The Effect of Lime in Removal of Filamentous Bacteria and Control of Bulking

Sahbaei, A.R., MSc., Isfahan Water and Wastewater Co.
Azimi, A.A., Assist. Prof., Center for Environmental Science and Technology
Karbasi, M., Isfahan Water and Wastewater Co.
Babamir, Sh., MSc., Isfahan Water and Wastewater Co.

Abstract

The commonly identified activated sludge solids separation problem is filamentous bulking. Bulking is a phenomenon where filamentous microorganisms extend from the flocs into the bulk solution and interfere with settelment, compaction and thickening of the activated sludge. The South Isfahan Wastewater Treatment Plant, is one of the largest activated sludge systems in Iran and has always been subjected to filamentous bulking problems. In an effort to reduce the level of filamentous microorganisms and consequently improve sludge settleability, the effect of addition of lime (Calcium hydroxide) to wastewater has been studied for 183 days using a pilot plant scale reactor.

In the pilot plant, the aeration basin had exactly the same configuration as it is in operation in the South Isfahan Plant.

The results of this study showed that addition of lime can reduce the SVI to less than 294.

Microscopic observation also showed that lime can decrease growth of filamentous bacteria. The settleability of sludge and removal efficiency in terms of BOD and SS increased significantly. Concentration of phosphorus in the effluent after addition of lime showed that removal of phosphorus increased to nearly 36 percent.

تأثیر آهک در حذف باکتری‌های رشته‌ای و کنترل بالکینگ

احمدرضا صهبایی * علی اکبر عظیمی ** محمد کرباسی *** شکوه‌السادات بابامیر ****

چکیده

یکی از مهمترین مشکلات سیستم‌های لجن فعال حجیم شدن لجن و مشکل ته‌نشینی لجن در حوض‌های ته‌نشینی ثانویه است که این امر علاوه بر کاهش بازده تصفیه، مشکلات عدیده‌ای در زمینه دفع و تصفیه لجن فراهم خواهد کرد. یکی از روش‌های شیمیایی کنترل بالکینگ، افزودن آهک به فاضلاب خام ورودی است. در این تحقیق اثر افزودن آهک به میزان ۱۰ میلی‌گرم در لیتر به فاضلاب خام بررسی شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که آهک می‌تواند باعث حذف انتخابی برخی باکتری‌های رشته‌ای و در نتیجه کاهش حجم لجن شود. علاوه بر این، افزایش آهک در افزایش بازده حذف فسفر نیز مؤثر است.

مقدمه

از بین روش‌های بیولوژیکی تصفیه فاضلاب، فرایند لجن فعال به لحاظ بازده بالا در حذف طیف وسیعی از مواد آلاینده موجود در فاضلاب‌های شهری و صنعتی و همچنین امکان کاربرد آن در شرایط مختلف محیطی بیش از سایر روش‌ها مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. در فرایند لجن فعال، تشکیل لخته‌های بیولوژیکی[1] مناسب از لحاظ قطر، سرعت ته‌نشینی و استحکام، از اهمیت به سزایی برخوردار است و بازدهٔ تصفیه را تا حد زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد.

بر این اساس، اغلب مشکلاتی که در فرایند لجن فعال ایجاد می‌شود نیز مربوط به عدم تشکیل لخته‌های مناسب می‌باشد. یکی از شایع‌ترین این مشکلات حجیم شدن لجن یا بالکینگ[2] می‌باشد که عامل اصلی آن رشد بی‌رویهٔ باکتری‌های رشته‌ای[3] در لجن فعال است. در حالت بالکینگ، باکتری‌های رشته‌ای از سطح لخته‌ها به طرف خارج گسترش یافته و مانع نزدیک شدن و فشردگی لخته‌ها می‌شوند که در نتیجه با افزایش حجم لجن و کاهش چگالی نسبی آن، سرعت ته‌نشینی لخته‌ها در حوض ته‌نشینی ثانویه کاهش یافته و مدت زمان ته‌نشینی بیشتر از مدت زمان پیش‌بینی شده در طرح می‌شود.

---

* کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست

** استادیار مرکز مطالعات محیط زیست - دانشگاه تهران

*** معاون مهندسی و توسعهٔ شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

**** کارشناس ارشد شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان

1- Biological Floc 2- Bulking

3- Filamentous Bacteria

مشکلات ناشی از بالکینگ و عدم ته‌نشینی به موقع لجن در حوض ته‌نشینی ثانویه به طور کلی عبارتنداز:

الف - خروج لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه و در نتیجه کاهش کیفیت فاضلاب تصفیه شده خروجی.

ب -کاهش غلظت لجن درکف حوض ته‌نشینی ثانویه که این امر خود مسایل زیر را به همراه دارد.

۱-کاهش غلظت لجن برگشتی: در این حالت برای حفظ جمعیت میکروبی در حوض هوادهی (ثابت نگه داشتن MLVSS[1]) لازم است حجم لجن برگشتی افزایش یابد که در بسیاری از موارد به علت محدود بودن ظرفیت پمپاژ لجن، غلظت میکروارگانیسم‌ها در حوض هوادهی کاهش یافته و کار حوض هوادهی دچار اشکال می‌شود.

۲-کاهش غلظت لجن دفعی: در این حالت نیز حجم لجن دفعی افزایش یافته و باعث افزایش هزینه‌های پمپاژ لجن، تغلیظ، هضم و آب‌گیری از لجن می‌شود.

بنابراین ایجاد بالکینگ علاوه بر کاهش بازدهٔ تصفیه، باعث تحمیل هزینه‌های اضافی در تصفیه و دفع لجن مازاد می‌شود.

در دههٔ اخیر مطالعات زیادی در سراسر جهان بر روی علل ایجاد بالکینگ و راه‌های کنترل آن صورت گرفته است. از عوامل اصلی افزایش رشد و گسترش باکتری‌های رشته‌ای می‌توان پایین بودن $\frac{F}{M}$ در حوض هوادهی، کمبود اکسیژن محلول در حوض هوادهی و کمبود مواد غذایی مانند ازت و فسفر در فاضلاب را نام برد. برای کنترل و پیش‌گیری از بالکینگ نیز تاکنون روش‌های متعددی پیشنهاد و اجرا شده است که به طور کلی این روش‌ها در دوگروه زیر قرار می‌گیرند:

۱- روش‌هایی که نیاز به تغییرات اساسی در تأسیسات و تجهیزات تصفیه‌خانه دارند مانند اصلاح رژیم هیدرولیکی حوض هوادهی از اختلاط کامل[2] به نهرگونه[3]، نصب انتخاب‌گر بیولوژیک[4] در ابتدای حوض هوادهی و افزایش میزان هوادهی در حوض هوادهی.

۲- استفاده از مواد شیمیایی مانند کلر، اوزن، پراکسید هیدروژن، سولفات روی، نمک‌های آهن، آهک و غیره [۲،۳و۴]. اصلاح رژیم هیدرولیکی و استفاده از انتخاب‌گر اگر چه هزینه تأسیسات را افزایش می‌دهد ولی هزینه‌های جاری بسیار کمی را در بر دارد و عدم وقوع بالکینگ را در تصفیه‌خانه تا حد زیادی تضمین می‌کند. بر عکس، استفاده از مواد شیمیایی هزینه تأسیساتی کمی داشته ولی هزینه جاری نسبتاً بالایی دارند. در صورت وجود بالکینگ، اصلاح رژیم هیدرولیکی در مدت زمان نسبتاً طولانی (حداقل ۳ برابر عمر لجن) می‌تواند بالکینگ را کنترل کند. در صورتی که تأثیر مواد شیمیایی در حذف باکتری‌های رشته‌ای و کنترل بالکینگ بسیار سریع است [۱].

از بین مواد شیمیایی، استفاده از کلر برای کنترل بالکینگ از مدت‌ها قبل متداول بوده است [۳] ولی کاربرد کلر می‌تواند باعث تولید محصولات جانبی مانند تری هالومتان‌ها شود که این محصولات عموماً سرطان‌زا هستند [۵]. استفاده از اوزن و پراکسید هیدروژن اگر چه این خطر را به همراه ندارند، در عوض هزینه زیادتری در بر دارند. استفاده از آهک در ایران به علت ارزانی و عدم تولید محصولات خطرناک توجیه بهتری می‌تواند داشته باشد. به علاوه وجود آهک در لجن می‌تواند شرایط مناسبی برای هضم بی‌هوازی لجن در هاضم‌های بی‌هوازی فراهم کند. با این حال وارگنر[5] در سال ۱۹۸۲ در آزمایشی ثابت کرد که میزان ۱۱ میلی‌گرم بر لیتر آهک می‌تواند باعث کاهش SVF شود [۶]. اثرات جانبی کاربرد آهک تاکنون به طور گسترده مطالعه نشده است. مقاله حاضر در حقیقت بخشی از یک مطالعه پایلوتی نسبتاً جامع در مورد بالکینگ است که برای اولین بار در ایران در تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب اصفهان صورت گرفته است.

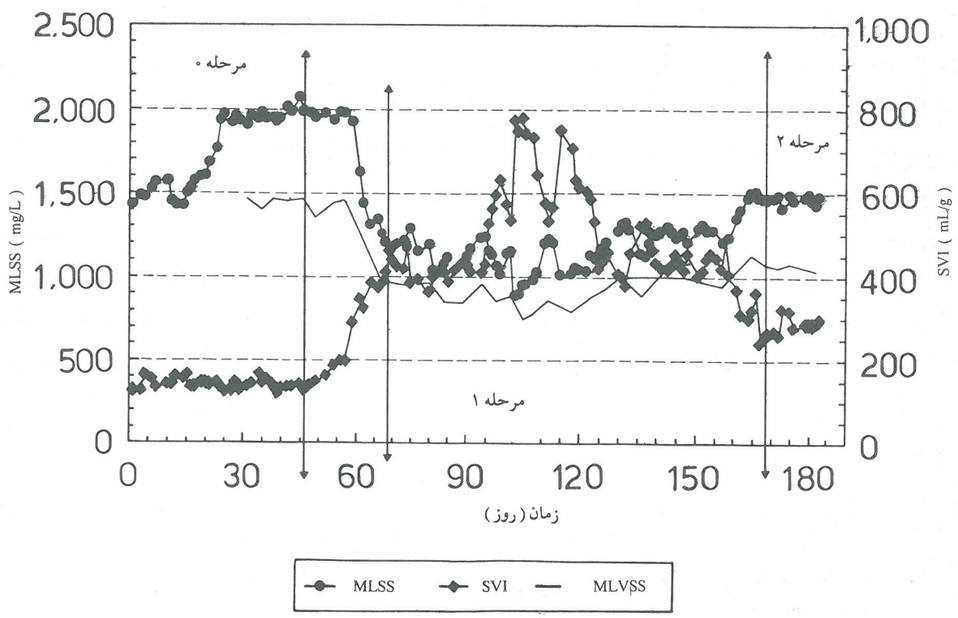
مواد و روش‌ها

واحد نمونه تصفیه فاضلاب (پایلوت) مورد مطالعه شامل حوض هوادهی و حوض ته‌نشینی ثانویه بود. حوض هوادهی به شکل مکعب مستطیل و دارای ابعاد زیر بود: طول ۱۲۰ سانتیمتر، عرض ۵۰ سانتیمتر و عمق ۴۰ سانتیمتر، حجم حوض هوادهی

1- Mixed Liquor Volatile Suspended Solid
2- Completely Mixed
3- Plug Flow
4- Biological Selector
5- Wargner

جدول ۱- مقادیر متوسط مشخصات فاضلاب ورودی

پارامتر	BOD_5 mg/l	$SBOD_5$ mg/l	COD mg/l	SCOD mg/l	SS mg/l	VSS mg/l	DS mg/l	کدورت NTU
مقدار متوسط	۱۷۷	۱۲۹/۸	۲۶۴	۲۲۵/۵	۷۸	۵۵	۸۸۲	۱۵۵
پارامتر	فسفرکل mg/l	فسفر نامحلول mg/l	ارتوفسفات mg/l	TKN mg/l	ازت آلی mg/l	ازت آمونیاکی mg/l	pH	دما °C
مقدار متوسط	۶/۳۴	۱/۷۳	۴/۶	۲۹/۴	۷/۷۳	۲۱/۶۵	۷/۴۴	۱۸/۶



شکل ۱- میزان SVI، MLSS، MLVSS در مراحل مختلف واحد نمونه شماره ۳

جدول ۲- مراحل مورد مطالعه در طول طرح

مرحله	شرایط مرحله	تاریخ (از روز تا روز)	مدت به روز
۰	رسیدن به حالت پایدار	۷۲/۱۰/۷ - ۷۲/۹/۴ (۳۴-۱)	۳۴
۱ - الف	مرحله قبل از ایجاد بالکینگ	۷۲/۱۰/۲۵ - ۷۲/۱۰/۸ (۵۲ - ۳۵)	۱۸
۱ - ب	مرحله بعد از ایجاد بالکینگ	۷۳/۲/۱۲ - ۷۲/۱۰/۲۷ (۱۵۸ - ۵۳)	۱۰۶
۲	مرحله اضافه کردن هیدروکسید کلسیم به فاضلاب به میزان ۱۰ میلی‌گرم در لیتر	۷۳/۳/۵ - ۷۳/۲/۱۳ (۱۸۳ - ۱۵۹)	۲۵

۲۴۰ لیتر و عدد پراکنده این حوض ۰/۷۷ . زمان ماند هیدرولیکی حوض هوادهی ۸ ساعت و عمر لجن در طول طرح ۱۰ روز بود. حوض ته‌نشینی ثانویه به شکل مکعب مستطیل، حجم آن ۶۰ لیتر و زمان ماند هیدرولیکی آن ۲ ساعت و مقدار جریان فاضلاب ورودی ۰/۵ لیتر در دقیقه بود.

مدت طرح ۱۸۳ روز بود و پس از ایجاد حالت پایدار میزان MLSS[1]، MLVSS، SVI[2]، BOD_5، COD، کدورت، درجه حرارت، DO، pH به طور روزانه و همچنین TKN و فسفر هر دو روز یکبار اندازه گیری می‌شد. در جدول ۱ خصوصیات فاضلاب ورودی نشان داده شده است. فاضلاب خام در این مطالعه، فاضلاب خروجی از واحدهای ته‌نشینی اولیه تصفیه‌خانه جنوب اصفهان می‌باشد. در جدول ۲ مراحل مورد مطالعه و مدت زمان آن ارائه شده است.

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود فاضلاب ورودی به حوض هوادهی و زمان ماند هیدرولیکی حوض هوادهی در واحد نمونه مشابه وضعیت تصفیه‌خانه جنوب اصفهان بود. از این نظر، نتایج این تحقیق برای کنترل بالکینگ در تصفیه‌خانه جنوب اصفهان به خوبی قابل تعمیم است.

نتایج

با توجه به جدول ۲ به جز مرحله راه‌اندازی و رسیدن به حالت پایدار (مرحله صفر)، دو مرحله ۱ و ۲ در واحد نمونه وجود دارد.

در مرحله ۱ پس از گذشت ۱۸ روز باکتری‌های رشته‌ای به طور ناگهانی و به سرعت در حوض هوادهی رشد کردند و لجن فعال شدیداً بالکینگ شد. این وضعیت تا پایان مرحله ۱ ادامه داشت. از آنجاکه پس از ایجاد بالکینگ علاوه بر کاهش کیفیت خصوصیات ته‌نشینی لجن، سایر خصوصیات فاضلاب تصفیه شده نیز تحت تأثیر قرار گرفت، تصمیم گرفته شد نتایج مرحله ۱ به دو بخش مجزا تقسیم شود.

مرحله ۱ – الف : نتایج مربوط به ۱۸ روز اول مرحله ۱که در این مدت ایجاد بالکینگ هنوز باعث مشکل عمده‌ای از لحاظ کاهش بازده تصفیه و خروج لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه نشده بود. در طول این مدت SVI کمتر از ۲۰۰ میلی‌لیتر برگرم بود.

مرحله ۱ – ب : نتایج مربوط به بعد از بالکینگ شدید تا پایان مرحله ۱که در این مرحله بالکینگ منجر به خروج مقادیر قابل توجهی لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه و کاهش کیفیت فاضلاب تصفیه شده خروجی شد. در این مدت SVI بالاتر از ۲۰۰ میلی‌لیتر برگرم بود.

۱- مقدار SVI

با توجه به شکل ۱ میزان SVI در ۱۸ روز ابتدای مرحله ۱ کمتر از ۱۵۰ میلی‌لیتر برگرم بود. بعد از این مدت میزان SVI به تدریج افزایش یافت و ظرف مدت ۵ روز به ۱۹۵ میلی‌لیتر بر گرم رسید. تا این تاریخ افزایش SVI باعث خروج لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه نشد (مرحله ۱ – الف). دو روز بعد و با افزایش SVI به ۳۹۸ میلی‌لیتر برگرم مقدار قابل توجهی لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه خارج شد (شروع مرحله ۱ – ب). بعد از این تاریخ SVI مرتباً افزایش یافت و حتی به ۷۷۸ میلی‌لیتر برگرم رسید. نکته قابل توجه در این مرحله، نوسان شدید SVI بود. به این ترتیب که از میزان SVI در پی یک افزایش ناگهانی، در طی چند روز به آرامی کاسته می‌شد و سپس مجدداً این میزان به طور ناگهانی افزایش می‌یافت. این سیکل حدود ۸۰ روز ادامه داشت و هر بار با افزایش ناگهانی SVI مقدار زیادی لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه خارج می‌شد. در این مواقع برای جلوگیری از سرریز شدن هر چه بیشتر لجن از حوض ته‌نشینی ثانویه و همچنین حفظ جمعیت میکروارگانیسم‌ها در حوض هوادهی ناگزیر به افزایش درصد لجن برگشتی بودیم. در ۲۰ روز آخر مرحله ۱–ب نوسان SVI کاهش یافت و به حدود ۴۰۰ میلی‌لیتر برگرم رسید. به طور کلی وضعیت ته‌نشینی در مرحله ۱–ب بسیار نامناسب بود به طوری که متوسط SVI در این مرحله حدود ۴۸۱ میلی‌لیتر برگرم بود. با اضافه کردن آهک به فاضلاب در مرحله ۲ به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر، متوسط SVI از ۴۸۱ میلی‌لیتر برگرم در مرحله ۱ – ب به ۲۹۴ میلی لیتر برگرم کاهش یافت.

1- Mixed Liquor Suspended Solid
2- Sludge Volume Index

۲- مقدار MLSS

میزان MLSS در ابتدای مرحله ۱ حدود ۱۹۰۰ میلی‌گرم بر لیتر بود ولی با ایجاد بالکینگ شدید در مرحله ۱–ب، MLSS به سرعت پایین آمد (به طوری که در روز ۱۰۲ تا ۱۰۷ به کمتر از ۱۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید) . علت این امر خروج مقادیر زیادی لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه بود که حتی افزایش درصد لجن برگشتی نیز نتوانست مانع آن شود. در مرحله ۱–ب مقدار متوسط MLSS حدود ۱۱۸۰ میلی‌گرم بر لیتر بود. ولی با شروع مرحله ۲ مقدار MLSS به تدریج افزایش یافت و به مقدار متوسط ۱۴۵۰ میلی‌گرم بر لیتر رسید (شکل ۱) .

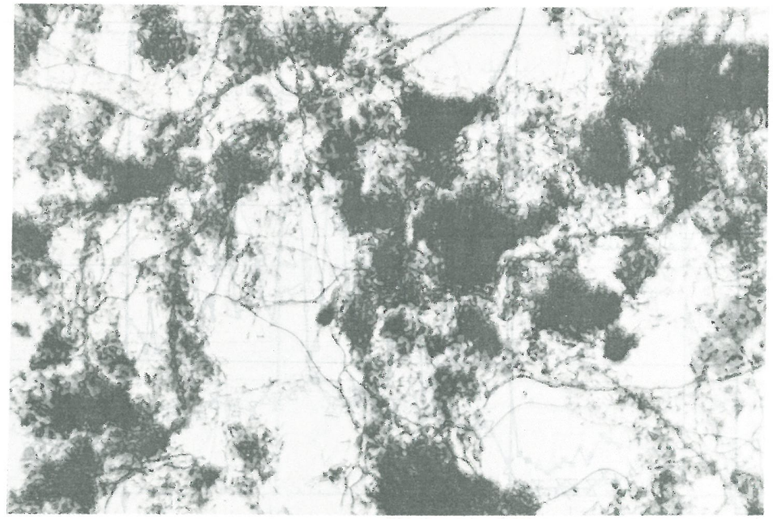
۳- مشاهدات میکروسکوپی

مشاهدات میکروسکوپی در ابتدای مرحله ۱ (مرحله ۱–الف) نشان داد که توسعه باکتری‌های رشته‌ای در سطح لخته‌ها محدود می‌باشد و وضعیت لخته‌ها از لحاظ قطر و خصوصیات ته‌نشینی در حد نسبتاً مطلوبی قرار دارد. ولی به تدریج باکتری‌های رشته‌ای در لجن فعال رشد و توسعه یافتند به طوری که در سطح کلیه لخته‌ها، باکتری‌های رشته‌ای با توسعه زیاد مشاهده شد (مرحله ۱ – ب). باکتری‌های رشته‌ای غالب در این مرحله ام. پاروپسلا[1] و اچ هیدروسی[2] و تیپ ۰۰۴۱ تشخیص داده شد. در مرحله ۲ با اضافه کردن آهک به میزان ۱۰ میلی‌گرم بر لیتر به فاضلاب ورودی از توسعه باکتری‌های رشته‌ای تا حد محسوسی کاسته شد. شکل‌های ۲ و ۳ تأثیر آهک بر کاهش باکتری‌های رشته‌ای را نشان می‌دهند.

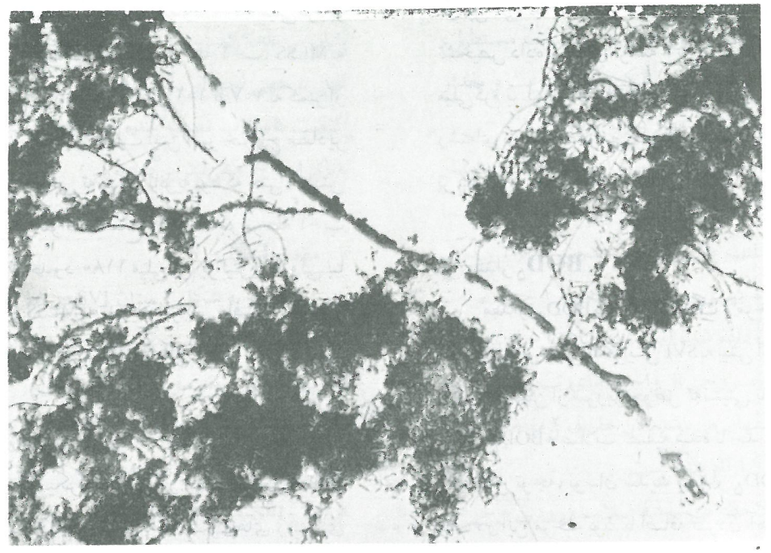
۴- مقدار BOD_5

مقدار BOD_5 قبل از بالکینگ (مرحله ۱ – الف) در حد قابل قبولی بود ولی با افزایش SVI به بیش از ۲۰۰ میلی‌لیتر برگرم و خروج لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه (مرحله ۱ –ب) مقدار BOD_5 فاضلاب تصفیه شده تا حد زیادی افزایش یافت. نکته قابل توجه، نوسان شدید مقدار BOD_5 فاضلاب تصفیه شده در این مرحله بود. با اضافه کردن آهک به فاضلاب در مرحله ۲ و کاهش SVI، مقدار BOD_5 فاضلاب تصفیه شده مجدداً کاهش یافت (شکل ۴).

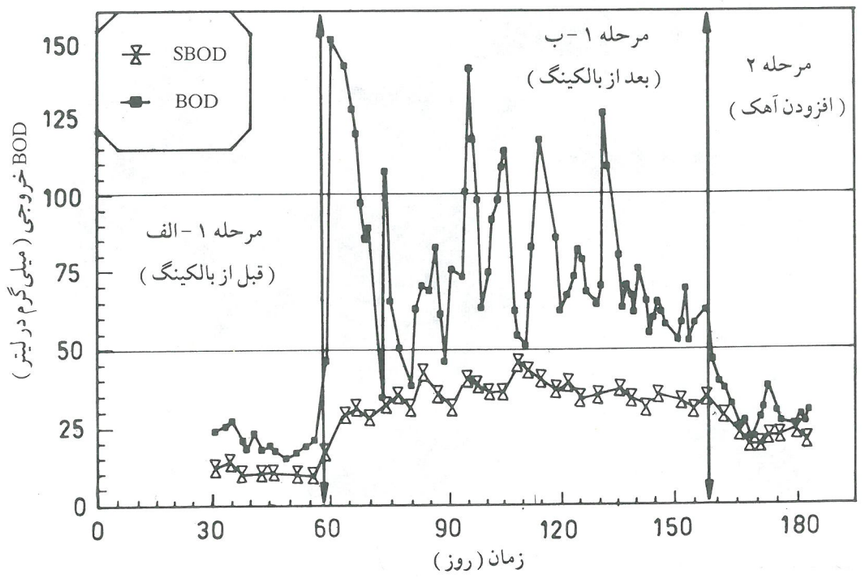
1- M.Parvicella
2- H.hydrossis



شکل ۲– توسعه باکتری‌های رشته‌ای در لجن فعال، قبل از اضافه کردن آهک (مرحله ۱–ب). SVI در این حالت ۴۵۵ میلی‌لیتر برگرم بود



شکل ۳- کاهش باکتری‌های رشته‌ای در لجن فعال، یک هفته بعد از اضافه کردن آهک (مرحله ۲). SVI در این حالت حدود ۳۱۸ میلی‌لیتر بر گرم بود



شکل ۴- مقدار BOD_5 کل و محلول فاضلاب تصفیه شده خروجی در مراحل مختلف

۵- مقدار ازت و فسفر

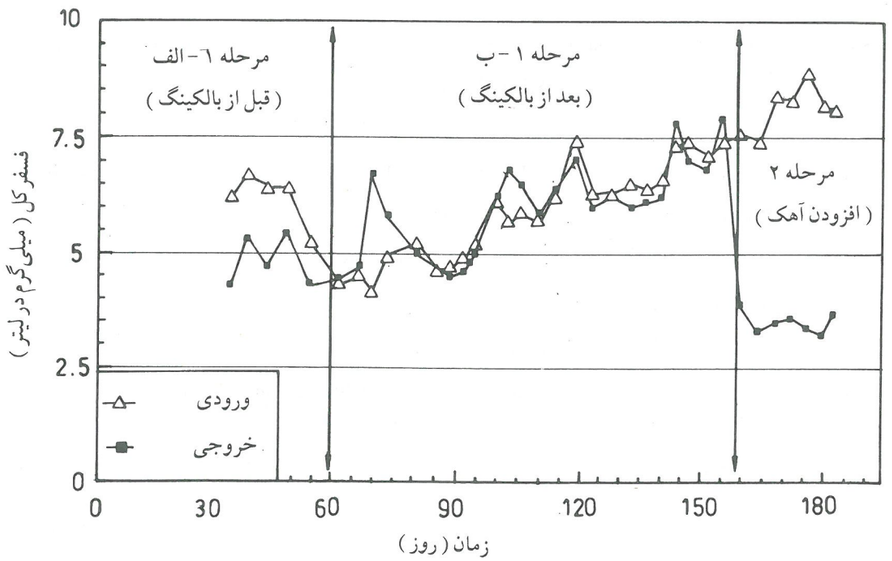
میزان ازت کل فاضلاب تصفیه شده در ابتدای مرحله ۱ به طور متوسط حدود ۲۵ میلی‌گرم بر لیتر و فسفر کل فاضلاب تصفیه شده به طور متوسط ۵ میلی‌گرم بر لیتر بود. در این حالت درصد حذف ازت و فسفر کل فاضلاب تصفیه شده حدود ۲۰ درصد بود. با افزایش میزان SVI به بالاتر از ۲۰۰ لیتر برگرم، و خروج لجن از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه (مرحله ۱-ب)، میزان ازت و فسفر کل فاضلاب تصفیه شده تفاوت چندانی با ازت و فسفر کل فاضلاب ورودی نداشت. با اضافه کردن آهک در مرحله ۲ مقدار فسفر فاضلاب تصفیه شده کاهش چشمگیری داشته به طوری که درصد حذف فسفر کل در مرحله ۲ حدود ۵۶ درصد است که این امر تا حد زیادی مربوط به ترکیب فسفر با کلسیم و تشکیل فسفات کلسیم می‌باشد. با حذف شیمیایی فسفر، درصد حذف ازت در مرحله ۲ نیز کاهش یافته است که این امر شاید مربوط به بالا بودن pH (۸/۵) و اختلال در امر دنیتریفیکاسیون باشد. در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب میزان فسفر کل ورودی و خروجی و درصد حذف ازت و فسفر در مراحل مختلف نشان داده شده است.

نتیجه گیری

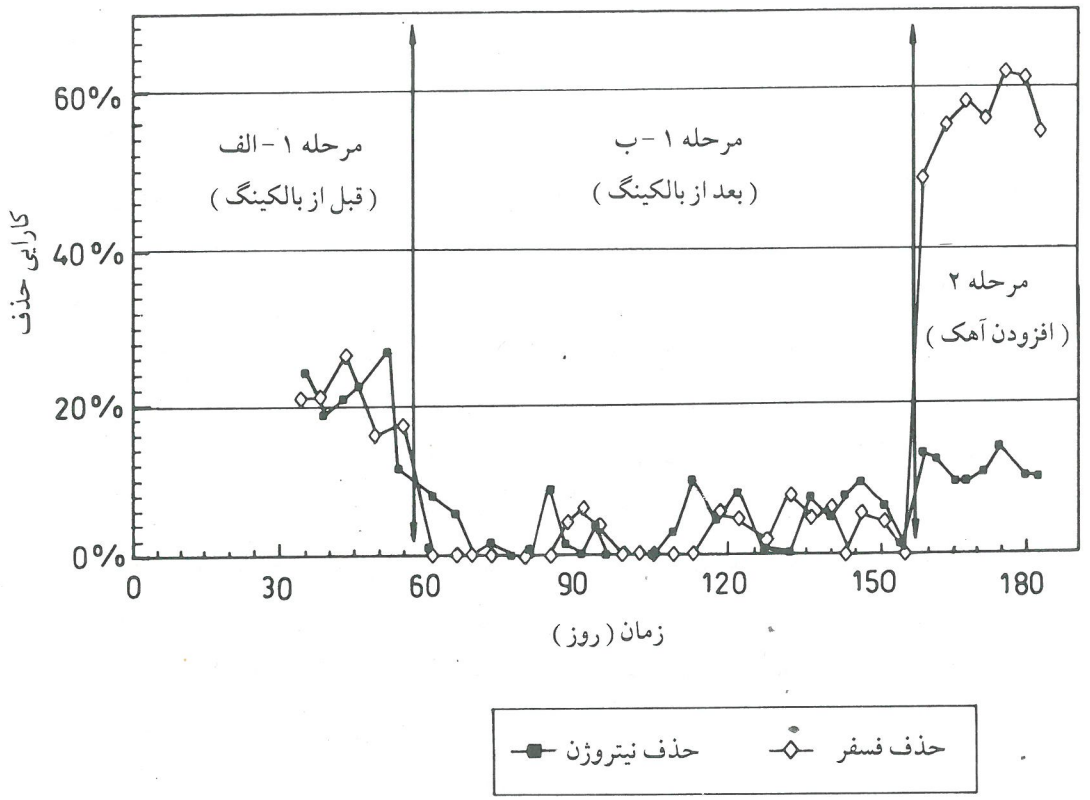
۱- اضافه کردن آهک به فاضلاب خام به میزان ۱۰ میلی‌گرم در لیتر می‌تواند از توسعه باکتری‌های رشته‌ای عامل بالکینگ تا حد زیادی بکاهد. در این تحقیق شاخص حجمی لجن (SVI) با اضافه کردن آهک از ۴۸۱ میلی‌لیتر برگرم به ۲۹۴ میلی‌لیتر برگرم کاهش یافت و خصوصیات ته‌نشینی لجن بهبود یافت.

۲- پس از اضافه کردن آهک به فاضلاب و کنترل بالکینگ، بازده حذف BOD، COD و SS افزایش یافت که این امر به خاطر عدم خروج لخته‌های بیولوژیک از سرریز حوض ته‌نشینی ثانویه تحقق یافت.

۳- اضافه کردن آهک به فاضلاب می‌تواند باعث حذف شیمیایی فسفر شود که در این تحقیق بازده حذف فسفر پس از اضافه کردن آهک ۳۶ درصد افزایش یافت.



شکل ۵- میزان فسفر کل فاضلاب تصفیه شده خروجی در مراحل مختلف



شکل ۶- درصد حذف ازت و فسفر در مراحل مختلف

منابع و مراجع

1- Echeverria, E., Seco, A., and Ferrer, J. (1993). " *Control of Activated Sludge Settleability Using Preaeration and Precipitation,* " Wat. Res. 27 (2): 293.

2- Jenkins, D., Richard, M.G., and Daiger, G. (1986). " *Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming,* " Pretoria, South Africa, P. 74.

3- Pipes, W.O. (1977). " *Bulking of Activated Sludge,* " Adv. Appl. Microbiol. q, Op, 185.

4- Shuttleworth, K.L., and Unz, R.F. (1991). " *Influence of Metal and Metal Speciation on the Growth of Filamentous Bacteria,*" Wat. Sci. Tech. 25 (10) : 1177.

5- Switzenbaum, M.S. et al. (1992). " *Filamentous Bulking in Massachusett : Extent of the Problem and Case Studies,* " Wat. Sci. Tech. 25 (4-5) : 265.

6- Wargner, F. (1982). " *Study of the Cause and Prevention of Sludge Bulking in Germany,* " Bulking of Activated Sludge : Preventative and Remedial Methods, (Chambers, B., and Tomlinson, E.J., eds.), Ellis Horwood Ltd., Chichester, P. 29.