Poor Settling and Compactibility of Sludge in Zargandeh Secondary Clarifiers

Azmim, A.A., Assist. Prof., University of Tehran
Shaghaghi, Gh., M.Sc. Student, Universtiy of Tehran

Abstract

One of the problems that often happens in activated sludge systems is poor settling and compactibility of sludge in secondary clarifiers. Poor settlling of sludge causes decreasing quality of treated wastewater and increasing cost of sludge treatment.

In this project, causes of poor settling and compactibility of sludge was determined by experimental study in Zargandeh Wastewater Treatment Plant in Tehran. In the firs stage, sludge settling characteristics was determined by calculating sludge volume index (SVI). Because one of the causes of sludge rising and flotating is denitrification, denitrification phenomenon was investigated in the second stage by measurement of various compounds.of nitrogen In the third stage, sludge flocs were investigated in the second stage by microscope for determining floc structure and bulking phenomenon and consequently identification of filamentous bacteria. The dominant bacteia that cause bulking in Zargandeh wastewater treatment plant is *M. parvicella* and secondary bacteria is type 0092. The growth of these bacteria were probably arised from low F/M, low DO and completely mixed hydraulic regime of the aeration basin. In the fourth stage, design criteria and operation paramenters of the treatment palnt were controled. The comparison of these data showed that secondary clarifiers were hydraulically over loaded.

بررسی و تعیین علل ته‌نشینی و تغلیظ نامناسب لجن در حوض ته‌نشینی ثانویه در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده تهران

علی‌اکبر عظیمی* غلامرضا شقاقی**

چکیده

یکی از مشکلاتی که در اغلب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن فعال ایجاد می‌شود عدم ته‌نشینی مناسب لجن و فشردگی آن در حوض ته‌نشینی ثانویه می‌باشد. ته‌نشینی نامناسب لجن علاوه بر افت کیفیت فاضلاب خروجی باعث افزایش هزینه‌های تصفیه لجن می‌شود. در این طرح که در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده انجام شده است، علل ته‌نشینی نامناسب و عدم فشردگی لجن در حوض ته‌نشینی ثانویه به روش آزمایشگاهی بررسی شده است. در مرحله اول خصوصیات ته‌نشینی لجن در تصفیه‌خانه زرگنده با محاسبه شاخص حجمی لجن تعیین شد. در مرحله دوم با اندازه‌گیری شکل‌های مختلف نیتروژن، پدیده دنیتریفیکاسیون مورد بررسی قرار گرفت. در مرحله سوم بررسی میکروسکوپی لخته‌ها انجام شد تا وضعیت تشکیل لخته و پدیده بالکینگ بررسی شود که منجر به شناسایی باکتری‌های رشته‌ای ایجاد کننده بالکینگ در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده گردید. باکتری‌های ایجاد کننده بالکینگ در تصفیه‌خانه به ترتیب اولویت ام. پاروبسلا و تیپ ۰۰۹۲ می‌باشد. رشد این باکتری‌ها احتمالاً به دلیل پایین بودن نسبت غذا به میکروارگانیسم، کمبود اکسیژن محلول در حوض هوادهی و رژیم اختلاط کامل حوض هوادهی تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده می‌باشد. در مرحله چهارم مبانی طراحی و راهبری تصفیه‌خانه کنترل گردید و مشخص شد که این تصفیه‌خانه با مشکل بار هیدرولیکی اضافی نیز مواجه است.

مقدمه

در قرن جاری در بسیاری از کشورهای جهان، خصوصاً کشورهایی که با کمبود زمین مواجه هستند، برای تصفیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی از روش‌های مختلف فرایند لجن فعال، استفاده شده است و دلیل این امر عمدتاً، ضمانت این سیستم در تولید فاضلاب تصفیه شده با کیفیت مطلوب، نیاز به زمین کمتر و عدم ایجاد بوی بد می‌باشد. در فرایند لجن فعال، صرف نظر از واحدهای جنبی دو یکان اصلی به نام حوض هوادهی و حوض ته نشینی ثانویه وجود دارد. در حوض

*- دکترای مهندسی بهداشت و عضو هیأت علمی دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران
**- کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست

هوادهی با انجام عمل هوادهی شرایط لازم برای رشد میکروارگانیسم‌های هوازی فراهم می‌شود. این میکروارگانیسم‌ها با مصرف مواد آلاینده به ویژه مواد آلی، فاضلاب را تصفیه می‌کنند. نکته قابل توجه این است که بیشتر میکروارگانیسم‌های موجود در حوض هوادهی به صورت منفرد زندگی نمی‌کنند بلکه در توده‌های نسبتاً بزرگی جمع می‌شوند که اصطلاحاً به آن "لخته بیولوژیکی[1]" می‌گویند.

در نهایت در حوض هوادهی مخلوطی از لخته‌های بیولوژیکی و فاضلاب تصفیه شده به وجود می‌آید. به منظور جداکردن لخته‌های بیولوژیکی از فاضلاب تصفیه شده باید شرایط مناسب برای ته‌نشینی ثقلی فراهم شود. اگر چه در سال‌های اخیر برای زلال‌سازی فاضلاب تصفیه شده از عمل شناور سازی با هوای محلول[2] نیز استفاده می‌شود ولی در تمامی تصفیه‌خانه‌هایی که در گذشته ساخته شده‌است این عمل با به کارگیری حوض ته‌نشینی ثانویه صورت می‌گیرد. کار حوض ته‌نشینی ثانویه تولید فاضلاب تصفیه شده زلال در قسمت بالا و تغلیظ لجن در قسمت پایین (کف) آن می‌باشد. بازده تصفیه در این تصفیه‌خانه‌ها تا حد زیادی به تشکیل لخته‌های مناسب وابسته است که چگالی آن نسبت به فاضلاب تصفیه شده بیشتر بوده و در حوض ته‌نشینی به آسانی ته‌نشین می‌شود. مشکلاتی که در فرایند لجن فعال ایجاد می‌شود بیشتر به تشکیل لخته‌های نامناسب مربوط است. بیش از نیمی از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به روش لجن فعال در سراسر جهان به طور دائم یا گهگاه با این مشکل مواجه هستند. عدم ته‌نشینی مناسب لجن سبب خروج لخته‌های بیولوژیکی همراه با فاضلاب تصفیه شده و عدم تغلیظ لجن می‌گردد. کاهش غلظت لجن برگشتی باعث کاهش غلظت میکروارگانیسم‌ها در حوض هوادهی شده و عملکرد حوض هوادهی با مشکل مواجه می‌شود. از طرف دیگر با رقیق شدن لجن مازاد دفعی هزینه‌های پمپاژ، تغلیظ و آبگیری از لجن افزایش می‌یابد. بنابراین عدم ته‌نشینی نامناسب لجن باعث کاهش بازده تصفیه و تحمیل هزینه‌های اضافی می‌شود. با توجه به این که در سال‌های آتی در بسیاری از شهرهای ایران (از جمله شهر تهران) تصفیه‌خانه‌های فاضلاب از نوع لجن فعال ساخته خواهد شد و احتمال روبرو شدن با این مشکل وجود دارد، شناخت و تعیین علل احتمالی ته‌نشینی نامناسب و عدم فشردگی لجن ضرورت دارد، تا بتوان راه‌حل‌های مناسب را برای حل مشکل ارائه داد. از طرف دیگر با شناخت علل ته‌نشینی نامناسب لجن، می‌توان طراحی و راهبری تصفیه‌خانه‌هایی راکه در آینده ساخته خواهند شد به گونه‌ای انجام داد که حتی‌المقدور با این مشکل مواجه نشوند.

مراحل مطالعه

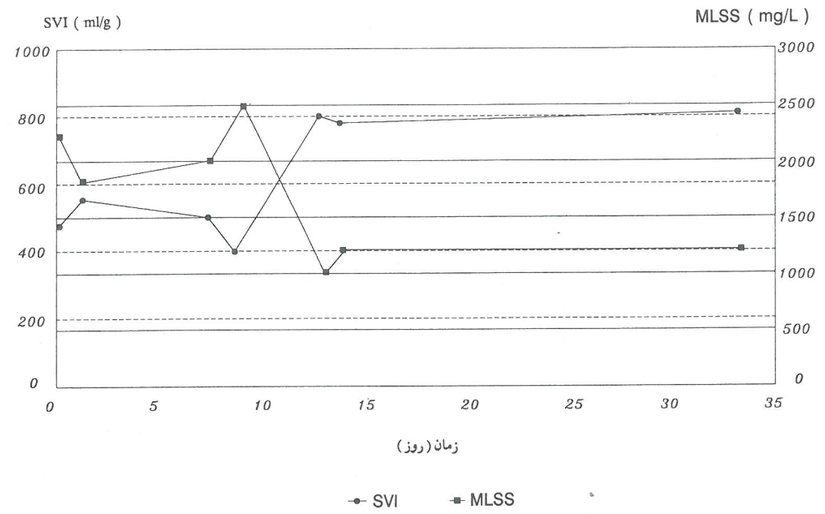
مراحل مطالعه برای بررسی ته‌نشینی نامناسب لجن و عدم فشردگی آن در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده به ترتیب زیر بوده است:

۱- **تعیین خصوصیات ته‌نشینی لجن:** برای تعیین خصوصیات ته‌نشینی لجن از شاخص حجمی لجن[3] استفاده شده است. نمودار ۱ تغییرات شاخص حجمی لجن و غلظت مواد معلق در حوض هوادهی[4] را در مدت انجام آزمایش‌ها نشان می‌دهد.

همان طور که نمودار ۱ نشان می‌دهد، شاخص لجن در همه موارد آزمایش شده بزرگتر از ۴۰۰ میلی‌لیتر برگرم بوده که نشان دهنده وخامت وضعیت ته‌نشینی در تصفیه‌خانه می‌باشد. همچنین شایان ذکر است که در روز دوازدهم اقدام به تخلیه لجن در تصفیه‌خانه شد و این کار باعث کاهش غلظت مواد معلق در حوض هوادهی و در نتیجه افزایش شدید شاخص حجمی لجن شده است.

۲- **بررسی پدیده دنیتریفیکاسیون[5]:** وقوع پدیده دنیتریفیکاسیون در حوض ته نشینی ثانویه منجر به بالا آمدن مجدد لجن[6] در این حوض می‌شود و علت آن نیز ایجاد شرایط آنوکسیک در حوض ته‌نشینی ثانویه و تبدیل نیترات (نیتریت) تولید شده در حوض هوادهی به گاز نیتروژن می‌باشد. حباب‌های گاز نیتروژن در لخته‌های ته‌نشین شده جمع شده و آن را سبک و شناور می‌نماید. خراب بودن پاروهای لجن‌روب،

1- Biological Floc
2- Dissolved Air Flotation
3- Sludge Volume Index (SVI)
4- Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)
5- Denitrification
6- Sludge Rising



نمودار ۱ - تغییرات شاخص حجمی لجن و غلظت مواد معلق مایع مخلوط حوض هوادهی در بخشی از دوره تحقیق

تلمبه و یا تخلیه لجن و طراحی نامناسب حوض ته‌نشینی ثانویه از نظر شکل و زمان ماند لجن ایجاد شرایط آنوکسیک را تشدید می‌کند. نمودار ۲ تغییرات غلظت نیترات در فاضلاب ورودی، استخر هوادهی و فاضلاب تصفیه شده و خروجی را نشان می‌دهد. نمودار ۳ نیز تغییرات میزان غلظت آمونیاک در فاضلاب خام ورودی و فاضلاب تصفیه شده خروجی را نشان می‌دهد.

مقایسه نمودارهای ۲ و ۳ نشان می‌دهد که اولاً بخش قابل توجهی از آمونیاک موجود در فاضلاب خام توسط باکتری‌های نیترات ساز به نیترات تبدیل شده است. ثانیاً غلظت نیترات در حوض ته نشینی ثانویه کاهش نیافته است . بنابراین وقوع پدیدهٔ دنیتریفیکاسیون در حوض ته‌نشینی ثانویه نمی‌تواند عامل شناور شدن لخته‌های لجن در این حوض باشد.

۳- *بررسی میکروسکوپی لخته‌ها:* مشاهده میکروسکوپی لخته‌ها نشان داد که ساختمان لخته‌ها بسیار نامناسب است و باکتری‌های رشته‌ای رشد بیش از اندازه دارند و تصفیه‌خانه دچار مشکل بالکینگ[1] رشته‌ای می‌باشد. با استفاده از کلیدهای شناسایی [۲] باکتری رشته‌ای غالب در این تصفیه‌خانه شناسایی شد و مشخص گردید که باکتری‌های از نوع ام. پارویسلا[2] و تیپ ۰۰۹۲ با فراوانی کمتر نسبت به ام. پاریسلا می‌باشد. شکل ۱ تصویر میکروسکوپی وقوع بالکینگ در نمونه لجن حوض هوادهی را نشان می‌دهد.

- عوامل ایجادکننده بالکینگ در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده:

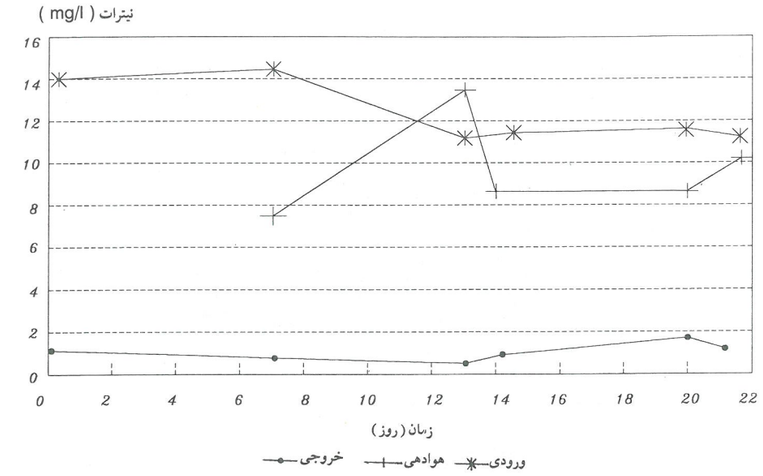
بررسی‌های کتابخانه‌ای نشان می‌دهد که یکی از دلایل اصلی رشد زیاد هر دو نوع باکتری ام. پارویسلا و تیپ ۰۰۹۲، کوچک بودن نسبت غذا به میکروارگانیسم[3] در حوض هوادهی می‌باشد همچنین کمبود اکسیژن و وجود مقادیر زیاد چربی باعث تحریک رشد این باکتری‌ها می‌شود [۳]. البته می‌توان گفت که تأثیر چربی نیز به دلیل متابولیزه شدن کند آن و در نتیجه کاهش نسبت غذا به میکروارگانیسم است. نسبت غذا به میکروارگانیسم در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده با استفاده از فرمول زیر محاسبه شده است:

$$\frac{F}{M} = \frac{QS}{VX}$$

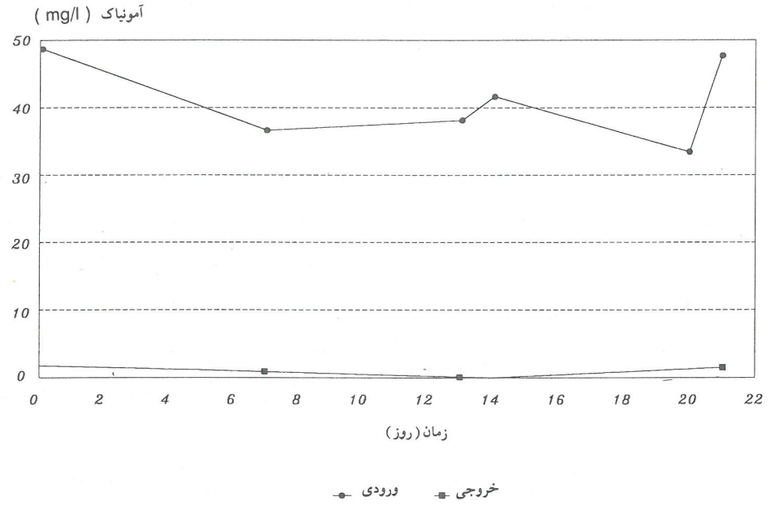
در این رابطه:

Q = دبی فاضلاب ورودی به استخر هوادهی بر حسب مترمکعب در روز

1- Bulking
2- M. Parvicella
3- Food to Microoragnisms Ratio



نمودار ۲ - تغییرات غلظت نیترات در فاضلاب خام، مایع مخلوط حوض هوادهی و فاضلاب تصفیه شده در بخشی از دوره تحقیق



نمودار ۳- تغییرات غلظت آمونیاک در فاضلاب خام و فاضلاب تصفیه شده در بخشی از دوره تحقیق

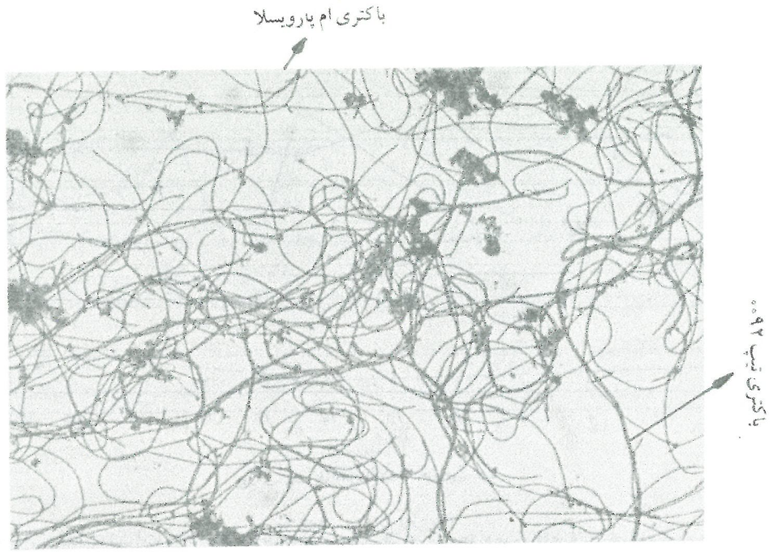
S = متوسط غلظت اکسیژن خواهی بیوشمیایی پنج‌روزه[1] ورودی به حوض هوادهی بر حسب میلی‌گرم در لیتر

X = مقدار متوسط غلظت مواد معلق در حوض هوادهی بر حسب میلی‌گرم در لیتر

V = حجم حوض هوادهی بر حسب مترمکعب

در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده مقادیر Q، S، V و X به ترتیب مساوی ۱۳۸۰ متر مکعب در روز ، ۱۷۰ میلی‌گرم درلیتر، ۶۶۱/۵مترمکعب و ۲۱۱۵ میلی گرم در لیتر می‌باشد که در نتیجه متوسط نسبت غذا به میکروارگانیسم تقریباً معادل ۰/۱۷ در روز می‌باشد.

1- Biochemical Oxygen Demand (BOD)



شکل ۱- تصویر میکروسکوپی نمونه لجن حوض هوادهی (نمایشگر وقوع بالکینگ رشته‌ای شدید بر اثر رشد غیر عادی باکتری‌های ام پارویسلا و تیپ ۰۰۹۲)

- تخمین عدد پراکندگی:

برای بیان مشخصات هیدرولیکی راکتورها از لحاظ چگونگی اختلاط فاضلاب ورودی با لجن موجود در سیستم از عدد پراکندگی " استفاده می‌شود. عدد پراکندگی در راکتور نهرگونه ایده‌آل [1] مساوی صفر است و برای راکتور اختلاط کامل ایده‌آل [2] معادل بی‌نهایت است. ولی عملاً دامنه تغییرات عدد پراکندگی در غالب راکتورهای تصفیه فاضلاب بین ۰/۱ تا ۴ است. وقتی عدد پراکندگی یک راکتور ۰/۲ یا کمتر است می‌توان گفت که جریان به نهرگونه نزدیک شده است. رژیم هیدرولیکی در راکتورهای مختلف چگونگی اختلاط و نحوه توزیع مواد غذایی در طول راکتور را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارسی‌والا [3] با استفاده از مطالعه به‌کمک مواد ردیاب در منابع مختلف برای استخرهای مجهز به هوادهی مکانیکی با عرض کمتر از ۱۰ متر و بدون مانع رابطه تجربی زیر را برای محاسبه عدد پراکندگی به دست آورده است [۱]:

$$D = 2W^2$$

$$d_N = \frac{D}{UL} = \frac{DT}{L^2}$$

در این رابطه:

D= ضریب پراکندگی بر حسب متر مربع بر ثانیه

W= عرض استخر هوادهی بر حسب متر

T= زمان ماند هیدرولیکی بر حسب ساعت

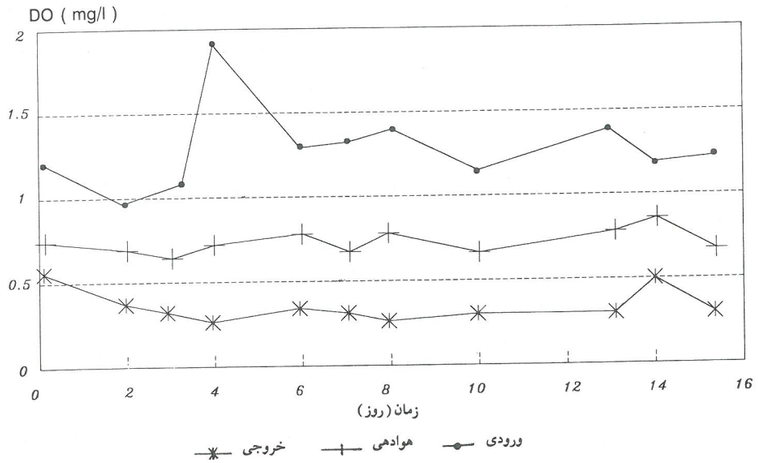
L= طول استخر بر حسب متر

در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده مقادیر L ، W و T برای حوض هوادهی به ترتیب مساوی ۱۸ متر ، ۹ متر و ۶/۵ ساعت می‌باشد. عدد پراکندگی آن مساوی ۳/۲۵ است که نشانگر رژیم هیدرولیکی اختلاط کامل در حوض هوادهی است (البته این روش محاسبه دقیق نیست و لازم است عدد پراکندگی با استفاده از مواد ردیاب تعیین شود.)

- غلظت اکسیژن محلول:

از آنجا که کمبود اکسیژن محلول می‌تواند یکی از عوامل بالکینگ رشته‌ای ایجاد شده در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده باشد، لذا اقدام به اندازه گیری اکسیژن محلول در این تصفیه‌خانه

1- Ideal Plug - Flow Reactor
2- Ideal Completely Mixed Reactor
3- Archivala



نمودار ۴- تغییرات غلظت اکسیژن محلول در فاضلاب ورودی، مایع مخلوط حوض هوادهی و فاضلاب تصفیه شده خروجی در بخشی از دوره تحقیق

شد. نمودار ۴ تغییرات میزان اکسیژن محلول در طول مدت اندازه گیری شده را نشان می‌دهد.

با توجه به نمودار ۴ می‌توان گفت که غلظت اکسیژن محلول در حوض هوادهی تصفیه‌خانه همواره کمتر از یک‌میلی‌گرم در لیتر بوده است در حالی که حداقل مقدار بهینه اکسیژن محلول در استخر هوادهی حدود ۲ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است [۴]. می‌توان نتیجه گیری کرد که احتمالاً یکی از دلایل وقوع بالینگ رشته‌ای در این تصفیه‌خانه پایین بودن غلظت اکسیژن محلول در حوض هوادهی می‌باشد.

۴- بررسی پارامترهای طراحی و راهبری تصفیه‌خانه:

یکی از دلایل عدم ته‌نشینی مناسب لجن انتخاب نامناسب پارامترهای طراحی تصفیه‌خانه و راهبری غلط آن می‌باشد. پارامترهای مهم طراحی تصفیه‌خانه عبارت است از:

- بار جرمی [1]:

محدوده توصیه شده بار جرمی برای حوض ته‌نشینی ثانویه در دبی متوسط مساوی ۱ الی ۵ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت می‌باشد [۴] و بار جرمی برای حوض ته‌نشینی ثانویه در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده معادل ۱/۸ کیلوگرم بر مترمربع در ساعت محاسبه شده که در این محدوده قرار دارد.

- بار هیدرولیکی [2]:

محدوده توصیه شده بار هیدرولیکی در حوض ته‌نشینی ثانویه در دبی متوسط ۱۶-۸ مترمکعب بر مترمربع در روز می‌باشد [۴]. ولی بار هیدرولیکی برای حوض ته‌نشینی ثانویه در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده به طور متوسط بیش از ۲۰ مترمکعب بر مترمربع در روز است، که بزرگتر از محدوده مذکور می‌باشد و تصفیه‌خانه با افزایش بار هیدرولیکی اضافی مواجه است.

- زمان ماند:

زمان ماند هیدرولیکی فاضلاب در حوض ته نشینی ثانویه در تصفیه‌خانه زرگنده برای دبی متوسط ۳/۷ ساعت می‌باشد که کوچکتر از محدوده توصیه شده (۷ تا ۱۱ ساعت) می‌باشد [۴].

مسئله بعدی کوتاه بودن طول سرریزهای حوض‌های ته‌نشینی ثانویه و مسطح بودن آن است که باعث فرار لجن از حوض ته‌نشینی ثانویه می‌شود. برای جلوگیری از این عمل می‌توان با نصب ناودانی طول سرریزها را افزایش داد و لبه آن را کنگره‌ای [3] کرد. راهبری تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده نیز به دلیل

1- Solids Loading Rate
2- Over Flow Rate
3- V-notches

نبودن آمار و انجام نامنظم آزمایش‌ها به صورت تجربی و چشمی انجام می‌گیرد که می‌تواند باعث مشکلاتی در تصفیه‌خانه فاضلاب زرگنده شود.

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق عبارت است از:

- ته‌نشینی نامناسب لجن و فشردگی ضعیف آن در حوض ته‌نشینی ثانویه احتمالاً به دلیل وقوع پدیده بالکینگ رشته‌ای است.

- وقوع پدیده بالکینگ رشته‌ای به دلیل رشد بیش از اندازه باکتری‌های رشته‌ای از نوع ام. پارویسلا و تیپ ۰۰۹۲ است.

- وفور بیشتر باکتری ام. پارویسلا نسبت به باکتری تیپ ۰۰۹۲ در نمونه‌های لجن نشان می‌دهد که عامل اصلی پیدایش پدیده بالکینگ رشد غیر عادی باکتری ام. پارویسلا بوده و تأثیر باکتری تیپ ۰۰۹۲ در پیدایش این پدیده در درجه دوم اهمیت قرار دارد.

- رشد غیر عادی باکتری‌های رشته‌ای مذکور احتمالاً به دلیل کم و یکنواخت بودن نسبت غذا به میکروارگانیسم در حوض هوادهی بوده است. البته کم بودن غلظت اکسیژن محلول در مایع مخلوط حوض هوادهی نیز می‌تواند باعث رشد بیش از اندازه باکتری‌های مذکور شده باشد.

- بالا بودن بار هیدرولیکی و کم بودن زمان ماند هیدرولیکی حوض ته‌نشینی ثانویه احتمالاً تأثیر پدیده بالکینگ بر ته‌نشینی نامناسب لجن را تشدید کرده است.

- سایر پدیده‌ها نظیر بالاآمدن مجدد لجن در حوض ته‌نشینی ثانویه و تولید لخته‌های نوک سوزنی احتمالاً تأثیر مهمی بر شناور شدن لجن در سطح حوض ته‌نشینی ثانویه نداشته است.

پیشنهادها

۱- ساخت پایلوت و انجام آزمایش‌های لازم برای تعیین تأثیر انتخابگر بیولوژیک بر کنترل پدیده بالکینگ و تعیین مبانی دقیق طراحی آن.

۲- اصلاح سیستم هوادهی به منظور رساندن غلظت اکسیژن محلول در مایع مخلوط حوض هوادهی به مقدار بهینه آن.

۳- یکنواخت سازی دبی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه از طریق اصلاح سیستم تلمبه‌خانه ورودی.

۴- جداسازی پیوسته و یکنواخت لجن مازاد بیولوژیک.

۵- کاهش بار هیدرولیکی و افزایش زمان ماند هیدرولیکی حوض ته‌نشینی ثانویه از طریق ساخت حوض ته‌نشینی اضافی.

۶- ساخت و نصب ناودانی و کنگره‌ای کردن لبه سرریزهای آن در حوض ته‌نشینی ثانویه.

منابع و مراجع

۱- یزدانبخش، ا.ر. وندافی، ک.، (۱۳۷۲). «تصفیه فاضلاب»، انتشارات فردابه.

2- Eikelboom, D.H., and Van Buijsen, H.J.J. (1981). " *Microscopic Sludge Investigation Manual* ", TNO Research for Environmental Hygiene, The Netherlands.

3- Jenkins, D., Richard, M.G. and Daiger, G. (1993). " *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming* ", 2nd edition, Lewis Publishers.

4- Metcalf and Eddy, Inc. (1991). " *Wastewater Engineering* ", Third Edition, McGraw - Hill.