

مطالعه پایداری امکان استفاده از تهنشین کننده لوله‌ای به عنوان حوض ته‌نشینی ثانویه در تصفیه فاضلاب

افسانه فرجی^۱، غلامرضا اسدا... فردی^{۲*} و عباس شویدی^۳
^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران
^۲ دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی تهران
^۳ مربی گروه مهندسی آب، دانشگاه صنعت آب و برق شهید عباسپور تهران

چکیده

حوض‌های ته‌نشینی ثانویه، که از اجزای فرآیند لجن فعال در تصفیه فاضلاب به شمار می‌روند، فضای زیادی را اشغال می‌کنند و نمی‌توانند ذرات ریز را به خوبی حذف کنند. در این مطالعه امکان استفاده از تهنشین کننده‌های لوله‌ای به عنوان حوض ته‌نشینی ثانویه در تصفیه فاضلاب بررسی شد. نتایج مطالعات پایلوتی صورت گرفته نشان دادند راندمان حذف ذرات معلق و کدورت از زمان ماند ۲۰ دقیقه به بعد در لوله‌ها کاهش قابل توجهی ندارد. تهنشین کننده لوله‌ای در زمان ماند بسیار کوتاه نسبت به حوض ته‌نشینی تصفیه‌خانه مورد مطالعه، می‌تواند خروجی در محدوده استاندارد محیط‌زیست ایران برای تخلیه به آب‌های سطحی را ایجاد کند. میانگین درصد حذف ذرات معلق برای واحد تهنشین کننده لوله‌ای در مقدار $140.2/5$ (mg/l) MLSS برابر با $97/6$ درصد و برای حوض ته‌نشینی تصفیه‌خانه $98/2$ درصد گزارش شده است. در طول آزمایش‌ها، تجمع جامدات و گرفتگی ناشی از آن در لوله‌ها مشاهده نگردید.

واژگان کلیدی: تهنشین کننده شیبدار، کدورت، ذرات معلق، ارتقای حوض زلال‌ساز.

۱- مقدمه

سطح مؤثر توسط یک صفحه افقی می‌توان بارگذاری سطحی را کاهش داد و ظرفیت حوض را دو برابر کرد [۴]. در طی تحقیقاتی که فری^۲ در سال ۱۹۴۱ انجام داد با اضافه نمودن سه صفحه افقی به حوض ته‌نشینی اولیه در فرآیند تصفیه فاضلاب توانست حذف مواد معلق را از ۴۱ درصد به ۶۱ درصد افزایش دهد و راندمان را بالا ببرد [۵]. فیسچر-استرم^۳ در سال ۱۹۵۵ در طی مطالعات خود بررسی عدد رینولدز را به منظور ثابت نگه داشتن شرایط هیدرولیکی برای راندمان بیشتر تهنشین کننده‌ها پیشنهاد نمود [۶]. طرح صفحات تهنشین کننده شیبدار با زاویه ۴۵ تا ۶۰ درجه به منظور ایجاد عمل خودشویی در لوله‌ها، که فضای کمتری را نیز نسبت به حوض‌های متعارف می‌گرفت، توسط کالپ^۴ و همکاران در سال ۱۹۶۸-۱۹۶۹ پیشنهاد شد [۷]. جیمنز^۵ و همکاران در سال ۱۹۹۷ طی مطالعات خود در مقیاس پایلوتی برای تصفیه فاضلاب با استفاده از تهنشین کننده‌های پریبار، کاربرد یک لخته کننده مانند

از پرکاربردترین فرآیندها برای تصفیه فاضلاب شهری فرآیند لجن فعال است که حوض‌های ته‌نشینی ثانویه از واحدهای اصلی این فرآیند به شمار می‌رود. اغلب حوض‌های ته‌نشینی بر اساس دبی متوسط طراحی می‌شوند و در مقابل دبی‌های زیاد، در معرض مشکل بارگذاری بالا قرار گرفته و دچار افت کارایی می‌شوند. از این جهت به منظور افزایش دادن دبی ورودی مورد تقاضا و تامین مقررات سخت‌گیرانه‌تر و دقیق‌تر برای خروجی از تصفیه‌خانه‌ها می‌توان سیستم‌ها را ارتقا داد و از تهنشین کننده‌های لوله‌ای استفاده نمود [۱]. کاربرد تهنشین کننده‌ها با صفحات یا لوله‌های شیبدار می‌تواند قابلیت خوبی برای ارتقای حوض‌های ته‌نشینی ایجاد کند. به ویژه این تجهیزات در طی جریان‌های پیک کارایی بهتری را از خود نشان می‌دهند [۲ و ۳]. پیشینه کاربرد صفحات افقی در حوض‌های متعارف به کارهای هیزن^۱ در سال ۱۹۰۴ باز می‌گردد. بر اساس مطالعات هیزن، کارایی یک حوض ته‌نشینی به سطح افقی حوض بستگی داشته و از عمق آن مستقل است. او نشان داد با دو برابر کردن

2- Feri
3- Fischerstorm
4- Culp
5- Jimenez

1- Hazen

علاوه بر بارگذاری سطحی، کارایی حوض ته‌نشینی به شرایط هیدرولیکی جریان نیز بستگی دارد. هرچه جریان آرام‌تر باشد کارایی و راندمان افزایش می‌یابد. شاخص آرام بودن جریان نیز عدد رینولدز جریان است که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود:

$$Re = \frac{V_f d_h}{\nu} \quad (2)$$

که در آن V_f ، d_h و ν به ترتیب متوسط سرعت سیال (متر در ثانیه)، قطر هیدرولیکی (متر) و گرانیوی سینماتیک (متر مربع در ثانیه) هستند. عدد رینولدز مناسب برای اطمینان از جریان لامینار در ته‌نشین کننده‌های لوله‌ای باید کمتر از ۸۰۰ نگه داشته شود [۱۳].

برای محاسبه بارگذاری سطحی، از رابطه (۳) مساحت سطح مؤثر لازم محاسبه می‌شود:

$$A_E = L d \cos \theta \quad (3)$$

که در آن L و θ به ترتیب طول لوله‌ها (متر) و زاویه لوله نسبت به افق (درجه) است. بارگذاری سطحی که می‌توان حوض را بر اساس آن طراحی نمود، از رابطه (۴) محاسبه می‌شود:

$$SLR = \frac{Q}{A_E} \quad (4)$$

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مشخصات پایلوت ته‌نشینی

مطالعه درباره واحد ته‌نشینی لوله‌ای انجام گرفته است. از آنجایی که نحوه جریان هم‌جهت امکان لجن رویی خود به خودی را بهتر ممکن می‌سازد، پایلوت ته‌نشین کننده با جریان هم‌جهت ساخته و در کنار حوض هوادهی شماره دو تصفیه‌خانه اکباتان مستقر گردید (شکل (۱)). جریان از حوض هوادهی لجن فعال در تصفیه‌خانه فاضلاب اکباتان توسط یک پمپ وارد پایلوت ته‌نشینی لوله‌ای می‌شد. خروجی از پایلوت و لجن‌های ته‌نشین شده همگی به حوض هوادهی هدایت می‌شدند. بدنه اصلی ته‌نشین کننده از لوله با جنس پلی‌ونیل کلراید^۵ به قطر ۲۰ سانتی-متر ساخته شده و با زاویه ۴۵ درجه نصب گردید. در داخل بدنه اصلی لوله‌هایی با قطر پنج سانتی‌متر به طور موازی و از جنس

آلوم^۱ به منظور افزایش راندمان حذف (بالتر از ۹۵ درصد) و شیب بهینه ۴۵ درجه برای لوله‌ها به منظور ته‌نشینی جامدات لجن فعال گزارش کردند [۸]. در ته‌نشین کننده‌های لوله‌ای سیال و لجن‌های ته‌نشین شده به دو صورت متقابل^۲ و هم‌جهت^۳ می‌توانند نسبت به هم جریان داشته باشند. که نحوه جریان هم‌جهت امکان خودشویی لجن را بهتر فراهم می‌کند و امکان زاویه کمتر از ۶۰ درجه را برای نصب لوله‌ها ایجاد می‌کند [۹]. شوییدی و همکاران در سال ۲۰۱۱ کارایی ته‌نشین کننده‌های لوله‌ای شیب‌دار چند مرحله‌ای را در کاهش کدورت از جریان تغذیه ورودی به پایلوت تهیه شده از آب شهری و خاک رس بررسی نمودند. آن‌ها نشان دادند کدورت خروجی از واحد دو مرحله‌ای نسبت به واحد یک مرحله‌ای به طور میانگین ۷/۵ درصد کمتر در مرحله بدون فرآیند انعقاد و لخته‌سازی و ۱۴ درصد کمتر با انجام فرآیند انعقاد و لخته‌سازی است. آنها زمان ماند حدود شش دقیقه را برای مجموع واحد دو مرحله‌ای پیشنهاد نمودند [۱۰]. تحقیقات نشان داده است که ته‌نشین کننده‌های لوله‌ای برای بالا بردن عملکرد حوض ته‌نشینی ثانویه در فرآیند لجن فعال قابل استفاده است [۲، ۵، ۸ و ۱۱].

هدف اصلی این مطالعه بررسی امکان استفاده از ته‌نشین کننده‌های لوله‌ای به عنوان حوض ته‌نشینی ثانویه در تصفیه فاضلاب است. همچنین اثر زمان ماند مختلف و بارگذاری سطحی بر راندمان حذف از حوض هوادهی لجن فعال تصفیه‌خانه اکباتان بررسی شده است.

۲-۱- اصول کار حوض‌های ته‌نشینی

مطابق با مطالعات کمپ^۴ در سال ۱۹۴۶ که نظریه الگوی ته‌نشینی ذرات مجزا را در یک حوض مستطیلی ایده‌آل بیان کرد سرعت بحرانی ذره در حال ته‌نشینی (V_0) از طریق رابطه (۱) به دست می‌آید [۱۲]:

$$V_0 = SLR = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

رابطه (۱) نشان می‌دهد که کارایی یک حوض ته‌نشینی، به بارگذاری سطحی بستگی دارد. به این ترتیب با افزایش سطح افقی حوض، بارگذاری سطحی کاهش یافته و کارایی یک حوض بهبود می‌یابد.

- 1- Alum
- 2- Counter current
- 3- Co-current
- 4- Camp

5- Poly vinyl chloride (PVC)

۳- نتایج و بحث

پایلوت در پنج مقدار مختلف دبی برای تعیین اثر زمان ماند ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۴۰ دقیقه در لوله‌ها بهره‌برداری شد. در هر بهره‌برداری از پایلوت، نمونه‌برداری از خروجی پس از دو برابر زمان ماند آغاز شد. برای هر نمونه آزمایشات سه بار تکرار گردیده است. به طور کلی نتایج حاصل از میانگین ده مرتبه بهره‌برداری به عمل آمده از پایلوت است. مقایسه نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در جداول (۱) تا (۵) برای واحد ته‌نشین کننده لوله-ای و حوض ته‌نشینی شماره دو تصفیه‌خانه اکباتان آورده شده است.

جدول ۱- نتایج حاصل از بهره‌برداری پایلوت ته‌نشین کننده

لوله‌ای با زمان ماند ۵ دقیقه در لوله‌ها

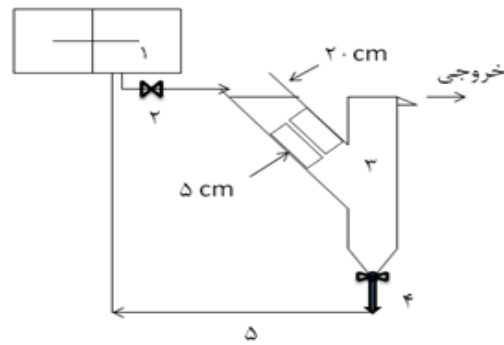
MLSS mg/l	% حذف TSS ته‌نشینی لوله‌ای	% حذف TSS ته‌نشینی تصفیه‌خانه اکباتان	کدورت خروجی ته‌نشینی لوله‌ای NTU	کدورت خروجی ته‌نشینی تصفیه‌خانه اکباتان NTU
۱۲۶۰	۹۶	۹۶/۹	---	---
۸۸۰	۹۴/۹	۹۵/۶	---	---
۱۵۸۰	۹۷	۹۷/۵	---	---
۶۶۰	۹۳/۸	۹۸/۵	---	---
۱۲۶۰	۹۵/۹	۹۹/۴	۴۴	۵
۱۰۶۰	۹۶/۴	۹۹/۶	۲۸	۴
۱۱۰۰	۹۵/۱	۹۹/۱	۴۰/۵	۵
میانگین	۹۵/۶	۹۸/۱	۳۷/۵	۴/۷

جدول ۲- نتایج حاصل از بهره‌برداری پایلوت ته‌نشین کننده

لوله‌ای با زمان ماند ۱۰ دقیقه در لوله‌ها

MLSS mg/l	% حذف TSS ته‌نشینی لوله‌ای	% حذف TSS ته‌نشینی تصفیه‌خانه اکباتان	کدورت خروجی ته‌نشینی لوله‌ای NTU	کدورت خروجی ته‌نشینی تصفیه‌خانه اکباتان NTU
۱۲۶۰	۹۶/۳	۹۶/۹	---	---
۸۸۰	۹۵/۵	۹۵/۶	---	---
۱۵۸۰	۹۷/۵	۹۷/۵	---	---
۶۶۰	---	۹۸/۵	---	---
۱۲۶۰	۹۶/۸	۹۹/۴	۱۸	۵
۱۰۶۰	---	۹۹/۶	---	۴
۱۱۰۰	---	۹۹/۱	---	۵
میانگین	۹۶/۵	۹۸/۱	۱۸	۴/۷

PVC پر شده بود. طول همه این لوله‌ها ۶۰ سانتی‌متر بود. در طول بهره‌برداری از پایلوت، به منظور مقایسه و به عنوان معیاری برای راندمان پایلوت ته‌نشینی، MLSS^۱ حوض هوادهی شماره دو (آزمایشات بر اساس کتاب روش‌های استاندارد [۱۴] بخش ۲۵۴۰)، TSS^۲ توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر مدل HACH DR-5000 و کدورت توسط دستگاه کدورت‌سنج مدل HACH-2100P خروجی از ته‌نشینی لوله‌ای اندازه‌گیری و همزمان با خروجی از حوض ته‌نشینی شماره دو تصفیه‌خانه مقایسه گردید.



شکل ۱- شمایی از نصب ته‌نشین کننده لوله‌ای در کنار حوض هوادهی تصفیه‌خانه، (۱) حوض هوادهی شماره دو تصفیه‌خانه، (۲) شیر برای کنترل ورود جریان به پایلوت، (۳) پایلوت ته‌نشینی لوله‌ای، (۴) شیر تخلیه لجن ته‌نشین شده، (۵) مسیر بازگشت لجن به حوض هوادهی

تصفیه‌خانه اکباتان واقع در غرب تهران یک تصفیه‌خانه لجن فعال است. این تصفیه‌خانه با متوسط دبی ۶۰۰ متر مکعب در ساعت، مجهز به سیستم A_2O (فرآیند مرکب جداسازی زیستی فسفر و نیتروژن) است. تصفیه‌خانه دارای دو حوض هوادهی با زمان ماند ۱۵ ساعت و حجم ۸۹۳۰ متر مکعب و دو حوض ته-نشینی دایره‌ای با قطر ۳۶/۶ متر، ارتفاع عمق کناره ۳/۶۶ متر و عمق مرکزی ۴/۷۸ متر با لجن روب‌های پل متحرک و زمان ماند شش تا هشت ساعت (به استناد از مدارک موجود در تصفیه‌خانه) است. در دبی طراحی، میزان بارگذاری سطحی و بارگذاری سرریز این تصفیه‌خانه به ترتیب ۰/۵۷ متر در ساعت و ۵/۲۲ متر مربع در ساعت است.

- 1- Mixed liquid suspended solids
- 2- Total suspended solids
- 3- Anaerobic, Anoxic, Aerobic

جدول ۳- نتایج حاصل از بهره‌برداری پایلوت تنشین کننده

لوله‌ای با زمان ماند ۱۵ دقیقه در لوله‌ها

MLSS mg/l	% حذف TSS تنشینی لوله‌ای	% حذف TSS تنشینی تصفیه خانه اکیاتان	کدورت خروجی تنشینی لوله‌ای NTU	کدورت خروجی تنشینی تصفیه خانه اکیاتان
۱۲۶۰	۹۶/۹	۹۶/۹	---	---
۸۸۰	۹۵/۵	۹۵/۶	---	---
۱۵۸۰	۹۷/۶	۹۷/۵	---	---
۶۶۰	۹۳/۹	۹۸/۵	---	---
۱۲۶۰	۹۶/۹	۹۹/۴	۱۷	۵
۱۰۶۰	۹۷/۵	۹۹/۶	۱۵	۴
۱۱۰۰	۹۶/۷	۹۹/۱	۱۸	۵
میانگین	۹۶/۴	۹۸/۱	۱۶/۷	۴/۷

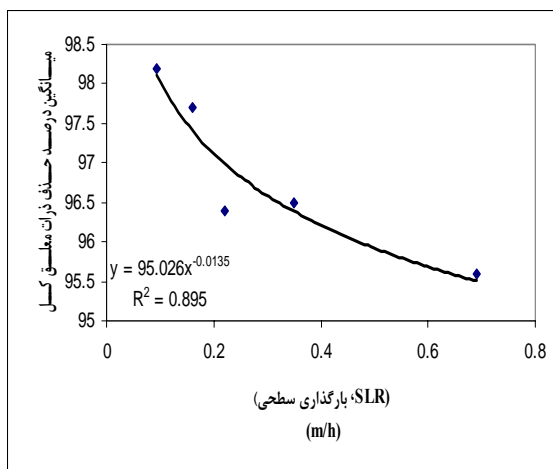
همان‌طور که نتایج حاصل از بهره‌برداری پایلوت (جدول ۱) تا (۵) نشان می‌دهند، با افزایش زمان ماند در لوله‌ها، درصد حذف ذرات معلق و کدورت افزایش می‌یابد. در واقع با افزایش زمان ماند، فرصت برای ته‌نشینی ذرات افزایش یافته است و از خروج ذرات با سرعت ته‌نشینی کمتر می‌تواند جلوگیری شود. همچنین نتایج جدول نشان می‌دهند که در یک زمان ماند مشخص در لوله‌ها اگرچه با افزایش MLSS ورودی به پایلوت میزان کدورت و ذرات معلق خروجی افزایش یافته است، در همه موارد از زمان‌های ماند در لوله‌ها، درصد حذف ذرات معلق افزایش یافته است. این رفتار می‌تواند ناشی از غلظت بیشتر جامدات در لوله‌ها و اثر آن‌ها بر یکدیگر (ته‌نشینی نوع سوم) و نهایتاً ته‌نشینی بهتر باشد. بنابراین در غلظت‌های بالاتر ته‌نشینی لوله‌ای می‌تواند درصد حذف بالاتری را داشته باشد.

جدول ۴- نتایج حاصل از بهره‌برداری پایلوت تنشین کننده

لوله‌ای با زمان ماند ۲۰ دقیقه در لوله‌ها

MLSS mg/l	% حذف TSS تنشینی لوله‌ای	% حذف TSS تنشینی تصفیه خانه اکیاتان	کدورت خروجی تنشینی لوله‌ای NTU	کدورت خروجی تنشینی تصفیه خانه اکیاتان NTU
۱۲۶۰	۹۷/۳	۹۶/۹	---	---
۸۸۰	۹۵/۷	۹۵/۶	---	---
۱۵۸۰	۹۷/۸	۹۷/۵	---	---
۶۶۰	۹۶/۱	۹۸/۵	---	---
۱۲۶۰	۹۸/۳	۹۹/۴	۱۸	۵
۱۰۶۰	۹۷/۹	۹۹/۶	۱۱	۴
۳۴۲۰	۹۹/۳	۹۹/۷	۱۲/۸	۶/۵
۱۱۰۰	۹۸	۹۹/۱	۱۱	۵
میانگین	۹۷/۶	۹۸/۲	۱۳/۲	۵/۱

نتایج حاصل از آزمایش‌ها و جداول بالا (جدول ۱) تا (۵) در شکل‌های (۲) تا (۴) آورده شده‌اند. میانگین درصد حذف ذرات معلق کل بر حسب بارگذاری سطحی در شکل (۲) آورده شده است. شکل (۲) نشان می‌دهد که با کاهش بارگذاری سطحی در ته‌نشین کننده لوله‌ای میزان حذف ذرات معلق کل افزایش می‌یابد. در واقع هر چه میزان بارگذاری سطحی کاهش یابد ذرات کوچکتر قادر به ته‌نشینی خواهند بود و راندمان افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل از شکل (۲)، با مطالعات پایلوتی محققانی مانند صالح^۱ و همکاران [۲] و جیمنز و همکاران [۸] در خصوص رابطه میانگین درصد حذف ذرات معلق و بارگذاری سطحی تطابق خوبی دارند.

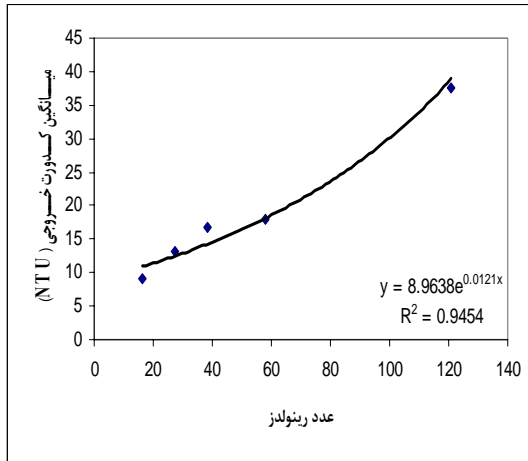


شکل ۲- رابطه درصد حذف ذرات معلق کل و بارگذاری سطحی در ته‌نشین کننده لوله‌ای

جدول ۵- نتایج حاصل از بهره‌برداری پایلوت تنشین کننده

لوله‌ای با زمان ماند ۴۰ دقیقه در لوله‌ها

MLSS mg/l	% حذف TSS تنشینی لوله‌ای	% حذف TSS تنشینی تصفیه خانه اکیاتان	کدورت خروجی تنشینی لوله‌ای NTU	کدورت خروجی تنشینی تصفیه خانه اکیاتان NTU
۱۰۶۰	۹۸/۱	۹۹/۶	۷	۴
۱۱۰۰	۹۸	۹۹/۱	۱۰	۵
۱۵۴۰	۹۸/۶	۹۹/۴	۱۰/۷	۵/۸
میانگین	۹۸/۲	۹۹/۴	۹/۲	۴/۹



شکل ۴- رابطه میانگین کدورت خروجی و عدد رینولدز برای تنه‌شین کننده لوله‌ای

از شکل (۴) رابطه بین کدورت خروجی و عدد رینولدز را می‌توان به صورت رابطه (۵) استخراج کرد:

$$(NTU) = 8.963e^{0.012 \times Re} \quad (5)$$

در بررسی‌های صورت گرفته از پایلوت در طی آزمایش‌ها، تجمع جامدات و گرفتگی ناشی از آن در لوله‌ها مشاهده نگردید. دلیل این مطلب را می‌توان امکان لجن‌روبی خود به خودی در نحوه جریان هم‌جهت سیال و لجن‌تنه‌شین شده و همچنین قطر و زاویه مناسب لوله‌ها در پایلوت تنه‌شین کننده لوله‌ای دانست.

۴- نتیجه‌گیری

نتایج مطالعات پایلوتی صورت گرفته در این تحقیق نشان دادند:

الف) راندمان حذف ذرات معلق و کدورت با افزایش زمان ماند در لوله‌ها و کاهش بارگذاری سطحی افزایش می‌یابد؛ اما از زمان ماند ۲۰ دقیقه به بعد در لوله‌ها کاهش قابل توجهی در راندمان نشان داده نشد.

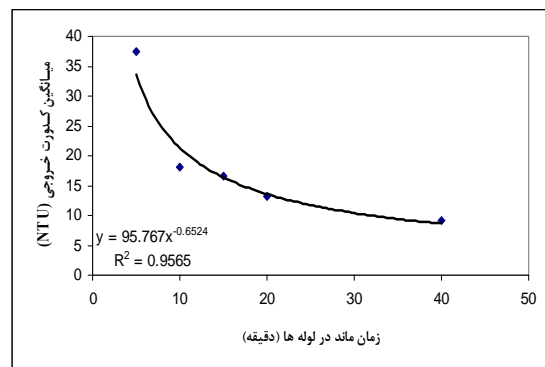
ب) تنه‌شین کننده لوله‌ای در زمان ماند ۲۰ دقیقه در لوله‌ها می‌تواند خروجی در محدوده استاندارد محیط‌زیست ایران برای تخلیه به آب‌های سطحی را ایجاد کند؛ در حالی که زمان ماند در حوض تنه‌شینی تصفیه‌خانه اکباتان شش تا هشت ساعت بود.

ج) میانگین درصد حذف ذرات معلق برای واحد تنه‌شینی لوله‌ای در زمان ماند ۲۰ دقیقه در لوله‌ها ۹۷/۶ درصد و برای حوض تنه‌شینی تصفیه‌خانه اکباتان ۹۸/۲ درصد گزارش شده است.

نتایج همچنین نشان می‌دهند استفاده از سیستم‌های ته‌نشین کننده لوله‌ای برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌تواند مناسب باشد.

شکل (۳) میانگین کدورت خروجی برحسب زمان ماند در لوله‌ها را برای واحد تنه‌شینی لوله‌ای نشان می‌دهد. کاملاً مشهود است که با افزایش زمان ماند در لوله‌ها کدورت خروجی از واحد تنه‌شینی لوله‌ای کاهش می‌یابد. چنانچه از شکل (۳) برمی‌آید از زمان ماند ۲۰ دقیقه به بعد در لوله‌ها با افزایش زمان ماند کاهش قابل توجهی در کدورت خروجی در واحد تنه‌شینی لوله‌ای مشاهده نمی‌شود. شایان ذکر آنکه خروجی پایلوت تنه‌شینی لوله‌ای در زمان ماند ۲۰ دقیقه در لوله‌ها در حد استاندارد محیط زیست ایران برای تخلیه به آب‌های سطحی است [۱۵]. میانگین درصد حذف ذرات معلق برای واحد تنه‌شین کننده لوله‌ای در زمان ماند ۲۰ دقیقه در لوله‌ها ۹۷/۶ درصد و برای تصفیه‌خانه اکباتان با زمان ماند شش تا هشت ساعت ۹۸/۲ درصد گزارش شده است.

رابطه میانگین کدورت خروجی برای واحد تنه‌شین کننده لوله‌ای و عدد رینولدز مربوط به آن برای زمان ماند ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۴۰ دقیقه در لوله‌ها در شکل (۴) آورده شده است. گرانیروی سینماتیک برای فاضلاب در دمای ۲۷ درجه، $10^{-6} \times 0.1864$ متر مربع در ثانیه در نظر گرفته شده است [۱۷]. شکل (۴) نشان می‌دهد هر چه عدد رینولدز کاهش می‌یابد، کدورت خروجی نیز کمتر می‌شود. همچنین هر چه عدد رینولدز در لوله‌ها کاهش پیدا می‌کند، اختلاف بین کدورت‌های خروجی از پایلوت در یک زمان ماند با زمان ماند قبلی کمتر می‌شود. در واقع هر چه عدد رینولدز بیشتر باشد، تلاطم جریان سیال در لوله‌ها، بیشتر است و موجب تنه‌شینی کمتر ذرات و یا شستشوی ذرات ریزتر به خروجی می‌شود.



شکل ۳- رابطه میانگین کدورت خروجی و زمان ماند در لوله‌ها

- American Society of Civil Engineering, Sanitary Engineering Division, 1955.
- [7] Culp, G. L., Hansen, S., "High-rate Sedimentation in Water Treatment Works", American Water Work Association, 1968, 60, 681-698.
- [8] Jimenez, B., Ramos, J., "High-rate Sedimentation for Wastewater Treatment Process", Environmental Technology, 1997, 18, 1099-1110.
- [9] Huisman, L., "Sedimentation and Flotation", IHE, Delft, the Netherlands, 1986.
- [10] Shevidi, A., Azimi, A., Nabihendi, G. H., Fazeli, M., Asadollahfardi, G. H., "Application of Multi-Stage Inclined Tube Settlers for Water Turbidity Removal", Journal of Water and Wastewater of Isfahan, 2011, 1, 12-22.
- [11] Mendis, J. B., Benedek, A., "Tube Settlers in Secondary Clarification of Domestic Wastewater", Water Pollution Control Federation, 1980, 52 (7), 1893-1897.
- [12] Camp, R. T., "Sedimentation and the Design of Settling Tanks", Transactions of the American Society of Civil Engineerings, 1946, 111-895.
- [13] American Water Works Association, "Water Quality and Treatment", A Handbook of Community Water Supplies, 5th Edition, McGraw-Hill, New York, 1999.
- [14] APHA, AWWA, WEF, "Standard Method for the Examination of Water and Wastewater", 18th Edition, American Public Health, Washington DC, 1992.
- [15] Legal and Parliamentary Office of the Department of Environment (DoE) of Iran, "Iran's Environmental Protection Laws and Regulations, Volume I and II", The DoE Publisher, 2000, (In Persian).
- [16] Lin, Sh., "Water and Wastewater Calculations Manual", McGraw-Hill Inc., USA, 2001.
- [17] Dick, R. I., "Role of Activated Sludge Final Settling Tanks", ASCE Journal of Sanitary Engineering Division, 1970, 96 (SA2), 423-426.
- د) با توجه به آن که در طول آزمایش‌ها، گرفتگی ناشی از تجمع جامدات با قطر پنج سانتی‌متر در لوله‌ها مشاهده نگردید، لذا می‌توان حداقل قطر را برای لوله‌ها پنج سانتی‌متر در نظر گرفت.
- به طور کلی با توجه به این که تأسیسات تصفیه فاضلاب باید به گونه‌ای طراحی، احداث و بهره‌برداری گردد تا پیش‌بینی‌های لازم جهت به حداقل رسانیدن آلودگی در مواقع اضطراری از قبیل شرایط آب و هوایی نامناسب، قطع برق، نارسایی تجهیزات مکانیکی و غیره فراهم گردد، استفاده از سیستم‌های ته‌نشین کننده لوله‌ای به منظور اجرای این اهداف، برای تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌تواند مناسب باشد.
- ### ۵- قدردانی
- این تحقیق تحت حمایت شرکت آب و فاضلاب استان تهران و در تصفیه خانه اکباتان و با امکانات آزمایشگاه شیمی این تصفیه‌خانه به انجام رسیده است. لذا از مساعدت مسئولین محترم شرکت آب و فاضلاب استان تهران تشکر و قدردانی به عمل می‌آید. همچنین از مساعدت مسئولین دانشکده مهندسی آب و محیط‌زیست دانشگاه صنعت آب و برق قدردانی می‌گردد.
- ### ۶- مراجع
- [1] Metcalf and Eddy, Inc., "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse" 3rd Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1991.
- [2] Saleh, A. M., Hamoda, M. F., "Upgrading of Secondary Clarifiers by Inclined Plate Settlers", Water Science and Technology, 1999, 40 (7), 141-149.
- [3] Leung, W. F., Probstein, R. F., "Lamella and Tube Settlers I. Model and Operation, Ind. Eng", Chemistry Process Design and Development, 1983, 22, 58-67.
- [4] Fadel, A. A., Baumann, E. R., "Tube Settler Modeling", Environmental Engineering, 1990, 116, 107-123.
- [5] Feri, J. K., "Multiple Tray Clarification at a Modern Treatment Plant", Sewage Works Engineering, 1941, 12, 423-432.
- [6] Fischerstorm, C. N. H., "Sedimentation in Rectangular Basins", Products of the

EXTENDED ABSTRACT

A Pilot Study for Application of Tube Settler as a Secondary Clarifier for Wastewater Treatment

Afsaneh Faraji ^a, Gholamreza Asadollahfardi ^{a,*}, Abbas Shevidi ^b

^a Department of Engineering Kharazmi University, Tehran, Iran

^b Department of Water Engineering Power and Water University of Technology, Tehran, Iran

Received: 15 May 2013; **Accepted:** 06 November 2013

Keywords:

Inclined tube settler, Suspended solid, Turbidity, Upgrade of clarifier

1. Introduction

The activated sludge technique is one of the most commonly used processes in municipal wastewater treatment plants, and a secondary sedimentation basin is one of the main units of the processes. Most of the clarifier and wastewater treatment plants are designed according to average daily flow, and they represent a low-cost system for wastewater treatment, but they need large areas and are not able to remove all small particles. Whenever waste treatment plants receive high amounts of wastewater flow, conventional sedimentation basins are facing overloading problems which result in poor performance [1].

This study was conducted to examine the possibility of applying inclined tube settlers in secondary sedimentation basin.

2. Methodology

2.1. Pilot plants

Experiments have been carried out at a wastewater treatment plant with activated sludge system using pilot-plant inclined tube settler. The pilot plant, the main body of the settlers, made of a polyvinyl chloride (PVC) which has an inner diameter of 5cm with an angle of 45 degrees related to horizontal, was installed at the Ekbatan wastewater treatment plant close to the aeration basin. Tube length was 60 cm (fig. 1). A submersible pump was used to deliver the influent from the activated sludge aeration basin to the pilot plant. The effluent of the pilot plant and the settled sludge were diverted to the inlet of the aeration basin. It was possible to sample from the effluent of pilot plant.

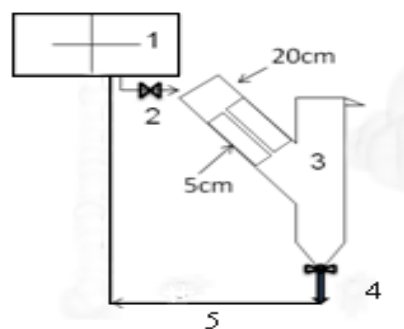


Fig. 1. Experimental set-up for inclined tube settler: (1) Aeration basin, (2) Manual valve to control feed to inclined tube settlers, (3) Pilot plant, (4) Valve to remove settled sludge, (5) Return sludge line into aeration basin.

* Corresponding Author

E-mail addresses: faraji_afsane@yahoo.com (Afsaneh Faraji), asadollahfardi@yahoo.com (Gholamreza Asadollahfardi), a_shevidi@yahoo.com (Abbas Shevidi).

2.2. Study sit

The Ekbatan wastewater treatment plant (EWTP), which is located in the west of the capital of Iran, Tehran, is a $600 \text{ m}^3/\text{h}$ conventional activated sludge treatment plant with the A_2O system. The EWTP has two aeration basins (15 hour detention times, 8930 m^3 volumes) and two circular sedimentation basins (36.6 diameters, 6-8 hour detention times). In design flow, surface loading is 0.57 m/h and weir loading rate is $5.22 \text{ m}^3/\text{m.h}$.

3. Results and discussion

The pilot plants were operated at different flow rates to determine the effect of the various hydraulic residence time (HRT) of 5, 10, 15, 20 min in the tubes and the SLR on the performance of the inclined tube settlers. The samples were collected in different operation periods. The effluent samples were analyzed according to procedures outlined in "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater to determine MLSS of the aeration basin. For monitoring of turbidity and TSS of the wastewater of the pilot plant were applied a standard turbidity meter (HACH-2100P) and spectrophotometer (HACH DR-5000), respectively, and subsequently the results were compared with the consequence of the Ekbatan sedimentation basin effluent (number 2), simultaneously.

The results of the experiments have been shown in figs. 2-4. Fig. 2 shows the relationship between SLR and the average TSS removal efficiencies. As shown in Fig. 2, when SLR increases, the TSS removal efficiency decrease. Indeed, the small particles can be settled with decreasing of SLR and efficiency can be decreased. This result has a good agreement with the results of some researchers such as Saleh and Hamoda [2] and Jimenez and et al. [3].

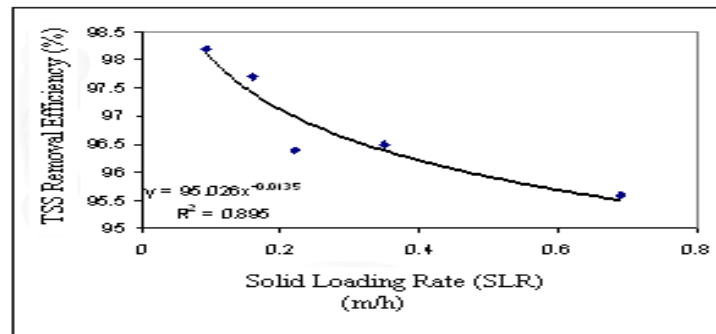


Fig. 2. The relationship between surface loading rate and TSS

Fig. 3 illustrates the relationship between hydraulic residence time in the tubes and the average effluent turbidity. The figure demonstrates that while HRT increases, the average effluent turbidity decreases. After 20 minutes in the tubes there is no significant difference in the effluents, and the curves tend to be flattened out as HRT is increased. Therefore, it seems that HRT of 20 min in the tubes is adequate for settling in the tube settler pilot plant. The average TSS removal efficiency of 20 minutes in the tubes and of the Ekbatan conventional sedimentation basin were 97.6% and 98.2%, respectively in MLSS of 1402.5 (mg/l) .

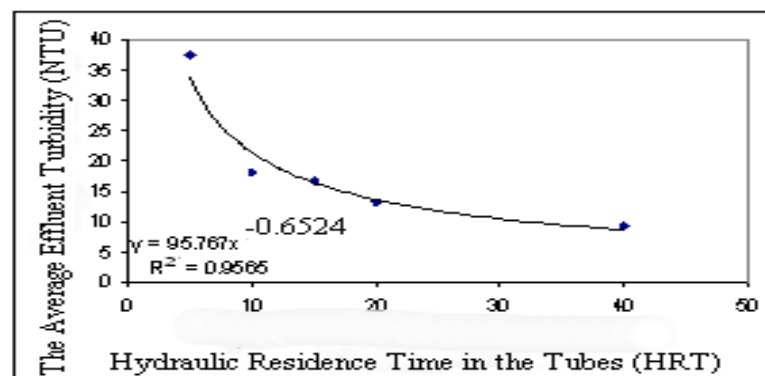


Fig. 3. The relationship between hydraulic residence time in the tubes and the average effluent turbidity

Fig. 4 shows the relationship between the average effluent turbidity and the Reynolds number. As shown in Fig. 4, while the Reynolds number increases, the average effluent turbidity increases. In fact, when the Reynolds number becomes greater, the flow in the tubes becomes more turbulent and this leads to less particle settling or washing the

smaller particles to output. The relationship between the average effluent turbidity and the Reynolds number could be explained by Eq. (1).

$$(\text{NTU}) = 8.963 e^{0.012 \times R} \quad (1)$$

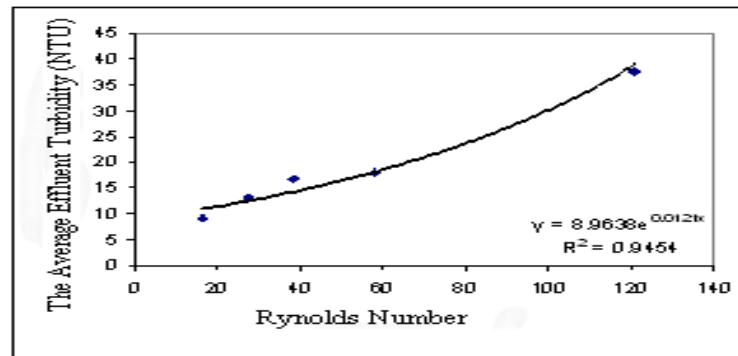


Fig. 4. The relationship between the Reynolds number and the average effluent turbidity

4. Conclusions

This study showed that the tube settler was effective in shorter residence time than conventional sedimentation basin of the wastewater treatment plant, and its effluent was within Iran's accepted limit for discharge to surface waters. After 20 minutes in the tubes, there is no significant difference in the effluents. Therefore, the HRT of 20 min in the tubes is adequate for settling in the tube settler pilot plant. The average TSS removal efficiency of 20 minutes in the tubes and of the Ekbatan conventional sedimentation basin were 97.6% and 98.2%, respectively in MLSS of 1402.5 (mg/l). Theoretical analyses and experiments in the pilot study had a good agreement. As well as no clogging due to accumulation of solids was observed. In general, tube settlers may be used to reduce required areas and to minimize the pollutions in emergency conditions, such as unsuitable weather conditions, power outages or shortages, and breakdown of mechanical equipment. Also, it may be used instead of secondary conventional sedimentation basin.

5. References

- [1] Metcalf and Eddy, Inc., "Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse" 3rd Edition, McGraw-Hill Book Co., New York, 1991.
- [2] Saleh, A. M., Hamoda, M. F., "Upgrading of Secondary Clarifiers by Inclined Plate Settlers", Water Science and Technology, 1999, 40 (7), 141-149.
- [3] Huisman, L., "Sedimentation and Flotation", IHE, Delft, the Netherlands, 1986.