

روشی نوین برای راه‌اندازی بیولوژیکی تصفیه‌خانه فاضلاب لجن فعال اراک

فریده عاشوری^۴

محمد محبی^۲

محمد رضا محبی^۳

عبدالرضا خلیلی^۱

پذیرش ۹۲/۴/۲۰

دریافت ۹۱/۷/۱۲

چکیده

راه‌اندازی تصفیه‌خانه از مهم‌ترین مراحل بهره‌برداری است. در این پژوهش روشی نوین برای راه‌اندازی تصفیه‌خانه لجن فعال اراک ارائه شد که مزایایی بیش از سایر روش‌ها دارد. در ابتدا بخشی از جریان فاضلاب به تدریج وارد یکی از حوض‌های هوادهی شد. سپس بذردهی انجام گرفت. به دلیل کم بودن دبی ورودی و حجم حوض هوادهی، مقدار کمتری بذر استفاده شد. پس از رسیدن MLSS حوض تحت بررسی به میزان مورد نظر، بقیه سیستم نیز وارد مدار شد و از لجن تشکیل شده در خود سیستم برای بذردهی استفاده شد. در نهایت به دلیل سردی هوا پس از مدت زمان حدود دو ماه، MLSS کل، تشکیل و دفع لجن مازاد آغاز شد. میزان لجن دفعی با میزان F/M و سن لجن ثابت کنترل شد. در طی دوران راه‌اندازی، روند افزایش MLSS به صورت خطی بود و به دلیل بارگذاری کم، نوسانات آلاینده‌های ورودی کنترل شد. میزان آلاینده‌های خروجی، کمتر از مقدار استاندارد محیط زیست بود. حذف BOD₅ و COD از ۴۰ درصد و ۶۰ درصد به ۹۰ درصد و حذف TSS از ۷۰ درصد به ۹۶ درصد افزایش یافت. از مزایای این روش می‌توان به بارگذاری کم، کنترل بهتر فرایند و صرفه‌جویی در هزینه‌های مربوط به لجن اشاره نمود.

واژه‌های کلیدی: راه‌اندازی، بیومس، لجن، میکروارگانیزم، MLSS

A Novel Method of Biological Start-up in Arak Activated Sludge Wastewater Treatment Plant

A.R. Khalili¹

M.R. Mohebi²

M. Mohebi³

F. Ashoori⁴

(Received Sep. 2, 2012 Accepted June 23, 2013)

Abstract

Startup is one of the most important stages in the operation of a wastewater treatment plant (WWTP). In this paper, a novel method is presented for the startup of Arak Activated Sludge WWTP, which is shown to contain more advantages than other common methods. In this method, a portion of the inflow is initially allowed to enter gradually into an aeration basin prior to seeding. Under these conditions, less seeding is required due to the low flow of the influent and the low volume of the aeration basin. Once MLSS in the basin reaches the desired level, the rest of the system comes into operation and the sludge developed in the system is used for further seeding. In the case of the WWTP in Arak, it took about 2 months for the total MLSS to be developed and wasting the sludge to start because of the cold weather conditions in the region. The wasted sludge was controlled by the F/M ratio at a constant sludge age. During the start-up, the MLSS increase exhibited a linear trend and the low loading allowed for the variation in influent contaminants to be controlled. The effluent contaminants were below the standard levels recommended by the Environment Protection Organization. BOD₅ and COD removals increased from 40% and 60% to 90% and TSS removal increased from 70% to 96%. Lower loading levels, better process control, and lower sludge processing costs are the benefits of this system.

Keywords: Startup, Biomass, Sludge, Microorganism, MLSS.

1. Managing Director of Markazi Province Water and Wastewater Co., Arak
2. Assist. Director of Eng. and Expansion of Markazi Province, Water and Wastewater Co., Arak
3. Technical Office Manager of Markazi Province Water and Wastewater Co., Arak (+98 861) 2784085
4. Technical Office Engineer of Markazi Province Water and Wastewater Co., Arak (Corresponding Author) f_ashoori79@yahoo.com (+98 861) 2784085

- ۱- مدیرعامل شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک
- ۲- معاون مهندسی و توسعه شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک
- ۳- مدیر دفتر فنی شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی، اراک
- ۴- کارشناس دفتر فنی شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی (نویسنده مسئول) f_ashoori79@yahoo.com (+98 861) 2784085

در این روش، از لجن تشکیل شده توسط خود فاضلاب استفاده می‌شود که اصطلاحاً "خود بذرافشانی"^۲ نامیده می‌شود. به این صورت که با ورود بخشی از فاضلاب به کل سیستم، شرایط برای رشد بیومس تا رسیدن به MLSS طراحی، بر حسب دبی ورودی و تشکیل لجن فراهم می‌شود. پس از تشکیل لجن در این بخش از سیستم، می‌توان از لجن تولید شده در بخش‌های دیگر استفاده نمود. از جمله مزیت‌های این روش این است که لجن تشکیل شده در خود سیستم، مشکلات باکتریولوژیکی مانند باکتری‌های رشته‌ای و یا مشکلات شیمیایی مثل فلزات سنگین را نخواهد داشت. در ضمن چون لجن از فاضلاب ورودی تشکیل شده است، دیگر نیازی به زمان بیشتر برای خو گرفتن با محیط و رژیم غذایی جدید نخواهد داشت و میزان مطلوب بیومس سریع‌تر به دست می‌آید. از طرفی هزینه‌ها و مشکلات مربوط به نقل و انتقال لجن نیز وجود ندارد [۸]: روش ۵- این روش که برای اولین بار در راه‌اندازی تصفیه‌خانه فاضلاب اراک به کار گرفته شد، به این ترتیب است که در ابتدا تنها یکی از حوض‌های هوادهی در مدار قرار می‌گیرد و بخشی از فاضلاب به تدریج به آن وارد می‌شود. پس از تشکیل بیومس مورد انتظار در حوض هوادهی، از آن برای کمک به رشد بیومس در حوض‌های دیگر استفاده می‌شود. در نتیجه علاوه بر کنترل شرایط و کاهش بار آلودگی در تصفیه‌خانه در شروع راه‌اندازی، در هزینه نقل و انتقال لجن و مشکلات مربوط به آن نیز صرفه‌جویی می‌شود.

تصفیه‌خانه فاضلاب اراک از دو فرایند برکه تثبیت و لجن فعال تشکیل شده که با ورودی مشترک در کنار هم واقع شده‌اند. تصفیه‌خانه لجن فعال با سن لجن پنج روزه طراحی شده و پساب آن در کشاورزی و آبیاری مورد استفاده قرار می‌گیرد. مراحل تصفیه از آشغالگیر، دانه گیر، ته‌نشینی اولیه، سلکتور، هوادهی، ته‌نشینی ثانویه و کلرژنی تشکیل شده است. از چهار حوض هوادهی موجود یکی رزرو و سه حوض دیگر در حال بهره‌برداری است. در این پژوهش، روش نوینی برای راه‌اندازی تصفیه‌خانه لجن فعال اراک ارائه شد (شکل ۱).

۲- مواد و روش‌ها

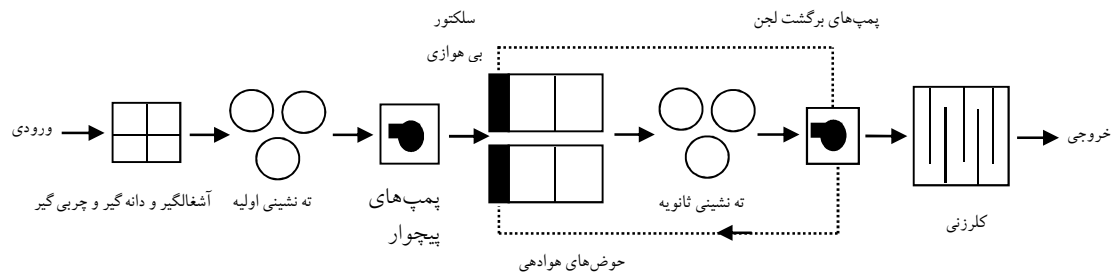
۲-۱- دبی ورودی به سیستم در طی راه‌اندازی

کل متوسط جریان ورودی به تصفیه‌خانه ۵۵۰۰۰ مترمکعب در روز بود که ورود آن به تصفیه‌خانه با تنظیم دریچه مقسم ورودی و با استفاده از دبی‌سنج کنترل شد و مابقی فاضلاب خام از طریق کانال مقسم ورودی به تصفیه‌خانه برکه تثبیت هدایت شد.

راه‌اندازی تصفیه‌خانه از مهم‌ترین مراحل بهره‌برداری آن است. در مرحله اول راه‌اندازی، تجهیزات الکترومکانیکال به‌کار افتاده و جریان هیدرولیکی سیستم تصفیه برقرار می‌شود. سپس با توجه به نوع فرایند تصفیه، راه‌اندازی بیولوژیکی انجام می‌شود. استراتژی راه‌اندازی نامناسب، باعث از بین رفتن بیومس یا عدم تثبیت فرایند خواهد شد [۱]. راه‌اندازی بیولوژیکی تصفیه‌خانه لجن فعال، بستگی به اجتماع میکروبی یک گروه ویژه از میکروارگانیسم‌ها دارد که در شرایط خاصی از دما و بار آلودگی، رشد و تکثیر می‌یابند [۲]. بنابراین یک راه‌اندازی، زمانی موفق است که جمعیتی از میکروارگانیسم‌ها به مقدار مطلوبی که در طراحی تصفیه‌خانه مد نظر قرار گرفته است، برسد [۳]. در مورد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب خانگی متعارف، راه‌اندازی رویدادی است که تنها یک بار در طول عمر تصفیه‌خانه اتفاق می‌افتد؛ اما برخی تصفیه‌خانه‌های کوچک فصلی که تنها بخشی از سال کار می‌کنند، یک یا دو بار در سال نیاز به راه‌اندازی دارند. راه‌اندازی هر تصفیه‌خانه با در نظر گرفتن به نوع سیستم آن، متفاوت است. جامدات معلق در سیستم‌های لجن فعال متحرک‌اند و بنابراین این امکان وجود دارد که بتوان بیومس فعال را به‌عنوان بذر^۱ از یک تصفیه‌خانه به تصفیه‌خانه دیگر با شرایط مشابه افزود و از آن برای تشکیل سریع‌تر بیومس در سیستم کمک گرفت [۴]. پنج روش عمده راه‌اندازی تصفیه‌خانه به روش لجن فعال به شرح زیر وجود دارد: روش ۱- در این روش فاضلاب به‌صورت بخش‌بخش وارد کل سیستم می‌شود و کم‌کم با افزایش MLSS، دبی ورودی به تصفیه‌خانه نیز افزایش می‌یابد. در این روش از بذر استفاده نمی‌شود. از مزایای این روش صرفه اقتصادی و تشکیل یک بیومس تطبیق یافته مناسب است، اما برای تشکیل بیومس به زمان زیادی نیاز است و احتمال تولید بو، تشکیل کف و بالکینگ لجن نیز بسیار است [۵]: روش ۲- در این روش بذر به حوض‌های هوادهی پر از آب افزوده شده و MLSS پیش از ورود فاضلاب خام تشکیل می‌شود. سپس فاضلاب ورودی کم‌کم به سیستم اضافه می‌شود. در این روش در هزینه حمل و نقل کل بیومس مورد نیاز صرفه‌جویی می‌شود، اما این امکان وجود دارد که بیومس تشکیل شده با مشخصات فاضلاب ورودی سازگار نباشد [۶]: روش ۳- در این روش که اغلب برای تصفیه‌خانه‌های کوچک استفاده می‌شود، لجن از تصفیه‌خانه دیگر به همراه ورود فاضلاب خام به تصفیه‌خانه، اضافه می‌شود. این روش سریع‌ترین روش برای رسیدن به MLSS طراحی است. اما از نظر منطقی، حمل و نقل تانکرهای زیاد لجن، غیرعملی و بسیار هزینه‌بر است [۷]: روش ۴-

² Self Seeding

¹ Seed



شکل ۱- شماتیک تصفیه خانه لجن فعال اراک

۲-۲- مشخصات فاضلاب ورودی

بخشی از فاضلاب جمع‌آوری شده از شهر اراک، شامل فاضلاب خانگی و صنعتی ناشی از صنایع گوناگون، به تصفیه‌خانه لجن فعال وارد می‌شود. مشخصات فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه بر اساس میانگین داده‌های آزمایشگاهی موجود در طی دوران راه‌اندازی یعنی دو ماهه اول سال در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب اراک

پارامتر	مقدار (mg/L)
BOD ₅	۱۹۳
COD	۳۶۸
TSS	۱۷۳
SCOD	۱۰۴
SBOD	۷۷
pH	۷/۵
دما (°C)	۱۴

۳-۲- عملیات راه‌اندازی

مراحل راه‌اندازی بیولوژیکی تصفیه‌خانه لجن فعال اراک که از ۱۱ فروردین تا ۱۵ خرداد ۹۱ به طول انجامید، به شرح زیر است: در ابتدا تنها یکی از حوض‌های هوادهی به ابعاد ۴/۵×۲۲×۴۴ مترمکعب در مدار قرار گرفت و ۳ درصد از کل جریان ورودی یعنی ۲۰ لیتر بر ثانیه فاضلاب به سیستم وارد شد و مابقی این حوض، با آب پر شد. پس از طی یک هفته، فاضلاب ورودی به ۶ درصد کل جریان افزایش یافت و ۷ روز دیگر این جریان به ۱۵ درصد کل رسید. هفته پنجم، یک سوم کل جریان وارد حوض هوادهی تحت بررسی شد. با مشاهده پیشرفت کم افزایش بیومس، لجن تصفیه‌خانه فاضلاب تفرش با MLSS به میزان ۳۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و به حجم ۶۰ مترمکعب نیز مستقیماً به حوض هوادهی اضافه شد. این روال ادامه یافت تا جایی که MLSS در حوض هوادهی تحت بررسی به یک سوم MLSS طراحی برابر با

۱۰۸۰ میلی‌گرم در لیتر رسید. در هفته هفتم، حوض هوادهی دوم نیز وارد مدار شد و دبی ورودی به دو سوم جریان کل رسید. یک هفته بعد، حوض سوم و در نهایت کل دبی جریان وارد سیستم شد. از لجن شکل گرفته در حوض‌های قبلی برای دو حوض دیگر استفاده شد. در این مدت، هیچ لجنی از سیستم دفع نشد. پس از مدت زمان حدود ۲ ماه از شروع راه‌اندازی و یک ماه پس از افزودن بذر، MLSS کل سیستم به MLSS طراحی یعنی حدود ۳۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر رسید و دفع لجن مازاد آغاز شد.

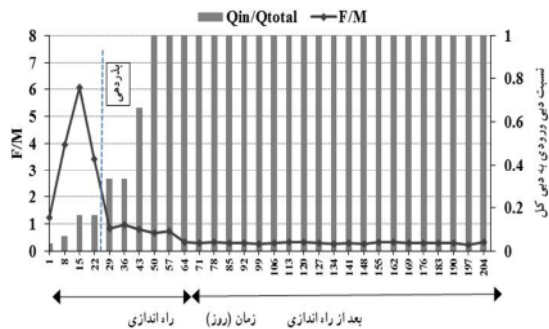
۲-۴- روش‌های تحلیلی

در اجرای این طرح، حدود ۳۰ نمونه در زمان راه‌اندازی و ۶۰ نمونه پس از آن به صورت مرکب از محل‌های مختلف ورودی و خروجی تصفیه‌خانه، پیش از کلرزنی و خروجی حوض هوادهی، گرفته شد. پارامترهای دما، pH، BOD، COD، TSS برای ورودی و خروجی و MLSS حوض هوادهی بر اساس روش‌های ذکر شده در کتاب روش‌های استاندارد سال ۱۹۹۱، در آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی مورد سنجش قرار گرفتند [۹]. بارگذاری به سیستم از طریق ضرب دبی ورودی در میزان آلاینده‌های BOD و COD محاسبه شد. برای بذردهی از لجن تصفیه‌خانه لجن فعال تفرش با MLSS معادل ۳۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر و به حجم ۶۰ مترمکعب استفاده شد که با استفاده از میکروسکوپ، عدم وجود باکتری‌های مشکل‌ساز آن کنترل شده بود. در این مدت، اکسیژن محلول در حوض هوادهی در حد ۲ میلی‌گرم در لیتر ثابت نگه داشته شد.

۳- نتایج و بحث

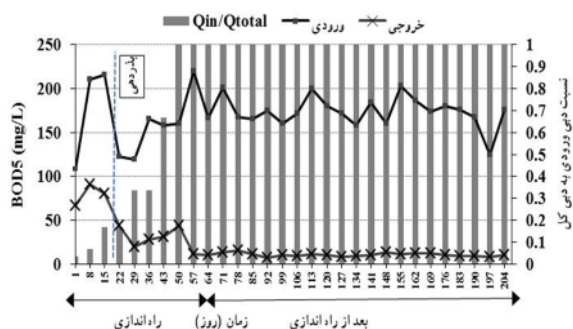
۳-۱- افزایش بیومس در طی راه‌اندازی سیستم

در طی هفته‌های اول راه‌اندازی، افزایش بیومس برای یک سیستم بیولوژیکی تصفیه فاضلاب مسئله مهم و نگران‌کننده‌ای است. شکل ۲، MLSS بر حسب روز در زمان راه‌اندازی و پس از آن را نشان می‌دهد. تحقیقات هوانگ و همکاران نیز چنین منحنی را در روند افزایش MLSS با افزودن بخش بخش میزان فاضلاب نشان

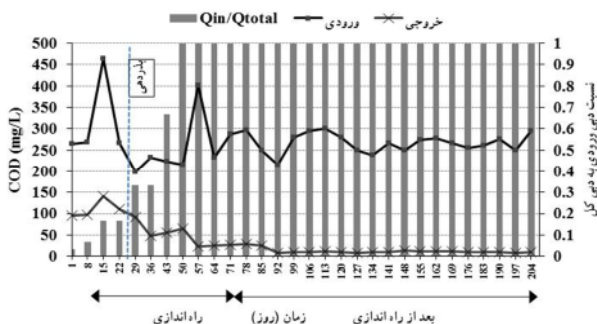


شکل ۳- بررسی نسبت F/M در حوض هوادهی بر حسب زمان (از ۱۱ فروردین تا ۱۶ مهر ۱۳۹۱)

مشکلی نداشت [۱۱]. در طول دوران راه‌اندازی، میزان BOD، COD و TSS به ترتیب کمتر از ۱۰۰، ۱۵۰ و ۵۰، پس از بذردهی نیز به ترتیب کمتر از ۵۰، ۱۰۰، ۲۰ و پس از اتمام راه‌اندازی و تشکیل بیومس لازم به ترتیب کمتر از ۱۵، ۳۰ و ۲۰ بودند. پس از دوران راه‌اندازی، درصد کاهش BOD و COD به ترتیب از ۴۰ درصد و ۶۰ درصد به حدود ۹۰ درصد رسید و در مورد TSS نیز میزان کاهش از ۷۰ درصد به ۹۶ درصد رسید. میزان کاهش BOD و COD و TSS با توجه به میزان ورودی در شکل‌های ۴ و ۵ و ۶ نشان داده شده است. مقدار خروجی به‌عنوان یک نمودار مجزا،

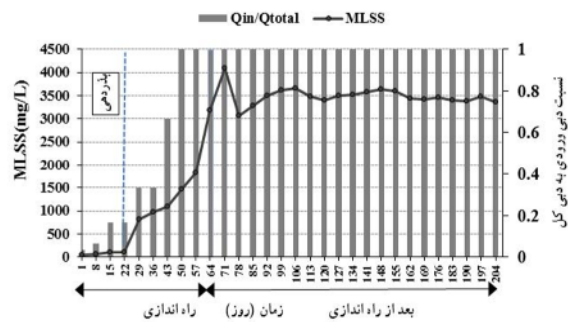


شکل ۴- نسبت دبی ورودی به دبی کل و نوسانات BOD₅ در ورودی و خروجی بر حسب زمان (از ۱۱ فروردین تا ۱۶ مهر ۱۳۹۱)



شکل ۵- نسبت دبی ورودی به دبی کل و نوسانات COD در ورودی و خروجی بر حسب زمان (از ۱۱ فروردین تا ۱۶ مهر ۱۳۹۱)

۱۰۳ آب و فاضلاب



شکل ۲- نسبت دبی ورودی به کل و MLSS در حوض هوادهی بر حسب زمان (از ۱۱ فروردین تا ۱۶ مهر ۱۳۹۱)

داده است [۵]. تحقیقات میلارد و همکاران نیز روند افزایش خطی اما با شیب کمتر و سرعت کمتر را نشان می‌دهد [۸]. در طی روزهای اول راه‌اندازی، یعنی زمانی که بذردی به سیستم اضافه نشده بود، حتی با افزایش دبی ورودی، افزایش بیومس چندان چشمگیر نبود که علت آن، سردی هوا و ناکافی بودن میزان تکثیر میکروارگانیسم‌ها است. اما با افزودن بذردی با MLSS معادل ۳۰۰۰۰ میلی‌گرم در لیتر به میزان ۶۰ مترمکعب و استفاده از لجن تشکیل شده در خود سیستم، افزایش MLSS به سرعت انجام شد. در نهایت پس از حدود دو ماه از شروع راه‌اندازی یعنی ۱۵ خرداد ۹۱، MLSS به ۳۲۵۰ میلی‌گرم در لیتر یعنی MLSS طراحی رسید. دفع لجن از تصفیه‌خانه با رسیدن به MLSS معادل ۴۰۹۰ میلی‌گرم در لیتر در ۱۹ خرداد ۹۱ آغاز شد. میزان لجن دفعی به میزان ۱۳۰۰ مترمکعب در روز بر اساس نسبت F/M ثابت و نگه‌داشتن سن لجن ۵ روز به دست آمد.

۳-۲- بررسی نسبت F/M

نسبت غذا به میکروارگانیسم یا F/M در طول دوران راه‌اندازی و پس از آن، در شکل ۳ نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود، طی روزهای راه‌اندازی که هنوز بیومس مورد انتظار شکل نگرفته بود، میزان F/M رو به افزایش بود. با افزایش دبی ورودی، این مقدار، شیب رو به پایین داشته و کاهش یافت و از ۶ به ۳ رسید. اما از آنجا که هنوز بیومس مورد انتظار شکل نگرفته بود به حد مجاز مورد انتظار نرسید [۱۰]. با گذشت زمان و پس از بذردهی، میزان F/M رو به کاهش گذاشت و به کمتر از ۱ رسید و در مقدار ۰/۳ با دفع لجن، ثابت نگه داشته شد.

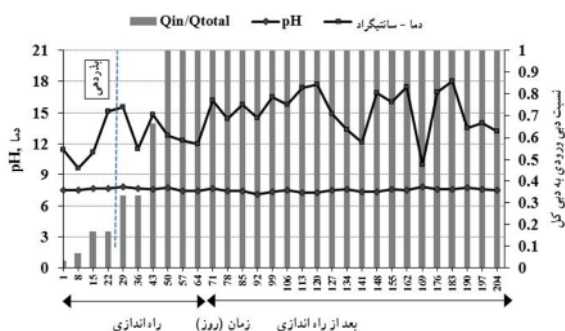
۳-۳- بررسی کیفیت فاضلاب ورودی و خروجی

در طی روزهای راه‌اندازی، به دلیل بارگذاری کم بر تصفیه‌خانه، نتایج خروجی زیر حد استاندارد محیط زیست ایران برای کشاورزی و آبیاری بود و از نظر استانداردهای محیط‌زیستی،

فعالیت میکروارگانیسم‌های لجن فعال در دمای ۲۰ درجه سلسیوس حاصل می‌شود، در این شرایط دمایی، DNA باکتری به بیشترین مقدار خود می‌رسد. به همین دلیل راه‌اندازی اکثر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در فصل گرما و تابستان انجام می‌شود [۵].

محدوده pH فاضلاب بین ۶/۵ تا ۸/۵ است. چنانچه pH فاضلاب خیلی بالا یا خیلی پایین باشد، احتمال از بین رفتن میکروارگانیسم‌ها بسیار زیاد است [۱۲].

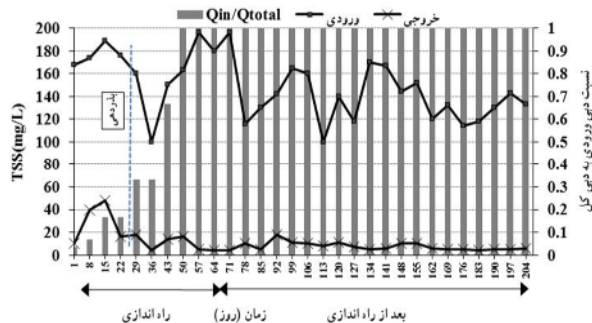
چنانچه در شکل ۸ مشاهده می‌شود، در شرایط راه‌اندازی تصفیه‌خانه لجن فعال اراک، پایین بودن دمای فاضلاب عامل مهمی در تشکیل MLSS کمتر در حوض هوادهی در طی روزهای اولیه راه‌اندازی بدون افزودن بذر بود. pH در ورودی فاضلاب تصفیه‌خانه لجن فعال اراک، با توجه به ماهیت فاضلاب خانگی آن حدود ۷/۵ بود و مشکلی در رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها ایجاد نکرد.



شکل ۸- نسبت دبی ورودی به دبی کل و دما و pH در ورودی بر حسب زمان (از ۱۱ فروردین تا ۱۶ مهر ۱۳۹۱)

۴- نتیجه‌گیری

- ۱- روش نوین راه‌اندازی ارائه شده در این مقاله روش مطمئن، سریع و از نظر اقتصادی به صرفه است.
- ۲- راندمان مناسب حذف پارامترهای TSS، COD، و BOD₅ گویای عملکرد مناسب سیستم پس از راه‌اندازی است.
- ۳- دما عامل مهمی است که باید در راه‌اندازی مد نظر قرار گیرد و تا حد امکان، راه‌اندازی در فصل‌های گرم سال صورت گیرد که بتوان احتمال افزودن بذر را کاهش داد.
- ۴- با کاهش دبی ورودی طی روزهای اولیه راه‌اندازی، بارگذاری به سیستم کم شده و آلودگی محیط زیستی کاهش می‌یابد و به رشد میکروارگانیسم‌ها در حوض هوادهی کمک شایان توجهی می‌کند.
- ۵- بذر اضافه شده به سیستم برای تشکیل بیومس مورد انتظار یک سوم مقدار کل بود و بقیه بذر مورد نیاز در خود سیستم تشکیل شد. این موضوع صرفه‌جویی اقتصادی هزینه‌های انتقال لجن و پرهیز از مشکلات مربوط به لجن را به دنبال دارد.

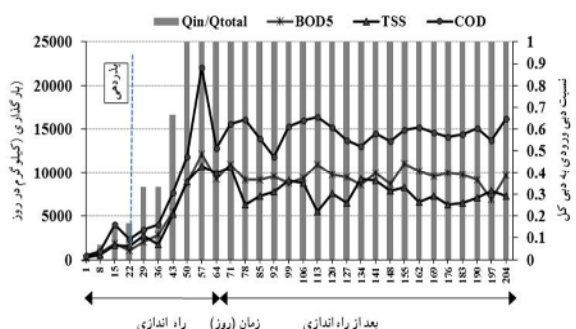


شکل ۶- نسبت دبی ورودی به دبی کل و نوسانات TSS در ورودی و خروجی بر حسب زمان (از ۱۱ فروردین تا ۱۶ مهر ۱۳۹۱)

کم کم کاهش یافت و سپس به میزان تقریباً ثابتی رسید. این امر نشان می‌دهد که تصفیه‌خانه به خوبی نوسانات BOD، COD، و TSS را کنترل کرده و خروجی را در حد متعادل نگه داشته است.

در تحقیقات میلارد و همکاران، میزان BOD و TSS نوسانات بسیاری در ورودی داشتند که با نوسان در میزان خروجی همراه بوده است. اما پس از راه‌اندازی، مقادیر خروجی نسبتاً ثابت شده‌اند و نوسانات زیادی در آنها مشاهده نشد [۸].

چنانچه در شکل ۷ مشاهده می‌شود با افزایش تدریجی دبی ورودی، میزان آلاینده‌های ورودی افزایش یافتند. بنابراین میزان آلودگی نیز به تدریج به تصفیه‌خانه وارد شد. در نتیجه نوسانات بارگذاری بر تصفیه‌خانه برای دستیابی به بیومس مورد انتظار کنترل شد. در این روش راه‌اندازی، با کم بودن دبی ورودی در ابتدا میزان بارگذاری بر تصفیه‌خانه با گذشت زمان افزایش می‌یابد که به خو گرفتن بهتر میکروارگانیسم‌ها با شرایط فاضلاب ورودی کمک می‌کند. به ویژه در روزهای اول راه‌اندازی که میزان بیومس موجود در سیستم بسیار کم است.



شکل ۷- نسبت دبی ورودی به دبی کل و میزان بارگذاری ورودی به سیستم بر حسب زمان (از ۱۱ فروردین تا ۱۶ مهر ۱۳۹۱)

۳-۴- بررسی دما و pH

دما از عوامل بسیار مهمی است که در رشد میکروارگانیسم‌ها و متابولیسم آنها تأثیرگذار است. بالاترین مقدار از نظر جمعیت و

۵- قدردانی

زحمتمکش آزمایشگاه شرکت آب و فاضلاب استان مرکزی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

نویسندگان از زحمات بی‌شائبه همکاران محترم به ویژه آقایان محمود کمال‌زاده، مهدی گلی نسب، غلامرضا احمدی و پرسنل

۶- مراجع

1. Van Hulle, S., Van Den Broeck, S., Maertens, J., Villez, K., Donckels, B., Schelstraete, G., Volcke E., and Vanrolleghem, P. (2005). "Construction, start-up and operation of a continuously aerated laboratory-scale SHARON reactor in view of coupling with an anammox reactor." *Water SA*, 31, 327-334.
2. Jubany, I., Carrera, J., Lafuente, J., and Baeza Juan, A. (2008). "Start-up of a nitrification system with automatic control to treat highly concentrated ammonium wastewater: Experimental results and modeling." *Chemical Engineering*, 144, 407-419.
3. Gali, A., Dosta, J., Mace, S., and Mata-Alvarez, J. (2006). "Start-up of a biological sequencing batch reactor to treat supernatant from anaerobic sludge digester." *Environ. Technol.*, 27, 891-899.
4. Wisconsin Department of Natural Resources. (2010). *Advanced activated sludge study guide*, Bureau of Science Services, Operator Certification Program, Washington DC, USA.
5. Huang, P., Qin, S., Zhao, Q., and Guo, X. (2006). "Quick start-up of mudanjiang wastewater treatment plant and factors influencing phosphorous removals." *Global NEST Journal*, 8(1), 1-8.
6. De Maria, D., Watson, J., Oorshchot Robbert, V., and Gulovsen, T. (2006). "Commissioning of a 180 ml/day activated sludge plant at the Western treatment plant." *Werribee*, 69th Annual Water Industry Engineers and Operators' Conference, Exhibition Centre-Bendigo, 120-126.
7. Suggate, Ch. (2009). "Start-up and commissioning of a low loaded wastewater treatment plant." *34th Annual Qld Water Industry Operation Workshop*, Indoor Sports Stadium Caloundra, Australia.
8. Maillard V., Sturdevant, J., Moffett P., and Abbott D. (2008). "Start-up and initial operation of a greenfield enhanced nutrient removal wastewater treatment facility." *Water Environment Federation Technology (WEFTEC.08)*, 1809-1818.
9. APHA. (1991). *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 17th Ed., American Publishers Health Association (APHA), AWWA., and WEF., Washington, DC, USA.
10. Tchobanoglous, G., Burton, F.L., and Stensel, H.D. (2007). *Wastewater engineering treatment and reuse*, 4th Ed., Metcalf and Eddy Inc., McGraw-Hill Publication, USA.
11. Iranian Environment Protection Organization (IEPO). (1990). *Standard for wastewater effluent discharge limits to the environment Iran*. (In Persian)
12. Bureau of Technical Affairs and Standards. (2004). *Operation and maintenance guideline for municipal wastewater treatment plants*, Pub No. 284, Management and Planning Organization Publications, Iran, 26-50. (In Persian)