

Journal of Water and Wastewater, Vol. 34, No. 3, pp: 89-103

Investigating the Factors Affecting the Bulking Phenomenon in the Activated Sludge Aerobic Treatment System in the Petrochemical Plant Effluent

M. Vafadari¹, S. Tourani^{2*}

1. MSc. Student, Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran
2. Assist. Prof., Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran
(Corresponding Author) somayeh_tcheming@yahoo.com

(Received Jan. 6, 2023 Accepted April 5, 2023)

To cite this article:

Vafadari, M., Tourani, S. 2023. "Investigating the factors affecting the bulking phenomenon in the activated sludge aerobic treatment system in the petrochemical plant effluent" Journal of Water and Wastewater, 34(3), 89-103. Doi: 10.22093/wwj.2023.379943.3313. (In Persian)

Abstract

Undoubtedly, the activated sludge process is one of the most common methods of biological wastewater treatment. Among the most common problems of activated sludge process systems is bulking of sludge (bulking). More than 50% of activated sludge wastewater treatment plants worldwide constantly or occasionally face this problem. In this case, the relative density of the flocs is low. It causes inappropriate sedimentation in secondary ponds and causes problems such as reducing treatment efficiency and imposing additional costs in the treatment and disposal of excess activated sludge. The current study, which was carried out on a laboratory scale (pilot) in the refinery unit of Shahid Tondgoyan Petrochemical Company, to investigate the factors affecting the creation of bulking. Factors include process parameters such as adjusting the ratio of input feed to microorganism (F/M), microorganism concentration, supply of nitrogen and phosphorus nutrients, dissolved oxygen, temperature, pH, and the use of cationic polyelectrolyte coagulant to improve the sedimentation rate of activated sludge. The optimal parameters in the amount of sedimentation are F/M equal to 0.35, MLSS in the range of ppm 2500 to 3000 ppm, nitrogen, and phosphorus nutrients relative to the amount of pollution (COD/N/P) in the range of 100/4/1 until 100/5/1, dissolved oxygen 2 to 3 mg/L, temperature 25-35 °C, pH range 8.5 and in the dose of 4.8 mg/gr TSS/L of cationic polyelectrolyte coagulant in 180 min. In general, by adjusting the process parameters in the indicated range, the amount of SVI can be controlled in the desired range of close to 150 mg/L.

Keywords: Activated Sludge, Bulking, SVI, Microorganism Concentration.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۴، شماره ۳، صفحه: ۸۹-۱۰۳

بررسی عوامل مؤثر بر پدیده بالکینگ در سیستم تصفیه هوازی لجن فعال در پساب کارخانه پتروشیمی

مسعود وفاداری^۱، سمیه طورانی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران
 ۲- استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران
 (نویسنده مسئول) somayeh_tcheming@yahoo.com

(دریافت ۱۴۰۱/۱۰/۱۶ پذیرش ۱۴۰۲/۱/۱۶)

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام فرمایید:

وفاداری، م.، طورانی، س.، ۱۴۰۲، "بررسی عوامل مؤثر بر پدیده بالکینگ در سیستم تصفیه هوازی لجن فعال در پساب کارخانه پتروشیمی" مجله آب و فاضلاب، ۳۴(۳)، ۸۹-۱۰۳. Doi: 10.22093/wwj.2023.379943.3313

چکیده

بدون شک فرایند لجن فعال یکی از متداول‌ترین روش‌های تصفیه بیولوژیکی فاضلاب است. از جمله شایع‌ترین مشکلات سیستم‌های فرایند لجن فعال، حجیم شدن لجن (بالکینگ) است، که بیش از ۵۰ درصد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن فعال در سراسر جهان دائماً و یا گهگاه با این مشکل مواجه هستند. در این حالت چگالی نسبی لخته‌ها کم بوده، باعث ته‌نشینی نامناسب در حوضچه‌های ثانویه می‌شود و باعث مشکلاتی مانند کاهش بازده تصفیه، تحمیل هزینه‌های اضافی در تصفیه و دفع لجن مازاد فعال می‌شود. در این پژوهش که در مقیاس آزمایشگاهی (پیلوت) در واحد تصفیه‌خانه شرکت پتروشیمی شهید تندگویان انجام شد، به بررسی عوامل مؤثر بر ایجاد بالکینگ، که شامل پارامترهای فرایندی مانند تنظیم نسبت خوراک ورودی به میکروارگانیسم، غلظت میکروارگانیسم، تأمین میزان مواد مغذی نیتروژن و فسفر، اکسیژن محلول، دما، pH و کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت کاتیونی برای بهبود میزان ته‌نشینی لجن فعال پرداخته شد. پارامترهای بهینه در میزان ته‌نشینی به ترتیب F/M برابر با ۰/۳۵، MLSS در محدوده ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ ppm، مواد مغذی نیتروژن و فسفر نسبت به میزان آلودگی (COD/N/P) در محدوده ۱۰۰/۴/۱ تا ۱۰۰/۵/۱، DO از ۲ تا ۳ mg/L، دمای ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس، pH معادل ۸/۵ و در میزان دوز TSS/L، ۴/۸ mg/gr از کمک ماده منعقدکننده پلی‌الکترولیتی در مدت زمان ۱۸۰ دقیقه بود. به‌طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با تنظیم پارامترهای فرایندی در محدوده اشاره شده می‌توان میزان SVI را در محدوده مطلوب نزدیک به ۱۵۰ mg/L کنترل کرد.

واژه‌های کلیدی: لجن فعال، بالکینگ، SVI، غلظت میکروارگانیسم



۱- مقدمه

امروزه به علت ازدیاد جمعیت و صنعت و تمرکز آن در نقاط مختلف، مشکلاتی پیش روی جوامع قرار گرفته است. یکی از معضلات بهداشتی و محیط‌زیستی که اکثر جوامع با آن روبه‌رو هستند، مسئله تولید انواع فاضلاب‌ها و روش صحیح دفع آن به محیط‌زیست است. اگرچه، تصفیه فاضلاب به صورت علمی و با روش‌های مشخص سابقه طولانی ندارد، اما امروزه سیستم‌های بسیار متنوعی برای تصفیه انواع فاضلاب‌ها ابداع و به کار گرفته شده است. یکی از متداول‌ترین و شاید پرکاربردترین سیستم‌ها در تصفیه فاضلاب، سیستم لجن فعال است که خود شامل انواع متنوعی می‌باشد (Liu et al., 2016, Droste, 1997).

اساس کار در فرایند لجن فعال هوازی، شامل هوادهی فاضلاب خام ورودی در مجاورت میکروارگانیسم‌ها در حوضچه هوادهی و سپس جداسازی جرم میکروبی از فاضلاب هوادهی شده در حوض‌های ته‌نشینی و به دست آوردن پساب تصفیه شده است (Cai et al., 2022).

لجن فعال، ترکیبی غیریکنواخت از میکروارگانیسم‌ها، مواد کلوئیدی، پلیمرهای آلی، ذرات معدنی و کاتیون‌ها است و تعیین ساختار لخته‌ها و روابط بین آنها بسیار پیچیده است. یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که اغلب در تصفیه فاضلاب به روش لجن فعال ایجاد می‌شود، حجیم شدن و عدم ته‌نشینی به موقع لجن در حوض ته‌نشینی ثانویه است که در اصطلاح به آن بالکینگ گفته می‌شود. عامل اصلی ایجاد بالکینگ، رشد بی‌رویه باکتری‌های رشته‌ای و گسترش آنها از سطح لخته‌های بیولوژیک است که این امر، از نزدیک شدن لخته‌ها و فشردگی آنها جلوگیری می‌کند (Burger et al., 2017). این وضعیت به دلیل میزان شاخص حجم لجن^۱ زیاد، اکسیژن محلول^۲ نسبت خوراک ورودی به میکروارگانیسم^۳ پایین، کمبود مواد مغذی و ضایعات سپتیک و غلظت کم لجن در لجن فعال پسماند برگشتی رخ می‌دهد. در نتیجه لجن، شناور می‌شود و بیش از حد جریان با پساب و دبی بی‌کیفیت می‌شود (Miłobędzka et al., 2016, Sam et al., 2022).

وجود بالکینگ در تصفیه‌خانه، می‌تواند مشکلات زیر را به همراه داشته باشد: (۱) افزایش مواد معلق و اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی^۴ پساب خروجی از ته‌نشینی ثانویه، (۲) عدم فشردگی لازم لجن در کف حوض ته‌نشینی ثانویه و در نتیجه کاهش غلظت لجن در کف این حوض که این موضوع، خود مشکلاتی مانند کاهش غلظت لجن برگشتی و لجن مازاد را در پی خواهد داشت (Fan et al., 2018).

راه‌های عملی برای کنترل بالکینگ (به خصوص رشته‌ای) عبارت‌اند از:

(۱) تصفیه با اکسیدان‌ها مانند کلر، هیپوکلریت سدیم (Saayman et al., 1998, Pang et al., 2016, He et al., 2019, Hammadi et al., 2012, Koopman and Bitton, 1987) و ازن (Nilsson et al., 2014).

(۲) تصفیه با لخته‌سازها و منعقدکننده‌ها مانند پلیمرهای آلی سنتزی، آهک، نمک‌های آهن و سورفکتانت ستیل تری‌متیل آمونیم برآمید^۵ (Zaidi et al., 2022, Juang and Chiou, 2007, Ojo and Ifelebuegu, 2018).

(۳) کاهش غلظت MLSS^۶ در تغذیه زلال‌ساز.

(۴) افزایش میزان جریان لجن فعال برگشتی (Fan et al., 2020).

(۵) انتخابگرهای بیولوژیک که کمک به رشد باکتری‌های تشکیل‌دهنده لخته نسبت به باکتری‌های رشته‌ای می‌کند.

(۶) کنترل بیولوژیکی به معنی شناخت گونه‌های باکتری رشته‌ای و شناخت مشکلاتی که باعث رشد باکتری‌های رشته‌ای شده‌اند (Madoni et al., 2000).

اگرچه قسمت اعظم بالکینگ بیولوژیکی به باکتری‌های رشته‌ای نسبت داده شده، باکتری‌های غیررشته‌ای با دیواره‌های سلولی آب‌گریز نیز ممکن است در ایجاد بالکینگ دخالت داشته باشند (Peng et al., 2003).

تعدادی پژوهشگران به علل و عوامل رشد باکتری‌های رشته‌ای مؤثر در فرایند بالکینگ پرداختند (Madoni et al., 2005, Jenkins et al., 2003, Sodell and Seviour, 1990, Tomlinson, 1979) آنها نشان دادند که رشد بالای باکتری

⁴ Biochemical Oxygen Demand (BOD)

⁵ Cetyl Trimethyl Ammonium Bromide (CTAB)

⁶ Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)

¹ Sludge Volume Index (SVI)

² Dissolved Oxygen (DO)

³ Feed vs. Microorganism (F/M)



ظرفیت ذخیره‌سازی و بهره‌وری از سلکتور را در پی خواهد داشت. F/M در محدوده $0/3$ تا $0/4$ و حداقل سن لجن ۵ روز برای اطمینان از ممانعت و بروز بالکینگ تعیین شد.

زی و همکاران در سال ۲۰۰۷، در یک واحد تصفیه‌خانه فاضلاب در شمال شانگشان چین با استفاده از تکنیک‌های بیولوژیکی و شیمیایی توانستند بالکینگ و فومینگ تولید شده ناشی از ازدیاد باکتری‌های رشته‌ای *Microthrix-Parvicella* در حوضچه اکسیداسیون سه‌گانه در فصول زمستان و بهار را کنترل کنند. در این پژوهش، از دو استراتژی برای مهار و کنترل باکتری‌های رشته‌ای استفاده شد که شامل استفاده از مواد شیمیایی مانند $NaClO$ ، ترکیبات آمونیم چهار ظرفیتی^۳ پلی‌آکریل آمید کاتیونی و نمک پلی‌آلومینیم کلراید^۴ و کنترل شرایط بیولوژیکی شامل کاهش SRT و افزایش میزان F/M بود. آنها توانستند با تعیین دوز بهینه مواد شیمیایی و تکنیک‌های بیولوژیکی، میزان شاخص SVI را به محدوده مجاز کاهش و فومینگ برطرف کنند (Xie et al., 2007).

در سال ۲۰۱۴ فریرا و همکاران، با بررسی ۶ ماهه از یک واحد تصفیه‌خانه فاضلاب شهری (که شامل ۲ خط موازی بود)، شناسایی باکتری‌های رشته‌ای موجود در فاضلاب، تخمین تعداد آنها و استفاده از سلکتور هوازی بیولوژیکی را به‌عنوان راهکاری برای کنترل بالکینگ مطرح کردند. در یکی از خطوط پس از مدت ۶ هفته پدیده بالکینگ کنترل و رفع شد. در خط دوم نیز پس از شناسایی میکروارگانیسم‌های مولد بالکینگ و عوامل وابسته به رشد و تکثیر آنها مانند میزان F/M و DO با در سرویس قرار دادن سلکتور رشد آنها در محدوده مجاز، پدیده بالکینگ کاهش یافت. مطابق نتایج به‌دست آمده، استفاده از سلکتور در کاهش و جلوگیری از مشکلات بالکینگ ناشی از رشد بیش از حد باکتری‌های رشته‌ای از نوع $N 0/21$ و $0/961$ مطلوب، اما در مورد باکتری میکروتریکس پارویسلا موفقیتی را نشان نداده است. همچنین با استفاده از سلکتور هوازی میزان DO در مخزن هوادهی از محدوده ۲ تا $3 ppm$ به محدود ۱ تا $1/5 ppm$ کاهش داده شد که خود از نظر کاهش هزینه‌های اقتصادی مربوط به انرژی و سیستم تزریق هوا در حوضچه هوادهی مقرون‌به‌صرفه است (Ferreira et al., 2014). پژوهش‌های دیگری توسط لی و همکاران در سال ۲۰۲۰ انجام

رشته‌ای از نوع ۱۸۶۳ می‌تواند مربوط به کم بودن pH و DO و یا زیاد بودن میزان F/M باشد (Ferreira et al., 2014, Jenkins et al., 2003, Gunawardana et al., 2016).

باکتری *S.natass* می‌تواند در اثر پایین بودن DO (Lee et al., 2003) همچنین هنگامی که میزان F/M متوسط یا زیاد باشد و به‌طور هم‌زمان میزان مواد مغذی موجود به‌خصوص نیتروژن و فسفر بسیار کم باشد، رشد کند (Jenkins et al., 2003, Ferreira et al., 2009). *Al-Mutairi*, 2014, *et al.*, 2014, *et al.* می‌تواند یکی از مشکلات اصلی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب باشد (Banti et al., 2020, Ferreira et al., 2014).

یکی دیگر از باکتری‌های رشته‌ای، نوکاردیافرم‌ها هستند که رشد آن معمولاً در pH کم، میزان F/M زیاد و سن لجن بالا در مدت زمان بیش از ۱۰ روز اتفاق می‌افتد (Kravchenko and Zalevskii, 2009a, Speirs et al., 2019).

پژوهشگران زیادی به بررسی علل و عوامل مؤثر بر بالکینگ در تصفیه‌خانه‌ها به شکل موردی پرداختند. به‌عنوان نمونه، در پژوهشی در سال ۱۹۹۳، با بررسی و انجام آزمایش در تصفیه پساب حاصل از یک کارخانه چغندر قند و تولید کاغذ با بررسی و شناسایی بالکینگ ناشی از باکتری‌های رشته‌ای نوع $0/21$ ، $0/41$ و 1701 دریافتند که با استفاده از حوضچه سلکتور هوازی می‌توان بخش عمده‌ای از سوبسترای محلول آسان تجزیه‌پذیر را در پساب، حذف و علاوه بر کاهش میزان COD^1 ورودی به بخش هوازی، باکتری‌های رشته‌ای و مولد بالکینگ را به‌طور مؤثر سرکوب کرد. ۷۰ درصد از COD پساب، با زمان ماند هیدرولیکی ۵ دقیقه در حوضچه سلکتور و ۲۰ درصد از COD در حوضچه هوادهی حذف شد (Prendl and Kroiß, 1998).

همچنین تأثیر F/M زمان ماند لجن یا سن لجن^۲ بر میزان حذف سوبسترا در سلکتور بررسی و مشاهده شد که با کاهش عمر لجن نرخ ذخیره‌سازی سوبسترا در درون باکتری افزایش می‌یابد و سوبسترای ذخیره شده که در سلکتور حذف شده، نمی‌تواند بیشتر در مخزن هوادهی متابولیزه شود، همچنین در F/M بالای $MLSS \cdot day$ $0/5 kg$ و سن لجن کمتر از ۵ روز سوبسترای ذخیره شده کاملاً متابولیزه نخواهد شد که اثر سوء بر

³ Quaternary Ammonium Salt (QAS)

⁴ Poly Aluminum Chloride (PAC)

¹ Chemical Oxygen Demand (COD)

² Sludge Retention Time (SRT)



۱-۲- اندازه‌گیری میزان MLSS

برای تعیین غلظت میکروارگانسیم درون مخزن هوادهی از روش زیر استفاده شد:

ابتدا یک کاغذ صافی را به مدت نیم ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس درون آون قرار داده تا کاملاً خشک شود، سپس توسط ترازوی الکتریکی وزن کرده و M_1 یادداشت شد. کاغذ صافی را بر روی قیف بوخنر و تحت خلأ قرار داده و میزان ۱۰ ml از نمونه حاوی لجن فعال را بر روی کاغذ صافی ریخته تا آب آن کاملاً گرفته شود. مجدداً کاغذ صافی حاوی لجن فعال درون آون و در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس و به مدت ۳۰ دقیقه خشک شد و به مدت ۱۰ دقیقه در دسیکاتور قرار داده شد. سپس کاغذ صافی را مجدداً وزن کرده و M_2 یادداشت شد. حال با استفاده از معادله ۱ میزان MLSS محاسبه و ثبت شد (Ferreira et al., 2014)

$$MLSS = \frac{M_2 - M_1}{10} \times 10^6 \quad (1)$$

۲-۲- اندازه‌گیری میزان COD

برای اندازه‌گیری میزان COD نمونه پساب ورودی به سیستم پایلوت تصفیه هوازی به شرح زیر عمل شد: ابتدا ۳/۵ ml از مخلوط حاوی اسید سولفوریک، سولفات جیوه و سولفات نقره را با ۱/۵ ml از محلول دی‌کرومات پتاسیم مخلوط کرده و به ۱ ml پساب اضافه شد و به مدت ۱۲۰ دقیقه در ترموراکتور در دمای ۱۵۰ درجه سلسیوس قرار داده، سپس با استفاده از دستگاه اسپکتوفتومتر کالیبره شده در طول موج ۶۲۰ nm میزان COD قرائت و ثبت شد.

۳-۲- محاسبه میزان F/M

میزان F/M مطابق با معادله ۲ محاسبه می‌شود (Kravchenko and Zalevskii, 2009b)

$$\frac{F}{M} = \frac{Q \times COD \times 24}{V \times MLSS} \quad (2)$$

در معادله ۲، پارامتر Q، MLSS و V به ترتیب بیانگر دبی پساب، غلظت میکروارگانسیم و حجم حوضچه هوادهی هستند.

شد که به نقش بالقوه مواد پلیمری خارج سلولی^۱ در فرایند بالکینگ رشته‌ای اشاره شد.

در این پژوهش، میزان بالکینگ لجن فعال با تغییرات در محتوای EPS بررسی شد. نتایج نشان داد، زمانی که محتوای EPS به تدریج از ۲۳/۲۱۰ به ۳۴/۱۳۱ میلی‌گرم در گرم VSS^۲ در طول فرایند بالکینگ کاهش یافت، محتوای پروتئین EPS به‌طور قابل توجهی از ۳۳/۱۷۳ به ۴۲/۹۵ میلی‌گرم در گرم VSS در طول فرایند بالکینگ لجن کاهش یافت و نتایج زیر حاصل شد: (I) کاهش کلی در EPS، (II) افزایش نسبی در نسبت پلی‌ساکارید به پروتئین در EPS، (III) افزایش نسبی در نسبت پروتئین‌های آب‌دوست به آب‌گریز و (IV) افزایش بارهای الکترواستاتیک سطحی. آنها بیان کردند که این عوامل ظاهراً تجمع باکتری‌ها را به تأخیر می‌اندازد و تولید ساختارهای لخته را شل و حجیم می‌کند (Li et al., 2020).

با وجود پژوهش‌های گسترده‌ای که به این موضوع اختصاص داده شده، پیشگیری از بالکینگ رشته‌ای و کف کردن، هنوز چالش برانگیز است. همان‌طور که به آن اشاره شد، انواع مختلفی از روش‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی برای مقابله با این مشکلات استفاده شده است. با این حال، هیچ یک از روش‌های فعلی صددرصد مؤثر نیست.

در واقع هدف از این پژوهش، بررسی عوامل مؤثر بر پدیده بالکینگ و ته‌نشینی فلاک‌های بیولوژیک از مایع مخلوط خروجی از حوضچه هوادهی تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی پتروشیمی شهید تندگویان بود. بنابراین اثر پارامترهای بهره‌برداری و آزمایشگاهی مانند نسبت F/M، غلظت MLSS، میزان مواد مغذی نیتروژن و فسفر، DO، دما و pH بر پدیده بالکینگ در یک سیستم آزمایشگاهی در مقیاس پایلوت ارزیابی شد. همچنین، اثر مواد لخته‌ساز برای جلوگیری از فرار جامدات و افزایش میزان ته‌نشینی در حوض زلال‌ساز بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

روش‌های تحلیلی برای اندازه‌گیری پارامترهای بررسی شده به شرح زیر است:

¹ Extracellular Polymeric Substances (EPS)

² Volatile Suspended Solids (VSS)



۴-۲- محاسبه میزان SVI

طریقه متداول پایش قابلیت ته‌نشینی لجن، تعیین SVI است. حجم ۱ لیتر از جامدات معلق مایع مخلوط که پس از ۳۰ دقیقه در یک استوانه مدرج یک لیتری ته‌نشین شده‌اند، معمولاً برای تعیین SVI استفاده می‌شود. برای تعیین SVI حجم جامدات تعیین شده (برحسب میلی‌لیتر) بر غلظت جامدات معلق مایع مخلوط برحسب g/L تقسیم می‌شود. چون SVI برحسب میلی‌لیتر در گرم بیان می‌شود که به وسیله معادله ۳ نشان داده شده است (Ferreira et al., 2014)

$$SVI \text{ (ml/g)} = \frac{SV \times 1000}{MLSS} \quad (3)$$

که در آن

SV حجم لجن ته‌نشین شده در استوانه مدرج (میلی‌لیتر) و MLSS جامدات معلق مایع مخلوط (میلی‌گرم در لیتر) است.

۵-۲- آزمایش جارتست

دستگاه جارتست به منظور تعیین دوز بهینه از مواد منعقدکننده و کمک منعقدکننده برای کمک به بهبود شرایط ته‌نشینی لجن خروجی از حوضی هوادهی درون زلال‌ساز است. این دستگاه ۴ پروانه و موتور الکتریکی دارد که دارای یک سلکتور زمان و یک سلکتور تنظیم دور است. برای انجام آزمایش جارتست چهار ظرف حاوی نمونه گرفته شده از حوضچه هوادهی (بشر شیشه‌ای ۱۰۰۰ ml) را زیر دستگاه قرار داده و مدت زمان اختلاط و دور چرخش پروانه‌ها تعیین و دستگاه روشن شد. سپس با استفاده از پی‌پت شیشه‌ای میزان تعیین شده (دوز مختلف) از ماده کمک منعقدکننده (پلی‌الکترولیت کاتیونی) به هر یک از بشرهای حاوی نمونه اضافه شده و سپس با تغییر دور و مدت زمان تعیین شده برای مخلوط شدن کامل لخته‌ساز با مخلوط نمونه صبر می‌کنیم. سپس نمونه را درون استوانه مدرج ۱۰۰۰ ml تخلیه و به مدت ۳۰ دقیقه میزان ته‌نشینی لجن را یادداشت کرده و بهترین میزان ته‌نشینی بر اساس میزان ماده لخته‌ساز تزریق شده به عنوان مناسب‌ترین دوز انتخاب شد. لازم به ذکر است که DO، دما و pH به صورت آنلاین با دستگاه WTW Multi 340i ساخت کشور آلمان اندازه‌گیری شد.

۶-۲- سیستم پایلوت

برای انجام کار از یک سیستم پایلوت که شماتیک آن در شکل ۱ نشان داده شده، استفاده شد. این سیستم شامل یک مخزن هوادهی به ابعاد (طول × عرض × ارتفاع) (۱ متر × ۱ متر × ۱ متر) و حجم m^3 ۱ از جنس پلی‌اتیلن که حاوی لجن فعال است، بود. هوادهی از طریق کف مخزن به وسیله یک دیفیوزر که متصل به لاین هوای صنعتی است انجام شد. مخزن زلال‌ساز به ابعاد (طول × عرض × ارتفاع) (۱ متر × ۱ متر × ۰/۴ متر) و حجم m^3 ۰/۴ است که عمل ته‌نشینی لجن فعال در آن صورت می‌گیرد و آب تصفیه شده از بالای آن سرریز و به آبهای سطحی انتقال می‌یابد.

پمپ لجن برگشتی در مقیاس دوزینگ پمپ و با دبی حداکثر ۱۶ L/h است که عمل بازگشت لجن ته‌نشین شده در زلال‌ساز به ابتدای مخزن هوادهی و همچنین دورریز لجن مازاد در سیستم تصفیه را بر عهده دارد. این سیستم یک سیستم پیوسته بوده که خوراک به صورت پیوسته و از مخزنی که قبل از مخزن هوادهی قرار داده شده، با توجه به میزان COD پساب درون مخزن ذخیره و بر اساس میزان F/M و pH در نظر گرفته شده، به وسیله شیر تنظیم که در خروجی مخزن تعبیه شده، به عنوان خوراک به ابتدای مخزن هوادهی تزریق می‌شود. به منظور بررسی تغییر پارامترهای MLSS، pH، DO، F/M و دما بر ته‌نشینی لجن فعال از مخزن هوادهی، نمونه‌برداری انجام شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- بررسی اثر غلظت MLSS بر میزان ته‌نشینی

در غلظت‌های MLSS کمتر از ۲۵۰۰ ppm، با توجه به کم بودن سن لجن بیولوژیکی، مقدار کافی از فیبریل‌های باکتریایی، گرانول‌های پلی‌هیدروکسی بوتیرات^۱ و پلی ساکاریدهای لخته‌ساز و قوی تولید نخواهد شد. در نتیجه، لخته‌ها ضعیف و میزان ته‌نشینی کم خواهد بود. با افزایش غلظت میکروارگانسیم‌ها در مخزن هوادهی و در محدوده ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ ppm میزان ته‌نشینی در زلال‌ساز افزایش یافته و به حد مطلوب خواهد رسید. با افزایش بیش از حد غلظت به دلیل افزایش زمان ماند و سن لجن، رشد بالای میکروارگانسیم‌های رشته‌ای و آزاد کردن لیپیدهایی در درون لخته،

¹ Poly Hydroxyl Butyrate (PHB)



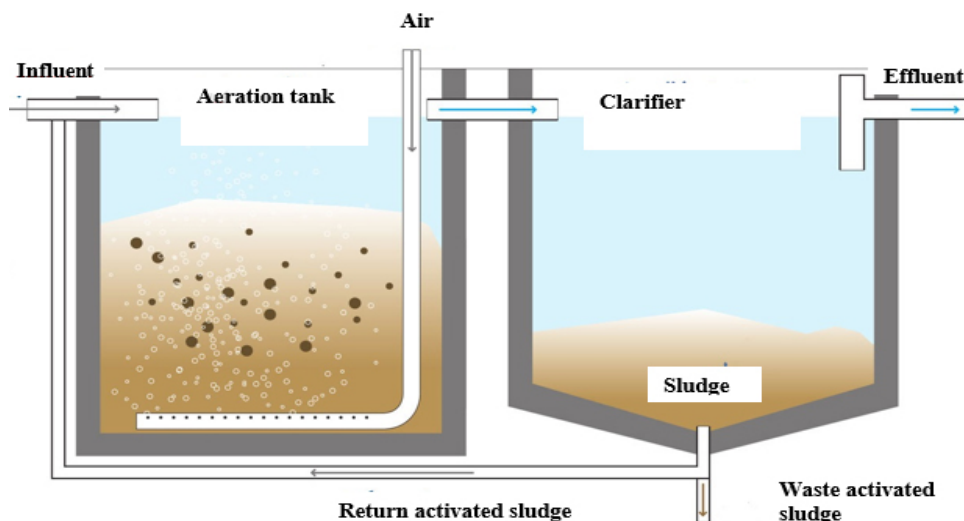


Fig. 1. Aerobic wastewater treatment pilot system

شکل ۱- سیستم پایلوت تصفیه پساب هوازی

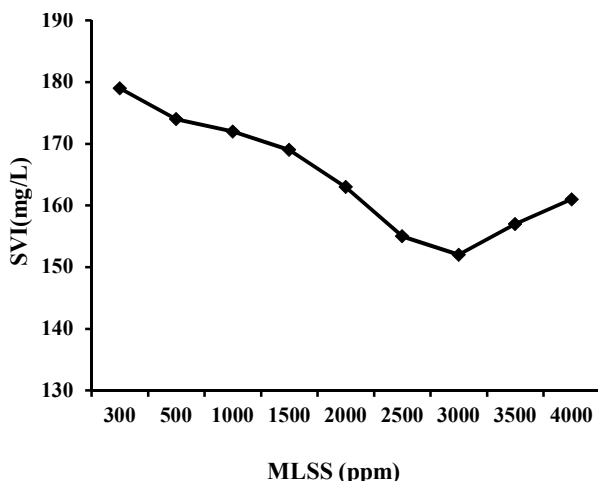


Fig. 2. The effect of MLSS concentration on SVI

شکل ۲- اثر پارامتر غلظت MLSS بر SVI

میکروسکوپی از لجن فعال نشان داد که لخته‌سازی باکتری‌ها در دمای زیاد (۳۵ درجه سلسیوس) نسبت به دمای کم (۲۵ درجه سلسیوس) شل‌تر است.

لجن سست منجر به ته‌نشین شدن ضعیف می‌شود. با افزایش درجه حرارت از ۲۵ به ۳۵ درجه سلسیوس سرعت ته‌نشینی کاهش، میزان SVI افزایش و مقدار جامدات معلق خروجی زیاد می‌شود (Tsang et al., 2007).

سبب تولید کف لزج و ژلاتینی شده، که این موضوع سبب رشد پراکنده لخته‌ها در حوضچه ته‌نشینی و مطابق نتایج به‌دست آمده باعث افزایش SVI خواهد شد (شکل ۲).

علاطمی و همکاران در سال ۲۰۱۹ نیز به نتایج مشابهی رسیدند. آنها نشان دادند که با افزایش غلظت MLSS از ۴۰۰۰ به ۶۰۰۰ ppm، مقدار SVI از ۸۱/۸ به ۱۲۹/۳ ml/g افزایش یافت که این موضوع به علت بالا رفتن سن لجن و باکتری‌های رشته‌ای است (Alatabi et al., 2019).

۳-۲- بررسی اثر پارامتر دما بر میزان SVI فعال

با استفاده از یک المنت گرمایی تعبیه شده در مخزن هوادهی میزان دما را در مقدار قابل بررسی تنظیم کرده و به مراتب میزان ته‌نشینی بررسی شد. با توجه به نتایج (شکل ۳)، افزایش دمای فاضلاب منجر به افزایش فعالیت باکتریایی و تولید و تجمع ترشحات بیولوژیکی نامحلول مانند لیپیدها و روغن‌ها، می‌شود. این ترشحات توسط ذرات لخته جذب شده و یا به دام می‌افتند که در نتیجه باعث کاهش بیشتر میزان ته‌نشینی جامدات ثانویه می‌شوند. تسانگ و همکاران نشان دادند که مقدار SVI در دمای زیاد ناپایدارتر از آن در دمای کم است که این مسئله می‌تواند مربوط به نوسان رشد میکروبی تحت دمای بیشتر باشد. مشاهدات



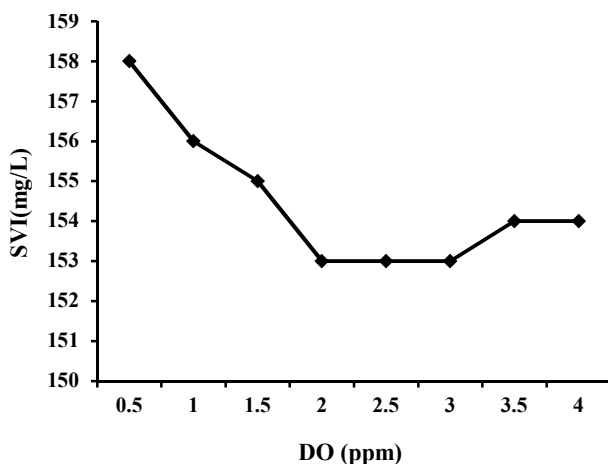


Fig. 4. The effect of DO on SVI
شکل ۴- اثر DO بر SVI

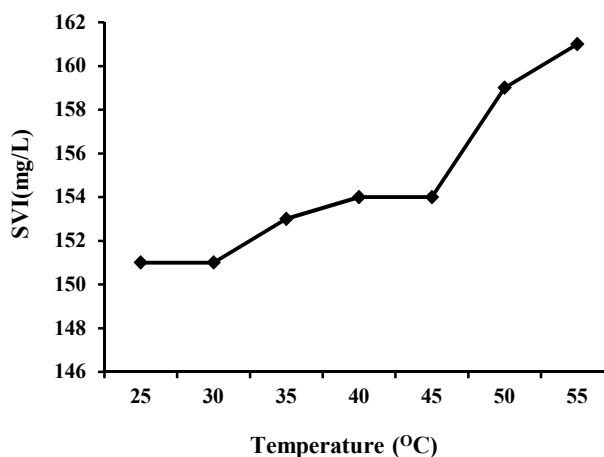


Fig. 3. The effect of temperature on SVI
شکل ۳- اثر پارامتر دما بر SVI

داشته، ولی با افزایش DO به دلیل افزایش تلاطم حاصل از جریان هوای تزریق شده در حوض هوادهی، منجر به شکستن لخته‌های لجن شده و کاهش میزان ته‌نشینی را به دنبال داشته است و این موضوع در خروجی از زلال‌ساز ثانویه به صورت خروج ذرات معلق و پراکنده مشاهده خواهد شد.

در پژوهشی استارکی و کار، به این نتیجه رسیدند که با کاهش DO از ۲ mg/L میزان کدورت آب تصفیه شده به دلیل کاهش ته‌نشینی لجن در خروجی افزایش خواهد یافت و این موضوع به دو علت، یکی جلوگیری از تولیدات EPS و دیگری ممانعت از افزایش جمعیت باکتری‌های یوکاریت اتفاق خواهد افتاد (Starkey and

Karr, 1984)

همچنین مارتینز و همکاران در سال ۲۰۰۳ نشان دادند که در غلظت‌های DO کمتر از ۱/۱ میلی‌گرم در لیتر، ته‌نشینی لجن کم می‌شود که این اثر منفی به دلیل تکثیر باکتری‌های رشته‌ای *Thiothrix spp.* Type 021N و Type 1851 است که در CODهای بالاتر شدت بیشتری دارد (Martins et al., 2003).

۴-۳- بررسی اثر میزان مواد مغذی بر SVI

بر اساس میزان COD ورودی به مخزن هوادهی، با اضافه کردن محلول‌های اوره و دی‌آمونیم فسفات به مخزن هوادهی اثر مواد مغذی شامل نیتروژن و فسفر بر ته‌نشینی لجن بررسی شد. نتایج در شکل‌های ۵ و ۶ گزارش شده است.

۳-۳- بررسی اثر DO بر SVI

با استفاده از اکسیژن‌سنج (DO متر)، میزان DO باقیمانده در مخزن هوادهی، اندازه‌گیری و با استفاده از ولو روی خط مسیر، جریان هوای ورودی به مخزن هوادهی مطابق با میزان DO باقیمانده موردنیاز تنظیم شد. با توجه به شکل ۴، در DOهای پایین و کمتر از ۱ ppm از طریق ایجاد دو تغییر مهم و تعیین‌کننده در بیومس، باعث ایجاد وقفه در تشکیل لخته‌ها و فرار جامدات می‌شود. اولی تأثیر نامطلوب بر باکتری‌های لخته‌ساز و دومی آسیب دیدن جمعیت تک‌یاختگان مژدهار است که در تشکیل لخته نقش مهمی داشته‌اند. وقتی که غلظت DO در تانک هوادهی کم شود، مقدار کمتری از فیبریل‌های باکتریایی با گرانول‌ها تولید می‌شود، ضمن اینکه گرانول‌های PHB که تولید شده‌اند اغلب در همه ذرات لخته یافت می‌شوند. با کاهش میزان تولید فیبریل‌ها، تعداد جایگاه‌های کمتری برای جذب جامدات ریز وجود خواهد داشت. فقدان میزان کافی از فیبریل‌ها و گرانول‌های PHB در تولید ذرات لخته ضعیف و شناور نقش دارد که این لخته‌ها ممکن است به راحتی شکسته و در خارج از زلال‌ساز ثانویه به حالت شناور درآیند. جامدات ریزی که جذب ذرات لخته نشده‌اند نیز در بیرون از زلال‌ساز ثانویه به صورت شناور خواهند بود. وقتی که غلظت DO در تانک هوادهی $\geq 1 \text{ mg/L}$ باشد، مقدار کافی از فیبریل‌های باکتریایی و گرانول‌های PHB برای اطمینان از تشکیل مناسب لخته‌ها تولید می‌شود. DO در محدوده ۲/۵ ppm کارایی مناسبی برای افزایش میزان ته‌نشینی



نمی‌شود، بلکه رشد باکتری‌های تشکیل‌دهنده لخته متوقف می‌شود. دوم، با توجه به اینکه باکتری‌های رشته‌ای در شرایط فقر مواد مغذی رشد می‌کنند، سطح زیادی برای تماس با محلول لخته دارند. بنابراین ارگانیسم‌های رشته‌ای قادرند با وجود محدود بودن مواد مغذی در داخل محلول توده، باز هم مقدار کافی از آن را به دست آورند.

وقتی که کمبود مواد مغذی وجود داشته باشد، سلول‌های باکتریایی موجود در ذرات لخته، $cBOD^3$ محلول را جذب می‌کنند. با توجه به اینکه مقدار کافی از مواد مغذی وجود ندارد، $cBOD$ محلول نمی‌تواند تجزیه شود. $cBOD$ محلول به $cBOD$ نامحلول تبدیل شده و در بخش خارجی سلول‌های باکتریایی موجود در کانال در ذرات لخته ذخیره می‌شود. $cBOD$ از حرکت و جابه‌جایی آب از میان ذرات لخته جلوگیری کرده و حباب‌های هوا و گاز را به دام می‌اندازد. این مسئله منجر به از دست رفتن خاصیت ته‌نشینی جامدات می‌شود.

در پژوهشی بهاتنا و همکاران در سال ۲۰۰۶، به بررسی پساب‌های کارخانه‌های کاغذسازی و خمیر کاغذ پرداختند. آنها نشان دادند که محدودیت نیتروژن یا فسفر باعث کاهش رشد باکتری می‌شود. کاهش نیتروژن تا حد زیادی منجر به افزایش PHB لخته شده، ولی در مقابل منجر به افزایش کربوهیدرات یا EPS نمی‌شود. از طرفی، محدودیت فسفر باعث افزایش کربوهیدرات و EPS لخته شده، اما منجر به افزایش PHP لخته‌ها نمی‌شود. در زمان کمبود نیتروژن، بار سطحی لخته خالص منفی‌تر شده و ذرات افزایش می‌یابند، در حالی که کمبود فسفر منجر به افزایش محتوای آب سطحی لخته شده، همچنین آب‌گریزی سطح را افزایش داده که در نتیجه آن ذرات کاهش می‌یابند (Bhathena et al., 2006).

گوا و همکاران در سال ۲۰۱۴، اثرات طولانی مدت کمبود N و P بر ته‌نشینی لجن در شش راکتور متوالی با جریان ناپیوسته^۴ را بررسی کردند. آنها گزارش دادند که در حالت کمبود نیتروژن در SBRs بالکینگ مشاهده نشد که احتمالاً به خاطر تشکیل محصولات ذخیره‌سازی داخل سلولی است که منجر به غلبه باکتری‌های تشکیل‌دهنده لخته بر باکتری‌های رشته‌ای می‌شود و مقدار SVI

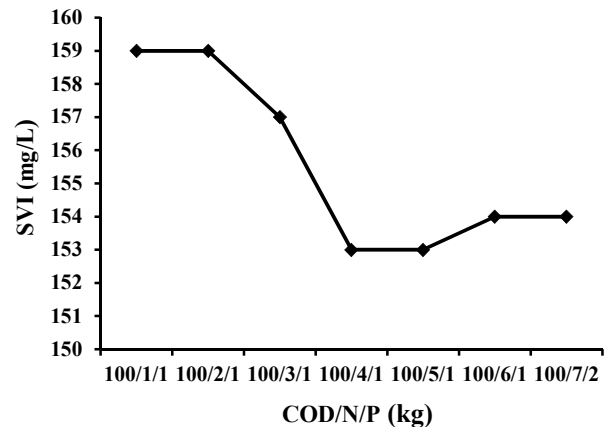


Fig. 5. The effect of nutrients (nitrogen) on SVI
شکل ۵- اثر مواد مغذی (نیتروژن) بر SVI

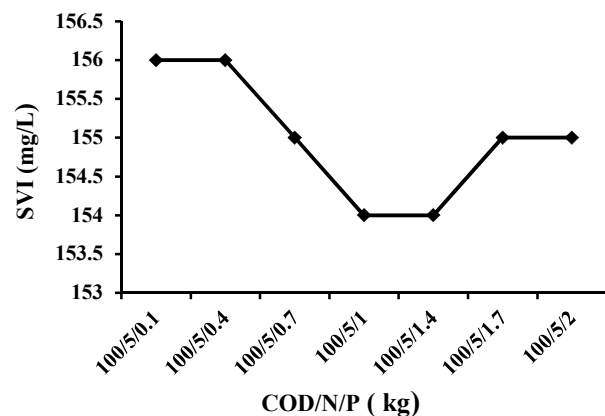


Fig. 6. The effect of nutrients (phosphorus) on SVI
شکل ۶- اثر مواد مغذی (فسفر) بر SVI

با توجه به شکل‌های ۵ و ۶، نسبت میزان مواد مغذی نیتروژن و فسفر به میزان COD به صورت $(COD/N/P)$ در محدوده $100/4/1$ تا $100/5/1$ همواره بهترین کارایی را از لحاظ ته‌نشینی داشته است. هرگاه کمبود مواد مغذی وجود داشته باشد و با کاهش این نسبت $100/4/1$ چندین نوع ارگانیسم رشته‌ای وجود دارد که می‌توانند به تعداد زیادی رشد کنند. دو فاکتور در افزایش تعداد این ارگانیسم‌های رشته‌ای در حین کمبود مواد مغذی نقش دارند. اول اینکه، ارگانیسم‌های رشته‌ای که در شرایط کمبود مواد مغذی تکثیر پیدا می‌کنند به مواد مغذی کمتری در مقایسه با باکتری‌های تشکیل‌دهنده لخته، نیاز دارند. بنابراین وقتی که مواد مغذی محدود می‌شوند، رشد ارگانیسم‌های رشته‌ای متوقف

³ Carbone Biological Oxygen Demand (cBOD)

⁴ Sequencing Batch Reactor (SBRs)

¹ Nitrogen

² Phosphor



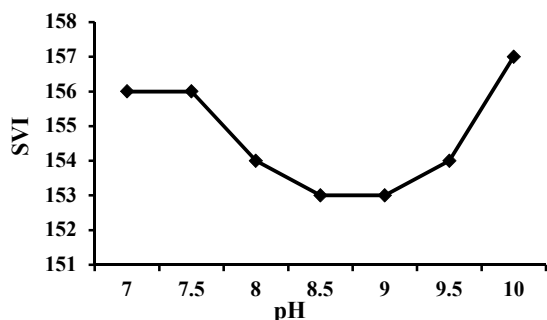


Fig. 7. The effect of pH on SVI
شکل ۷- اثر pH بر SVI

شکل، در F/M پایین و کمتر از ۰/۲۵ به دلیل کمبود خوراک و رقابت بین باکتری‌های رشته‌ای و باکتری‌های فلاک‌ساز برای دریافت خوراک، باکتری‌های رشته‌ای غالب و میزان خوراک بیشتری را دریافت می‌کنند. از این رو با افزایش جمعیت باکتری‌های رشته‌ای، بالا آمدن لجن ناشی از آن افزایش و میزان ته‌نشینی کاهش و نیز SVI به میزان قابل توجهی زیاد خواهد شد. با افزایش میزان خوراک نسبت به غلظت میکروارگانیزم، باکتری‌های فلاک‌ساز خوراک بیشتری را به دست خواهند آورد و کم‌کم با افزایش جمعیت فلاک‌سازها میزان شاخص ته‌نشینی بهبود یافته و در محدوده ۰/۳۵ بهترین وضعیت ته‌نشینی به دست می‌آید. با افزایش میزان خوراک و گذر از محدوده ۰/۴ به دلیل افزایش میزان COD در خوراک ورودی، شوک‌های ناشی از بار آلی اضافی را در پی داشته و این موضوع سبب مختل شدن فعالیت باکتری‌های لخته‌ساز و رشد سایر باکتری‌های نامطلوب خواهد شد. از این رو مجدداً وضعیت ته‌نشینی دچار اختلال می‌شود و رو به کاهش رفته و شاخص ته‌نشینی افزایش می‌یابد.

در پژوهشی با بررسی و انجام آزمایش مشخص شد، در F/M بیش از ۰/۵ COD/Kg.MLSS.day و سن لجن کمتر از ۵ روز سوبسترای ذخیره شده کاملاً متابولیزه نخواهد شد که اثر سوء بر ظرفیت ذخیره‌سازی و بهره‌وری از سلکتور خواهد داشت. در F/M محدوده ۳ تا ۴ و حداقل سن لجن ۵ روز برای اطمینان از ممانعت و بروز بالکینگ تعیین شد (Prendl and Kroiß, 1998).

جراردی در بررسی‌های خود مشخص کرد که در F/M کمتر از ۱،۵، باکتری‌های رشته‌ای از نوع ۰،۰۶۷۵، ۰،۰۴۱، ۱۸۵۱ و ۰،۸۰۳ از عوامل ایجادکننده بالکینگ و کاهش ته‌نشینی هستند (Gerardi, 2003).

کمتر از ۱۵۰ mg/L باقی می‌ماند. در مقابل، در حالت کمبود فسفر در SBRs هم بالکینگ رشته‌ای و هم بالکینگ غیررشته‌ای مشاهده شد. بالکینگ رشته‌ای به شدت مربوط به رشد باکتری‌های *N. limicola-like* و *T. nivea* است. در حالی که وقوع بالکینگ غیررشته‌ای به علت کربوهیدرات بیشتر و پروتئین کمتر در EPS است (Guo et al., 2014).

۳-۵- بررسی اثر pH بر SVI

با استفاده از سود سوزآور میزان pH پساب ورودی به مخزن هوادهی، در محدوده‌های تعیین شده تنظیم و میزان ته‌نشینی بررسی شد.

با توجه به شکل ۷، pH بالا و پایین به طور نامطلوبی بر تشکیل لخته اثرگذار هستند. تشکیل لخته مناسب در محدوده pH معادل ۸/۵ رخ می‌دهد. در pHهای کمتر از ۸ و بیشتر از ۹، به دلیل اختلال در بار فیبریل باکتریایی تشکیل لخته فرایند لخته‌سازی دچار مشکل خواهد شد. ذرات لخته ضعیف و شناور می‌شوند، چون سلول‌های باکتری محکم به یکدیگر متصل نشده‌اند و این موضوع سبب کاهش میزان ته‌نشینی در حوض ته‌نشینی و افزایش SVI خواهد شد.

کوکینا و همکاران در سال ۲۰۲۲، اثر pH در تصفیه فاضلاب با روش لجن فعال در راکتورهای SBR را بررسی کردند. تأثیر سمی pH معادل ۶/۵ و ۸/۵ بررسی شد. آنها نشان دادند که pH معادل ۸/۵ به علت تشکیل غلظت زیاد آمونیاک آزاد ارجح‌تر است و خطر کم بازدارندگی مرحله دوم نیتریفیکاسیون (تبدیل نیتريت به نیترات) را اثبات کرد. با این حال، راکتور در pH معادل ۶/۵ بازدارندگی مرحله اول نیتریفیکاسیون (تبدیل آمونیاک به نیتريت‌ها) را نشان داد که به وسیله تشکیل نیترو اسید آزاد به وجود آمد. سطوح بالای آمونیاک باعث کاهش در جمعیت microfauna کلی شد، در حالی که جمعیت *Zoogloea*, *gymnamoebae* و *Chilodonella sp.* پس از ۷۲ ساعت بازدارندگی افزایش یافت. تأثیر مخرب pH اسیدی باعث تخلیه لجن از راکتور و در نتیجه بار آلی بالاتر بر روی فرایند لجن فعال و افزایش فوم لجن به دلیل جمعیت بیشتر *Zoogloea* شد (Kokina et al., 2022).

۳-۶- بررسی اثر میزان F/M بر SVI

شکل ۸، اثر میزان F/M بر SVI را نشان می‌دهد. با توجه به این



مخزن هوادهی در مقیاس اصلی واحد تصفیه‌خانه پتروشیمی شهید تندگویان نمونه‌برداری و میزان ته‌نشینی آن اندازه‌گیری شد که به دلیل مشکل عدم ته‌نشینی مناسب، میزان SVI اولیه آن کمتر از ۳۵۰ به دست آمد. سپس با استفاده از محلول پلی‌الکترولیت کاتیونی ۰/۱ درصد آماده‌سازی شده و آزمایش جارتست، میزان دوز بهینه برای کمک به بهبود ته‌نشینی تعیین شد. بر اساس پژوهش‌های انجام شده در میزان دوز TSS/L، ۲/۸ mg/gr از پلی‌الکترولیت کاتیونی آزمایش جارتست، شروع و مشاهده شد که میزان SVI نسبت به زمان اولیه که از ماده کمک منعقدکننده استفاده نشده کمی بهتر شده ولی همچنان نسبت به نتیجه مطلوب فاصله زیادی داشت. میزان دوز را به میزان TSS/L، ۰/۵ mg/gr در هر بار آزمایش افزایش داده و مشاهده شد که در میزان دوز TSS/L، ۴/۸ mg/gr در مدت زمان ۱ ساعت و ۳۰ دقیقه بهترین حالت ته‌نشینی به دست آمد. در دوزهای بیش از TSS/L، ۴/۸ mg/gr میزان ته‌نشینی تغییر چندانی نکرده و روند ثابت و یا معکوس را در پی خواهد داشت. نتایج در شکل ۹ نشان داده شده است.

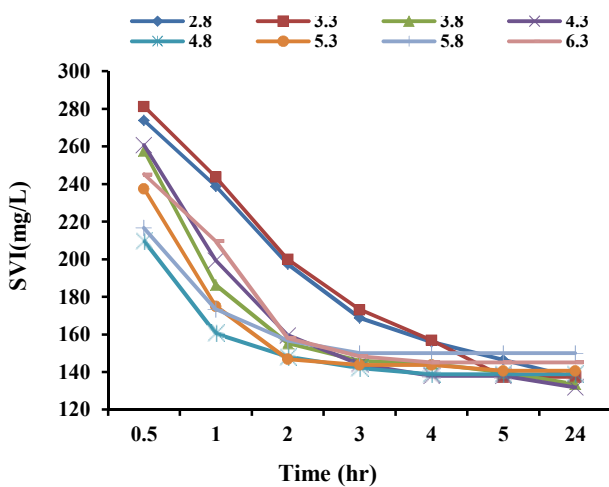


Fig. 9. The effect of cationic polyelectrolyte coagulant on SVI

شکل ۹- اثر منعقدکننده پلی‌الکترولیت کاتیونی SVI

الدوری و همکاران در سال ۲۰۱۵، پژوهشی بر روی تصفیه‌خانه Nizwa انجام دادند. آنها گزارش دادند که استفاده از پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی تقریباً منجر به ۵۰ درصد کاهش در ضخامت رسوب و افزایش سرعت ته‌نشینی می‌شود و این در حالی است که در مقایسه با آن پلی‌الکترولیت آنیونی حداکثر منجر به

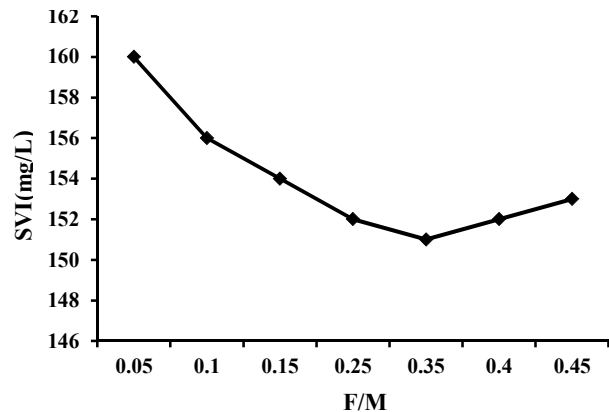


Fig. 8. The effect of F/M on SVI

شکل ۸- اثر F/M بر SVI

۳-۷- بررسی استفاده از یک کمک منعقدکننده برای بهبود ته‌نشینی

پلیمرهای کاتیونیک و یون‌های فلزات، مواد شیمیایی هستند که معمولاً برای اصلاح تولید و فرار جامدات ریز استفاده می‌شوند. این مواد شیمیایی یا به صورت سیستم یک جزئی (یگانه) که در آن فقط از پلیمر یا نمک‌های فلزات استفاده می‌شود و یا به صورت سیستم دو جزئی (دوگانه) که در آن از پلیمر و نمک فلزات استفاده می‌شود، کاربرد دارند. صرف نظر از اینکه چه ماده شیمیایی استفاده شده، این مواد شیمیایی باید در آزمایشگاه با پساب مایع مخلوط آزمایش شوند تا از بار، وزن و دوز مناسب پلیمر و نیز دوز مناسب نمک‌های فلزات اطمینان حاصل شود. مواد شیمیایی باید به پساب مایع مخلوط یا جریان ورودی به زلال‌ساز ثانویه افزوده شوند.

افزودن پلیمر، باعث به دام افتادن یا چسبیدن بسیاری از جامدات ریز به یکدیگر شده و یا اینکه جامدات را به ذرات لخته متصل می‌کند. افزودن پلیمرها همچنین باعث بهبود چگالی ذرات لخته نیز می‌شود. افزودن نمک‌های فلزات باعث به دام افتادن برخی جامدات از طریق اتصال آنها به ذرات لخته می‌شود. نمک‌های فلزات باعث کمک به بهبود چگالی ذرات لخته شده و همچنین وزن ذرات لخته را نیز افزایش می‌دهند. بهبود چگالی و افزایش وزن لخته‌ها، در ته‌نشینی ذرات لخته کوچک و پراکنده در زلال‌ساز ثانویه نقش مهمی دارند.

در این آزمایش از کمک منعقدکننده پلی‌الکترولیت کاتیونی (ترکیبی از کopolymer آکریل آمید به همراه مشتقات اسید آکرلیک کاتیونی) ۰/۱ درصد محلول‌سازی شده استفاده شد. در ابتدا از



MLSS موجود در سیستم و همچنین استفاده از مواد لخته‌ساز برای جلوگیری از فرار جامدات و افزایش میزان ته‌نشینی در حوض زلال‌ساز استفاده شد. نتایج نشان داد که بهترین شرایط ته‌نشینی در دمای ۲۵ تا ۳۵ درجه سلسیوس، pH محدودده ۸/۵، مواد مغذی نیتروژن و فسفر نسبت به میزان آلودگی (COD/N/P) در محدوده ۱۰۰/۴/۱ تا ۱۰۰/۵/۱، DO معادل ۲ تا ۳ mg/L، F/M برابر با ۰/۳۵، MLSS در محدوده ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ ppm و میزان دوز در مدت زمان ۱۸۰ دقیقه به دست آمد.

۵- قدرتدانی

به این وسیله، از حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر در انجام این پژوهش قدرتدانی می‌شود.

کاهش ۲۰ درصدی در ضخامت رسوب می‌شود و منطقه ته‌نشینی به طور قابل توجهی کندتر شده است. کدورت کمتر، شاخص حجم لجن کمتر، سرعت ته‌نشینی منطقه سریع تر و تراکم لخته بزرگتر، با استفاده از پلی‌الکترولیت‌های کاتیونی در مقایسه با پلی‌الکترولیت آنیونی به دست آمد (Al-Dawery, 2015).

۴- نتیجه‌گیری

هدف از این پژوهش، بررسی عوامل مؤثر بر پدیده بالکینگ، کنترل و بهبود شرایط ته‌نشینی لجن خروجی از حوضچه‌های هوادهی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن فعال بود. به این منظور از یک سیستم آزمایشگاهی در مقیاس پایلوت برای ارزیابی اثر پارامترهای بهره‌برداری و آزمایشگاهی مانند pH، دمای پساب ورودی به حوض هوادهی، میزان مواد مغذی و میزان غلظت

References

- Al-Dawery, S. K. 2015. Conditioning process and characterization of fresh activated sludge. *International Journal of Engineering Science Technologies*, 10, 692-711.
- Al-Mutairi, N. Z. 2009. Aerobic selectors in slaughterhouse activated sludge systems: a preliminary investigation. *Bioresource Technology*, 100, 50-58. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.030>.
- Alattabi, A. W., Harris, C. B., Alkhaddar, R. M., Ortoneda-Pedrola, M. & Alzeyadi, A. T. 2019. An investigation into the effect of MLSS on the effluent quality and sludge settleability in an aerobic-anoxic sequencing batch reactor (AASBR). *Journal of Water Process Engineering*, 30, 100479. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2017.08.017>.
- Banti, D. C., Tsali, A., Mitrakas, M. & Samaras, P. 2020. The dissolved oxygen effect on the controlled growth of filamentous microorganisms in membrane bioreactors. *Environmental Sciences Proceedings*, 2, 39. <https://doi.org/10.3390/envirosciproc2020002039>.
- Bhathena, J., Driscoll, B. T., Charles, T. C. & Archibald, F. S. 2006. Effects of nitrogen and phosphorus limitation on the activated sludge biomass in a kraft mill biotreatment system. *Water Environment Research*, 78, 2303-2310. <https://doi.org/10.2175/106143006X95401>.
- Burger, W., Krysiak-Baltyn, K., Scales, P. J., Martin, G. J., Stickland, A. D. & Gras, S. L. 2017. The influence of protruding filamentous bacteria on floc stability and solid-liquid separation in the activated sludge process. *Water Research*, 123, 578-585. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.06.063>.
- Cai, Y., Yan, Z., Ou, Y., Peng, B., Zhang, L., Shao, J., et al. 2022. Effects of different carbon sources on the removal of ciprofloxacin and pollutants by activated sludge: mechanism and biodegradation. *Journal of Environmental Sciences*, 111, 240-248. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2021.03.037>.
- Droste, R. L. 1997. *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment*. John Wiley & Sons. New York, USA.



- Fan, N. S., Qi, R., Huang, B. C., Jin, R. C. & Yang, M. 2020. Factors influencing candidatus microthrix parvicella growth and specific filamentous bulking control: a review. *Chemosphere*, 244, 125371. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125371>.
- Fan, N., Wang, R., Qi, R., Gao, Y., Rossetti, S., Tandoi, V., et al. 2018. Control strategy for filamentous sludge bulking: bench-scale test and full-scale application. *Chemosphere*, 210, 709-716. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.07.028>.
- Ferreira, V., Martins, C., Pereira, M. O. & Nicolau, A. 2014. Use of an aerobic selector to overcome filamentous bulking in an activated sludge wastewater treatment plant. *Environmental Technology*, 35, 1525-1531. <https://doi.org/10.1080/09593330.2013.872196>.
- Gerardi, M. H. 2003. *Settleability Problems and Loss of Solids in the Activated Sludge Process*, John Wiley & Sons. Hoboken, New Jersey, USA.
- Gunawardana, E., Jayakody, M. & Bandara, J. 2016. Importance of proper monitoring and maintenance of on-site wastewater treatment systems in Sri Lanka. *The 7th International Conference on Sustainable Built Environment*, Kandy, Sri Lanka.
- Guo, J., Peng, Y., Wang, S., Yang, X. & Yuan, Z. 2014. Filamentous and non-filamentous bulking of activated sludge encountered under nutrients limitation or deficiency conditions. *Chemical Engineering Journal*, 255, 453-461. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2014.06.075>.
- Hammadi, L., Ponton, A. & Belhadri, M. 2012. Effects of heat treatment and hydrogen peroxide (H₂O₂) on the physicochemical and rheological behavior of an activated sludge from a water purification plant. *Procedia Engineering*, 33, 293-302. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2012.01.1207>.
- He, Q., Zhang, J., Gao, S., Chen, L., Lyu, W., Zhang, W., et al. 2019. A comprehensive comparison between non-bulking and bulking aerobic granular sludge in microbial communities. *Bioresource Technology*, 294, 122151. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122151>.
- Jenkins, D., Richard, M. G. & Daigger, G. T. 2003. *Manual on the causes Causes and Control of Activated Sludge Bulking, Foaming, and Other Solids Separation Problems*, CRC Press. Boca Raton, Florida, USA. <https://doi.org/10.1201/9780203503157>.
- Juang, D. & Chiou, L. 2007. Microbial population structures in activated sludge before and after the application of synthetic polymer. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 4, 119-125. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122151>.
- Kokina, K., Mezule, L., Gruskevica, K., Neilands, R., Golovko, K. & Juhna, T. 2022. Impact of rapid pH changes on activated sludge process. *Applied Sciences*, 12, 5754. <https://doi.org/10.3390/app12115754>.
- Koopman, B. & Bitton, G. 1987. Effect of suspended solids concentration and filament type on the toxicity of chlorine and hydrogen peroxide to bulking activated sludge. *Toxicity Assessment*, 2, 49-62. <https://doi.org/10.1002/tox.2540020105>.
- Kravchenko, A. & Zalevskii, V. 2009a. A technique for normalizing the operation of biological wastewater treatment plants during the bulking of activated sludge. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 31, 334-340. <https://doi.org/10.3103/S1063455X09050105>.
- Kravchenko, A. & Zalevskii, V. 2009b. A technique for normalizing the operation of biological wastewater treatment plants during the bulking of activated sludge. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 31, 334. <https://doi.org/10.3103/S1063455X09050105>.



- Lee, S., Basu, S., Tyler, C. & Pitt, P. 2003. A survey of filamentous organisms at the Deer Island treatment plant. *Environmental Technology*, 24, 855-865. <https://doi.org/10.1080/09593330309385622>.
- Li, W. M., Liao, X. W., Guo, J. S., Zhang, Y. X., Chen, Y. P., Fang, F., et al. 2020. New insights into filamentous sludge bulking: the potential role of extracellular polymeric substances in sludge bulking in the activated sludge process. *Chemosphere*, 248, 126012. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126012>.
- Liu, J., Yang, Q., Wang, D., Li, X., Zhong, Y., Li, X., et al. 2016. Enhanced dewaterability of waste activated sludge by Fe (II)-activated peroxydisulfate oxidation. *Bioresource Technology*, 206, 134-140. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.088>.
- Madoni, P., Davoli, C., Davoli, D., Guglielmi, L., Pergetti, M. & Stefanini, C. 2005. *Depurazione Biologica Nei Fanghi Attivi*. Università degli Studi di Parma, Parma, Italy.
- Madoni, P., Davoli, D. & Gibin, G. 2000. Survey of filamentous microorganisms from bulking and foaming activated-sludge plants in Italy. *Water Research*, 34, 1767-1772. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00352-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00352-8).
- Martins, A., Heijnen, J. & Van Loosdrecht, M. 2003. Effect of dissolved oxygen concentration on sludge settleability. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 62, 586-593. <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1384-6>.
- Miłobędzka, A., Witeska, A. & Muszyński, A. 2016. Factors affecting population of filamentous bacteria in wastewater treatment plants with nutrients removal. *Water Science and Technology*, 73, 790-797. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.541>.
- Nilsson, F., Hagman, M., Mielczarek, A. T., Nielsen, P. H. & Jönsson, K. 2014. Application of ozone in full-scale to reduce filamentous bulking sludge at Öresundsverket WWTP. *Ozone: Science and Engineering*, 36, 238-243. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(99\)00352-8](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(99)00352-8).
- Ojo, P. & Ifelebuegu, A. O. 2018. The impact of aluminium salt dosing for chemical phosphorus removal on the settleability of activated sludge. *Environments*, 5, 88. <https://doi.org/10.3390/environments5080088>.
- Pang, Y. C., Xi, J. Y., Xu, Y., Huo, Z. Y. & Hu, H. Y. 2016. Shifts of live bacterial community in secondary effluent by chlorine disinfection revealed by Miseq high-throughput sequencing combined with propidium monoazide treatment. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 100, 6435-6446. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7452-5>.
- Peng, Y., Gao, C., Wang, S., Ozaki, M. & Takigawa, A. 2003. Non-filamentous sludge bulking caused by a deficiency of nitrogen in industrial wastewater treatment. *Water Science and Technology*, 47, 289-295. <https://doi.org/10.2166/wst.2003.0617>.
- Prendl, L. & Kroiß, H. 1998. Bulking sludge prevention by an aerobic selector. *Water Science and Technology*, 38, 19-27.
- Saayman, G., Schutte, C. & Van Leeuwen, J. 1998. Chemical control of filamentous sludge bulking in a full-scale biological nutrient removal activated sludge plant. *The Journal of the International Ozone Association*, 20, 1-15.
- Sam, T., Le Roes-Hill, M., Hoosain, N. & Welz, P. J. 2022. Strategies for controlling filamentous bulking in activated sludge wastewater treatment plants: the old and the new. *Water*, 14, 3223. <https://doi.org/10.3390/w14203223>.



- Sodell, J. & Seviour, R. 1990. Microbiology of foaming in activated sludge plants. *Journal of Applied Bacteriology*, 69, 145-176.
- Speirs, L. B., Rice, D. T., Petrovski, S. & Seviour, R. J. 2019. The phylogeny, biodiversity, and ecology of the Chloroflexi in activated sludge. *Frontiers in Microbiology*, 10, 2015. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02015>.
- Starkey, J. E. & Karr, P. 1984. Effect of low dissolved oxygen concentration on effluent turbidity. *Journal Water Pollution Control Federation*, 837-843. <https://doi.org/10.1007/s00253-016-7452-5>.
- Tomlinson, E. 1979. Methods for prevention of bulking in activated sludge. *Pascal and Francis Bibliographic Databases*, 78, 524-538.
- Tsang, Y. F., Hua, F., Chua, H., Sin, S. & Wang, Y. 2007. Optimization of biological treatment of paper mill effluent in a sequencing batch reactor. *Biochemical Engineering Journal*, 34, 193-199.
- Xie, B., Dai, X. C. & Xu, Y. T. 2007. Cause and pre-alarm control of bulking and foaming by *Microthrix parvicella*-a case study in triple oxidation ditch at a wastewater treatment plant. *Journal of Hazardous Materials*, 143, 184-191. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2006.09.006>.
- Zaidi, N. S., Syafiuddin, A., Sillanpää, M., Bahrodin, M. B., Zhan, L. Z., Ratnasari, A., et al. 2022. Insights into the potential application of magnetic field in controlling sludge bulking and foaming: a review. *Bioresource Technology*, 127416. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2022.127416>.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

