوا، استوانه مدرج و کاغذ صافی (واتمن شماره ۴۰ یا ۴۳) است. نمایی از دستگاه آزمایش قیف بوخنر در شکل ۱ آورده شده است. فرمول کلی محاسبه SRF به صورت رابطه (۱) است (Turovskiy, 2006).

$$SRF = \frac{2 \times S \times P \times A^2}{\mu \times w} \qquad (۱)$$

که S: شیب نمودار، t/v: نسبت زمان به حجم آب جمع شده تا زمان t برحسب (s/m^6)، p: فشار مکش برحسب (Pa)، A: سطح مقطع قیف بوخنر (m^2)، w : غلظت جامد خشک لجن (kg/m^3)، μ : لزجت مایع جمع شده در استوانه مدرج برحسب ($N.S/m^2$) است. نهایتا SRF برحسب (ترا متر بر کیلوگرم) (Tm/kg) به‌دست می‌آید.



شکل ۱- دستگاه قیف بوخنر برای آزمایش SRF و TTF

۲-۲- آزمایش زمان برای فیلتراسیون

TTF[2] یا زمان برای فیلتراسیون نیز یکی از پارامترهای مفید در ارزیابی قابلیت آبگیری از لجن است. TTF زمان لازم برای فیلتر شدن ۱۰۰ (یا ۲۰۰) میلی‌لیتر لجن به‌وسیله دستگاه قیف بوخنر در فشار خلاء ۵۰ kPa است، وقتی حجم آب عبوری از کاغذ صافی (حجم آب جمع شده در استوانه مدرج) به ۵۰ (۱۰۰) میلی‌لیتر می‌رسد. به‌عبارت دیگر TTF زمان لازم برای عبور نصف حجم لجن اولیه از کاغذ صافی است. در این پژوهش از ۱۰۰ میلی‌لیتر لجن برای به‌دست آوردن TTF استفاده شد (APHA et al., 2017). آزمایش‌ها در آزمایشگاه دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت.

۲-۳- فرآیند تصفیه فاضلاب و لجن شهر یزد

سیستم تصفیه فاضلاب یزد از نوع راکتور ناپیوسته متوالی SBR است که برای تصفیه دبی روزانه فاضلاب ۳۱۹۵۰ مترمکعب بر روز طراحی شده است. فاضلاب ابتدا از آشغالگیری و دانه‌گیری عبور نموده و به داخل راکتور SBR تخلیه می‌شود. پس از پرشدن راکتور (Filling) عملیات تصفیه شروع می‌شود. پس از انجام عملیات اختلاط و هوادهی و آنوکسیک، مراحل تصفیه بیولوژیکی پایان یافته و عملیات ته‌نشینی شروع می‌شود و این وضعیت تا تخلیهٔ کامل پساب رویی (Draining/Decanting) ادامه می‌یابد. لجن مازاد در هر تناوب کاری از سیستم تخلیه می‌شود.

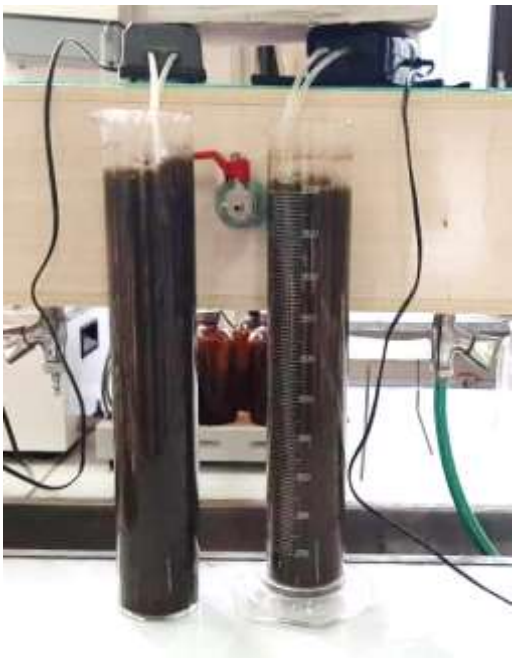
لجن اضافی خروجی از سیستم SBR به بخش تغلیظ لجن به‌روش تغلیظ نواری ثقلی انتقال می‌یابد. قبل از آن پلیمر به لجن اضافه می‌شود. پس از آن هاضم هوازی به‌صورت هوادهی عمقی و با زمان ماند متوسط ۴ روز به‌منظور دستیابی به لجن نیمه هضم شده درنظر گرفته شده است. هوادهی به‌صورت عمقی با بلوئر هوا انجام می‌شود. لجن خروجی از هاضم با پلیمر کاتیونی مخلوط شده و به سیستم ترکیبی (combined) تغلیظ و آبگیری لجن به‌روش نواری ثقلی و نواری فشاری منتقل می‌شود. لجن آبگیری شده خروجی از سیستم بلت پرس به‌مدت ۳ ماه به بسترهای لجن خشک کن منتقل می‌شود و نهایتا در زمین مجاور لجن خشک شده به‌مدت ۶ ماه انباشته می‌شود.

۲-۴- مراحل آزمایش

لجن مورد استفاده در این پژوهش از لجن ثانویه سیستم SBR تصفیه‌خانه یزد برداشت شد و بلافاصله برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه دانشکده عمران انتقال یافت. در آزمایشگاه، لجن مربوطه در دو استوانه مدرج هر کدام به حجم ۲ لیتر به‌وسیله پمپ هوا به‌صورت عمقی و پیوسته تا ۷ روز هوادهی شد (شکل ۲). آزمایش‌های SRF, TTF بر روی لجن خام و لجن هوادهی شده پس از زمان‌های ۱/۵، ۳ و ۷ روز در دو حالت با افزودن پلیمر و بدون پلیمر انجام گرفت. برای هر آزمایش سه تکرار انجام و میانگین آن گزارش شد. محدوده زمان هوادهی لجن با توجه به زمان ماند ۴ روز پیش‌بینی شده در طراحی سیستم برای هضم جزئی لجن درنظر گرفته شد. بنابراین به‌طور خلاصه مراحل آزمایش به شرح زیر است:

۱- تست SRF, TTF برای نمونه لجن خام و هوادهی شده در زمانهای مختلف تا ۷ روز؛

۲- آماده‌سازی محلول پلیمر و آزمایش SRF, TTF با دوزهای مختلف پلیمر برای لجن خام و هوادهی شده تا ۷ روز.



شکل ۲- هوادهی نمونه لجن توسط پمپ هوا در آزمایشگاه

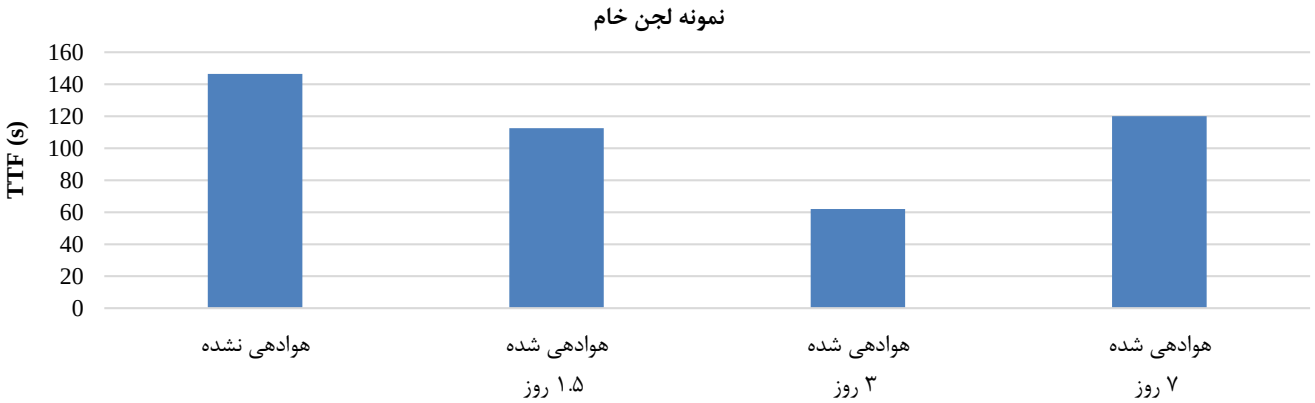
۳- نتایج و بحث

به‌طور کلی واکنش هضم لجن در شرایط هوازی به شرح معادله (۲) است که در آن ماده سلولی به آب و دی اکسید کربن و آمونیوم تبدیل می‌شود. درصورت ادامه شرایط هوازی نیتریفیکاسیون نیز مطابق رابطه (۳) انجام شده و موجب تولید

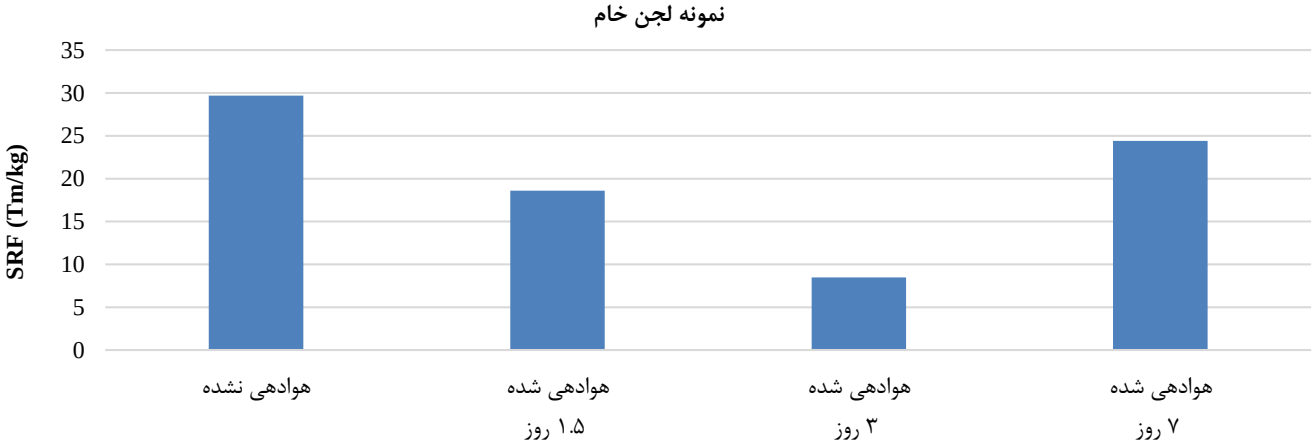
نیترات و کاهش pH می‌شود.

$$C_5H_7O_2N + 5O_2 \rightarrow 4CO_2 + H_2O + NH_4HCO_3 \quad (۲)$$
$$C_5H_7O_2N + 7O_2 \rightarrow 5CO_2 + 3H_2O + HNO_3 \quad (۳)$$

در شکل‌های ۳ و ۴ اثر زمان هوادهی بر مقادیر TTF و SRF برای لجن بدون آمایش نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد خواص آبگیری لجن پس از سه روز هوادهی بهبود می‌یابد و سپس برای نمونه با ۷ روز هوادهی مجددا به وضعیت اولیه برمی‌گردد. این مطلب نشان‌دهنده آن است که زمان هوادهی لجن بر تغییر خواص آبگیری تأثیر دارد. کاهش مقاومت ویژه آبگیری تا زمان ۳ روز را می‌توان با توجه به معادلات (۲ و ۳) توضیح داد. با هضم لجن، تجزیه مواد آلی و توده سلولی انجام شده و تبدیل به آب و گاز و مواد معدنی می‌شود. درنتیجه علاوه‌بر افزایش آب، ساختار پیوندی آب و جامدات شکسته می‌شود و آب راحت‌تر از توده جامد جدا می‌شود. یکی از نتایج تجزیه مواد آلی در فرآیند هضم، یکنواخت شدن ساختار دانه‌های جامد لجن بوده است. ضمن این‌که در این فرآیند اندازه دانه‌های لجن کاهش‌یافته و میزان ذرات کلوئیدی در لجن افزایش می‌یابد (Turovskiy, 2006). به‌همین دلیل انتظار می‌رود مقاومت ویژه لجن در ابتدای فرآیند هضم کاهش و سپس با افزایش درجه هیدراسیون و تولید ذرات کلوئیدی افزایش یابد.



شکل ۳- اثر هوادهی بر پارامتر TTF برای نمونه لجن بدون آمایش



شکل ۴- اثر هوادهی بر پارامتر SRF برای نمونه لجن بدون آمایش

در جدول ۲ مقادیر پارامترهای کیفیت لجن مشاهده می‌شود. سطر اول مربوط به مشخصات لجن خام است. کاهش مقادیر هدایت الکتریکی در حدود ۵٪ در لجن هوادهی می‌تواند به‌دلیل مصرف مواد معدنی محلول در آب توسط فرآیند خودخوری باکتری‌ها باشد. مقدار pH کاهش بسیارکمی را نشان داده که می‌تواند به‌دلیل انجام بسیار کم نیتریفیکاسیون (معادله ۲) باشد.

در مورد مقادیر جامدات معلق کل و فرار کاهش این مقادیر در اثر هوادهی و فرآیند هضم مشهود است به‌صورتی که نسبت جامدات فرار به کل از ۷۰٪ به ۶۳٪ پس از ۷ روز رخ داده است. به‌عبارت دیگر مقدار جامدات معلق فرار (VSS) در حدود ۳۴٪ (از mg/L ۴۵۶۴ به ۳۴۱۸) پس از ۷ روز کاهش یافته است

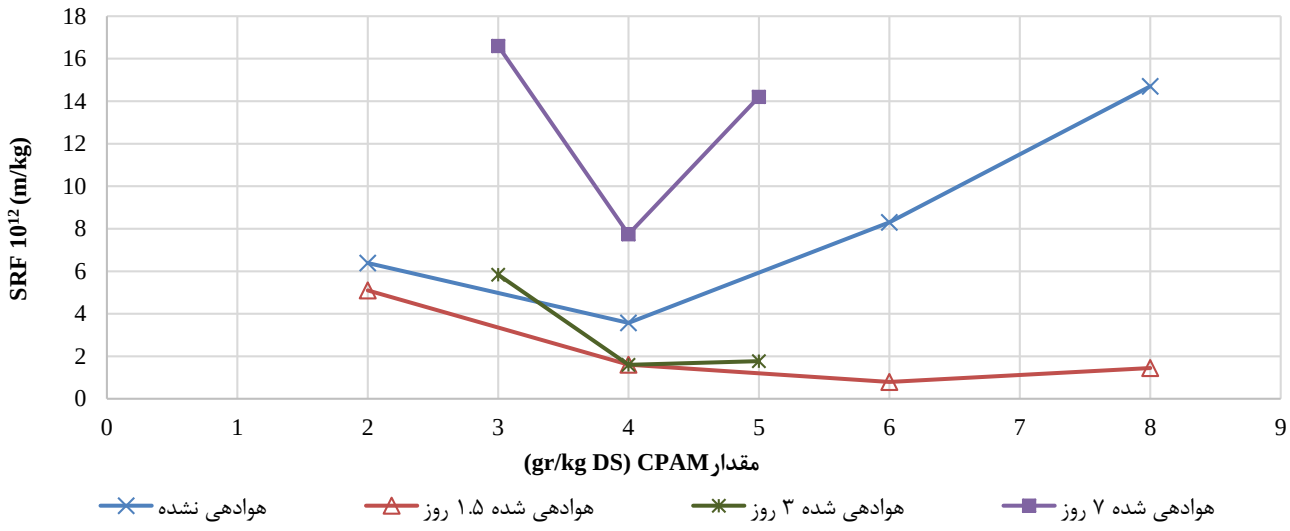
جدول ۲- مقادیر پارامترهای کیفیت لجن نمونه‌ها

نوع نمونه	pH	EC (µs/cm)	TSS (mg/L)	VSS (mg/L)	VSS/TSS
هوادهی نشده (لجن خام)	7.04	1416	6520	4564	70%
هوادهی شده ۱/۵ روز	7.16	1348	5676	3803	67%
هوادهی شده ۳ روز	7.03	1320	5341	3418	64%
هوادهی شده ۷ روز	6.8	1310	4767	3003	63%

نتایج آمایش لجن پس از آماده سازی محلول ۰/۵ g/L (۰/۰۵٪) پلیمر پلی‌اکریل آمید کاتیونی، دوزهای ۲، ۴، ۶ و ۸ g/kg به دو نوع لجن هوادهی نشده و هوادهی شده تزریق شد و نتایج SRF و TTF آن مورد مقایسه قرارگرفت. نتایج آزمایش‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود لجن هوادهی شده برای دو زمان ۱/۵ و ۳ روز خصوصیات آبگیری بهتری داشته به‌طوری‌که لجن هوادهی نشده در دوز ۴ g/kg مقدار SRF برابر ۳/۵۷ و لجن هوادهی شده تا ۱/۵ روز در دوز ۶ g/kg مقدار SRF ۰/۷۹ را نتیجه داده است. این مقادیر پس از زمان‌های ۳ و ۷ روز هوادهی به‌ترتیب به اعداد ۱/۶ و ۷/۷ افزایش یافته‌اند که نشان از کاهش خواص آبگیری لجن آمایش یافته بعد از زمان هوادهی ۱/۵ روز است. به این ترتیب هوادهی لجن تا ۱/۵ روز موجب شده که در دوز بهینه قابلیت آبگیری لجن تا ۴/۵ برابر بهبود پیدا کند.

توجیه دلایل این روند کاهشی و افزایش مقاومت ویژه لجن مشابه دلایلی است که در بخش لجن بدون آمایش ذکر شد. تنها تفاوت در تغییر زمان هوادهی بهینه است که برای لجن بدون آمایش ۳ روز و برای لجن با مصرف پلیمر ۱/۵ روز به‌دست آمد. البته باید توجه داشت که در هضم هوازی ۱/۵ روزه مقدار مصرف بهینه پلیمر بیشتر است، ولی در مجموع آبگیری بهتر انجام می‌شود.

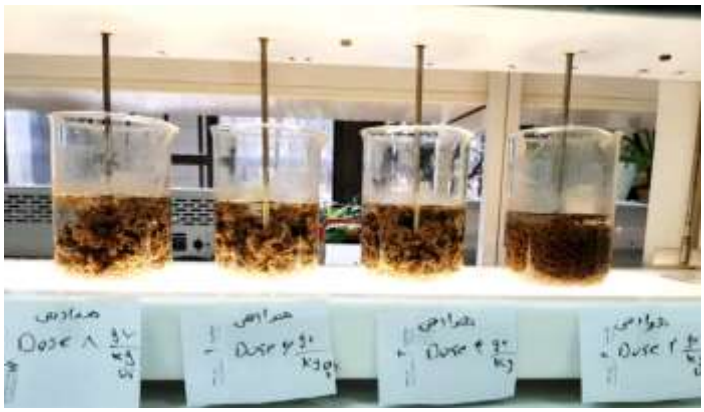


شکل ۵- مقایسه نتایج SRF لجن هوادهی شده وهوادهی نشده

شکل ۶ نتایج جارتست آمایش لجن هوادهی نشده و شکل ۷ لجن هوادهی شده بعد از ۱/۵ روز را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود کیفیت لخته‌های تولید شده تایید کننده نتایج به‌دست آمده است.

در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در صورتی‌که که هضم هوازی توسط هواده‌های مکانیکی انجام شود موجب شکسته شدن لخته‌ها و کاهش خواص آبگیری لجن می‌شود. به‌همین دلیل هضم هوازی عامل کاهش خواص آبگیری و هضم بی‌هوازی عامل بهبود آن دانسته می‌شود (Techobanoglous et al., 2014). Sivamani et al. (2020) هر دو فرآیند هوازی و بیهوازی را عامل کاهش خواص آبگیری دانسته است. Christensen et al. (2015) نتایج مشابه این تحقیق را به‌دست آوردند. نتایج تحقیق Turovskiy (2001) در تأیید نتایج به‌دست آمده تحقیق حاضر نشان داد کمترین مقدار SRF برای لجن با غلظت‌های کم با ۳ روز هوادهی به‌دست آمده و پس از ۳ روز مقدار SRF افزایش یافت. میزان VSS کاهش تا ۳۰ درصد در زمان ماند ۵ روز به‌دست آمده بود.

شکل ۶- آمایش لجن هوادهی نشده پس از اختلاط



شکل ۷- آمایش لجن هوادهی شده پس از اختلاط

۴- نتیجه گیری

در این مقاله تأثیر هضم هوازی لجن تصفیه‌خانه یزد بر قابلیت آبگیری آن مورد بررسی قرارگرفت و آزمایش مقاومت ویژه فیلتراسیون و زمان فیلتراسیون برای لجن هوادهی نشده و هوادهی شده بعد از زمان‌های ۱/۵، ۳ و ۷ روز در دو حالت با آمایش و بدون آمایش انجام شد. نتایج برای لجن بدون آمایش نشان داد که هوادهی لجن تا روز سوم موجب بهبود قابلیت آبگیری لجن و پس از آن باعث کاهش قابلیت آبگیری لجن می‌شود. دلیل این مسئله تغییر خواص فیزیکی و شیمیایی ذرات جامد لجن در اثر فرآیند تجزیه مواد آلی و هیدراسیون است که این تغییر روند را نتیجه می‌دهد، به‌طوری‌که در ابتدای فرآیند، تجزیه مواد سلولی موجب بهبود آزاد شدن آب از ذرات جامد شده ولی ادامه آن موجب کاهش اندازه ذرات و تبدیل به مواد کلوئیدی می‌شود که قابلیت آبگیری را کاهش می‌دهد. این پدیده برای لجن آمایش شده نیز به‌شکل مشابه مشاهده شد. به این صورت که در مرحله دوم آزمایش‌ها به نمونه لجن هوادهی نشده وهوادهی شده در سه زمان مذکور پلیمر در دوزهای g/kg ۲ تا ۸ اضافه شد. نتایج نشان داد هوادهی لجن و سپس آمایش آن تا زمان ۱/۵ روز خصوصیات آبگیری بهتری به‌دست می‌دهد. به‌طوری‌که لجن هوادهی نشده در دوز g/kg ۴ مقدار SRF برابر Tm/kg ۳/۵۷ و لجن هوادهی شده تا ۱/۵ روز در دوز g/kg ۶ مقدار SRF، Tm/kg ۰/۷۹ را نتیجه داده است. این مقادیر پس از زمان‌های ۳ و ۷ روز هوادهی به‌ترتیب به اعداد ۱/۶ و ۷/۷ افزایش یافته‌اند که نشان از کاهش خواص آبگیری لجن آمایش یافته بعد از زمان هوادهی ۱/۵ روز است. به این ترتیب هوادهی لجن تا ۱/۵ روز موجب شده که در دوز بهینه قابلیت آبگیری لجن تا ۴/۵ برابر بهبود پیدا کند. خلاصه نتایج به‌دست آمده درجدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- خلاصه نتایج نهایی به‌دست آمده از آزمایش ها

نوع نمونه	بدون آمایش		با آمایش		
	SRF (Tm/kg)	TTF (s)	دوز بهینه (g/kg)	SRF (Tm/kg)	TTF(s)
هوادهی نشده	29.1	147	4	3.57	20
هوادهی شده ۱/۵ روز	18.6	113	6	0.79	17
هوادهی شده ۳ روز	8.5	62	4	1.6	30
هوادهی شده ۷ روز	21.4	120	4	7.7	72

۵- سپاسگزاری

این مقاله در قالب بخشی از طرح پژوهشی با عنوان "بررسی میزان تأثیر افزایش بار آلی ورودی بر میزان حجم لجن مازاد خروجی از سیستم تصفیه‌خانه SBR شهر یزد" به شماره ۹۷/۲۶/۹۸۳۹ تحت حمایت شرکت آب و فاضلاب استان یزد تهیه شده است. بدین‌وسیله از حمایت‌های مسئولین شرکت آب و فاضلاب و مدیریت تصفیه خانه یزد تشکر و قدردانی می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

1- Specific Resistance to Filtration
2- Time to Filter

۷- مراجع

امانعلی‌خانی، ش, سلمانی ندوشن، م.، احرام پوش، م.، و مختاری، م.، (۱۳۹۴)، "بررسی کارایی کمک منعقدکننده پلی آکریل آمید اصلاح‌شده با نانو ذرات آلومنیوم اکسید در آبگیری لجن تولیدی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد"، *مجله تحقیقات سلامت در جامعه*, ۱(۴), ۵۳-۶۳.

APHA, AWWA, and WEF, (2017), *Standard methods for the examination of wastewater*, America Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC, USA, 23th Edition.

Barbusiński, K., and Filipek, K., (2000), “Aerobic sludge digestion in the presence of chemical oxidizing agents part II. Fenton's reagent”, *Polish Journal of Environmental Studies*, 9(3), 145-149.

Bruus, J.H., Christensen, J.R., and Rasmussen, H., (1993), “Anaerobic storage of activated sludge: effects on conditioning and dewatering performance”, *Water Science and Technology*, 28(1), 109-116.

Christensen, M.L., Keiding, K., Nielsen, P.H., and Jørgensen, M.K., (2015), “Dewatering in biological wastewater treatment: a review”, *Water Research*, 82,14-24.

Cydzik-Kwiatkowska, A., Nosek, D., Wojnowska-Baryła, I., and Mikulski, A., (2020), “Efficient dewatering of polymer-rich aerobic granular sludge with cationic polymer containing hydrocarbons”, *International Journal of Environmental Science and Technology*, 17(1), 361-370.

Liu, C., and Wu, B., (2020), “Ultrasound enhanced zero-valent iron-activated peroxymonosulfate oxidation for improving dewaterability of aerobically digested sludge*”, Chemical Engineering Journal*, 392, 124850.

Ni, B.J., Yan, X., Sun, J., Chen, X., Peng, L., Wei, W., Wang, D., Mao, S., Dai, X., and Wang, Q., (2019), “Persulfate and zero valent iron combined conditioning as a sustainable technique for enhancing dewaterability of aerobically digested sludge”, *Chemosphere*, 232, 45-53.

Sivamani, S., Binnal, P., Cuento, A., Al-Shahri, A., Al-Mahri, M., Rafeet, M., Shamas, M., and Al-Awaid, A., (2020), “A comprehensive review of experimental studies on aerobic digestion of wastewater sludge”, *Removal of Toxic Pollutants Through Microbiological and Tertiary Treatment*, Book Chapter, Science Direct Pulication, 211-231.

Takdastan, A., Mehrdadi, N., Azimi, A.A., Torabian, A., and NABI, B.G.R., (2009), “Investigation of the excess sludge reduction in SBR by oxidizing some sludge by ozone”, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 28(4), 95-104.

Techobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D., (2014), *Wastewater engineering: Treatment and reuse*, McGraw-Hill.

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

Turovskiy, I.S., (2001), “Technological improvements for the aerobic digestion of sludge”, *Water Engineering and Management, Available on*: *https:// files. wwdmag.com/s3fs-public/ Sludge Digestion8 _01WEM.pdf*

Wang, J., Chen, C., Gao, Q., Li, T., and Zhu, F., (2012), “Relationship between the characteristics of cationic polyacrylamide and sewage sludge dewatering performance in a full-scale plant”, *Procedia Environmental Sciences*, 16, 409-417.

Wang, X.M., Wang, X., Yang, M.H., and Zhang, S.J., (2018), “Sludge conditioning performance of polyaluminum, polyferric, and titanium xerogel coagulants”, *Huan jing ke xue= Huanjing kexue*, 39(5), 2274-2282.

Woo, B., (2008), “Sludge stabilization sustainability of aerobic digestion processes”, Research Document, USA, Available on: *https://www.semanticscholar.org/ paper/Sludge-Stabilization-Sustainability-of-Aerobic-Woo/5c09f4f05e4654b30774556b1e4785bb5ff29803.*

Zhang, Z., Zhou, Y., Zhang, J., Xia, S., and Hermanowicz, S.W., (2016), “Effects of short-time aerobic digestion on extracellular polymeric substances and sludge features of waste activated sludge”, *Chemical Engineering Journal*, 299, 177-183.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.