High Rate Settling Performance in Zayandehrud Water

Torabian, Ali, and Hodai Morteza

Assist. Prof., Dept. of Environmental Engineering, University of Tehran

M.Sc. Dept. of Environmental Engineering, University of Tehran

Abstract

Settling tanks are called high rate settling if inclined parallel plates or tubes are placed in a settling device.

High rate settling tanks are used to reduce the time of sedimentation by increasing overflow rate to achieve a high removal efficiency.

For evaluation of high rate settling tanks in Zayandehrud river, a pilot with parallel plates with capacity of 100 m^3/day was used. The pilot is located in Esfahan Water Treatment Plant. The pilot was operated for six months in different conditions.

The results of these studies indicate that the efficiency of pilot for detention time of 40 minutes is equal to 70-85 percent. These studies also showed that the pilot with detention time equal to $\frac{1}{4}$ of Water Treatment Plant sedimentation tank for all conditions of influent turbidity has greater efficiency. Therefore, high rate settling can be used in Zayandehrud confidently. The results of this study show that the pilot efficiency increases with sludge blanket. Thick sludge cover has more influence than thin sludge cover. This study also indicates that lamella separator with sludge blanket has an efficiency greater than the Esfahan Plant sedimentation tanks with the same conditions.

بررسی کارایی ته‌نشین کننده‌های با بار هیدرولیکی زیاد در آب زاینده‌رود

علی ترابیان* مرتضی هدایی**

چکیده

ته‌نشین کننده‌های با بار هیدرولیکی زیاد به ته‌نشین کننده‌هایی اطلاق می‌شود که در آنها از لوله‌های شیب‌دار، صفحات دوار و یا صفحات موازی شیب‌دار استفاده می‌شود تا در زمان ماند کمتر و بار سطحی زیادتر به راندمان بالاتری در ته‌نشینی دسترسی پیدا شود.

برای بررسی کارایی این گونه ته‌نشین‌کننده‌ها در ارتباط با ته‌نشینی آب زاینده‌رود، یک مدل واقعی ته‌نشین کننده با بار هیدرولیکی زیاد از نوع صفحه‌ای با ظرفیت حدود ۱۰۰مترمکعب در روز ساخته شد و در مجاورت حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه آب اصفهان مستقر گردید و به مدت ۶ماه از بحرانی‌ترین ماههای سال در شرایط واقعی و کاملاً یکسان با شرایط موجود در این تصفیه‌خانه مورد آزمایش قرار گرفت. در این تحقیق وسیع و دراز مدت راندمان پایلوت ته‌نشینی با بار هیدرولیکی زیاد، در محدوده وسیع کدورت ورودی به این تصفیه‌خانه و در زمان ته‌نشینی حدود ۴۰دقیقه بین ۸۵-۷۰ درصد به دست آمد.

در نتیجه آزمایشهای انجام گرفته مشخص شد که راندمان پایلوت ته‌نشینی با بار هیدرولیکی زیاد در هر کدورتی، بالاتر از راندمان حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه است و این در صورتی است که زمان ماند پایلوت ته‌نشینی با بار هیدرولیکی زیاد کمتر از $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$ زمان ماند حوضچه‌های ته‌نشینی این تصفیه‌خانه می‌باشد. استفاده از بستر لجن در سیستم لاملا در افزایش راندمان آن و همچنین کاهش مواد منعقدکننده مصرفی تأثیر به سزایی دارد.

مقدمه

در تصفیه‌خانه‌های آب از فرایند ته‌نشینی برای کم نمودن مواد معلق آب و در نتیجه کاهش بار این مواد به فیلتر استفاده می‌شود. حداقل زمان ماند در حوضچه‌های ته‌نشینی متعارف حدود ۴-۳ ساعت است [۱].

همان‌گونه که مشخص است این مدت زمان برای فرایند ته‌نشینی که خود قسمتی از فرایند کلی تصفیه آب است زیاد به

* - عضو هیأت علمی دانشگاه تهران

** - کارشناس ارشد مهندسی محیط زیست، دانشگاه تهران

نظر می‌رسد. برای بر طرف کردن این اشکال، امروزه از حوضچه‌های ته‌نشینی سریع که تحت عنوان حوضچه‌های ته‌نشینی با بارهیدرولیکی زیاد معروف هستند استفاده می‌شود. برخی از امتیازات چنین حوضچه‌هایی عبارتنداز:

۱- زمان ماندکم (کمتر از ۱ ساعت)، ۲- بار سطحی زیاد (حدود $8m^3/m^2.hr$)، ۳- نیاز به زمین کمتر، ۴- لجن روبی آسان و ۵- راندمان بالا [۱، ۲، ۳].

مفهوم تانک ته‌نشینی ایده‌آل و برتریهای تانکهای کم عمق برای نخستین بار در اوایل قرن بیستم به وسیله هیزن[1] مورد قبول قرارگرفت و سپس توسط کمپ[2] پیگیری و کاربردهای عملی آن‌در دهه ۶۰میلادی به‌وسیله هنسن[3] وکالپ[4] ثابت‌گردید [۵، ۶]. در ارتباط با تحلیل و طراحی ته‌نشین کننده‌های با بارهیدرولیکی زیاد، تاکنون مدلهای زیادی ارائه شده است که مهمترین آنها عبارتنداز:

۱- مدل کالپ [۹]، ۲- مدل یائو[5] [۱۲، ۱۳]، ۳- مدل بلیس[6] [۷] و ۴- مدل فادل[7] [۴]

ته‌نشین‌کننده‌های با بار هیدرولیکی زیاد به دو دسته تقسیم می‌شوند [۱۱]:

۱- ته‌نشین کننده‌های لوله‌ای

۲- ته‌نشین کننده‌های صفحه‌ای

ته‌نشین کننده‌های با بار هیدرولیکی زیاد صفحه‌ای به ۳دسته تقسیم می‌شوند:

۱- ته‌نشین کننده‌های مخالف جریان‌که جریان آب خام و لجن مخالف یکدیگر هستند.[8]

۲- ته‌نشین کننده‌های موافق جریان‌که جریان آب خام و لجن موافق یکدیگر هستند.[9]

۳- ته‌نشین کننده‌های با جریان متقاطع‌که جریان آب خام و لجن در جهت عمود نسبت به هم هستند.[10]

که از میان ته‌نشین کننده‌های مخالف جریان، از یک سیستم هیدرولیکی ساده‌تر و با دوام‌تر بیشتر استفاده می‌کنند.

با توجه به این‌که جمعیت کثیری از روستائیان کشور در کنار رودخانه‌های مختلف از جمله رودخانه زاینده‌رود به صورت جوامع روستایی زندگی می‌کنند و برای تأمین آب آشامیدنی خود ناگزیر به بهره گیری از آب سطحی رودخانه‌ها می‌باشند و با توجه به این‌که تغییرات کدورت آب زاینده‌رود بسیار وسیع و به صورت لحظه‌ای می‌باشد و از کدورت‌های بسیار پایین (۲۰NTU) تا شوکهای جامدات (بالاتر از ۵۰۰۰NTU) را شامل می‌شود، در ارتباط باکارایی ته‌نشین کننده‌های سریع برای ته‌نشینی آب رودخانه، تحقیقات، آزمایشها و بررسی‌های عملی وسیعی انجام‌گرفته است [۲].

تحقیقات و آزمایشهایی نه به صورت‌کوتاه مدت، نه در سطح آزمایشگاه و نه با مدلهایی با مقیاس کوچک، بلکه تحقیقات و آزمایشهایی در طی فصول مختلف و بحرانی سال، در محل و در شرایط واقعی و عملی، با یک مدل واقعی نتایج واقعی مثبت و منفی را آشکار می‌سازد.

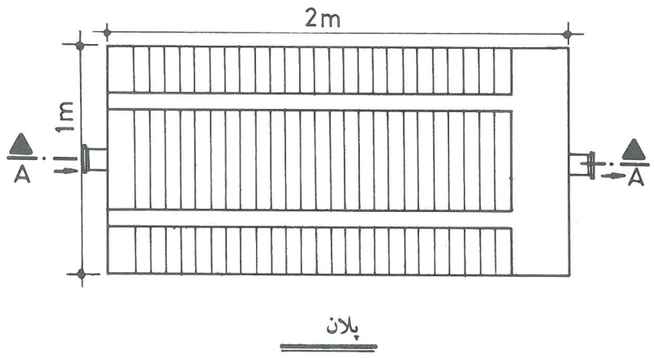
روش تحقیق

پایلوتهای تحقیقاتی نباید در مقیاسهای بسیار کوچک ساخته شوند زیرا نتایج به دست آمده از آنها نمی‌تواند معنی‌دار باشد [۱۱]. اصولاً پایلوتهایی که دارای سطح مقطع ۱ یاکمتر از ۱متر مربع باشند منجر به بروز نتایج خوشبینانه‌ای خواهند شدکه قابل اطمینان نبوده و از ارزش کار خواهندکاست. [۵، ۸، ۱۰].

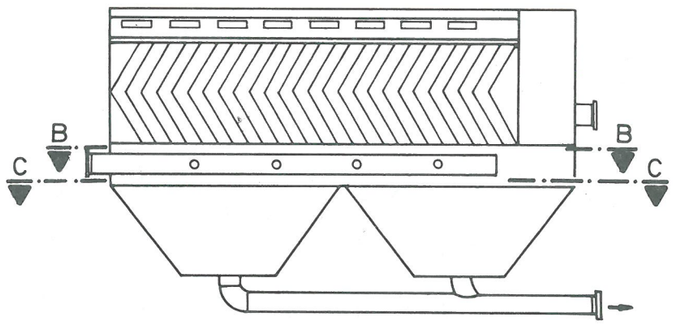
برای این تحقیق یک پایلوت مطالعاتی ته‌نشین کننده با بار هیدرولیکی زیاد، با سطح ۲مترمربع و ظرفیت حدود ۱۰۰متر مکعب در روز طراحی و ساخته شد. نوع پایلوت، لاملایی مخالف جریان و جنس آن از ورق سیاه با ضخامت ۲/۵میلی‌متر و زاویه صفحات آن با افق، ۶۰درجه انتخاب گردید. جزئیات پایلوت در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

پس از طراحی و ساخت، به دلیل آبگیری مستقیم تصفیه‌خانه آب اصفهان از رودخانه زاینده‌رود، شرایط اقلیمی و محلی، تزریق اتوماتیک مواد شیمیایی، استفاده از امکانات آزمایشگاهی تصفیه‌خانه و مقایسه راندمان پایلوت با راندمان حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه، این پایلوت در مجاورت

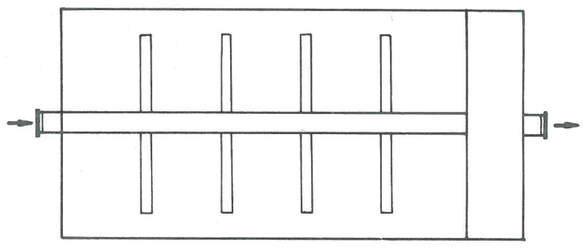
1- Hizen
2- Kamp
3- Hensen
4- Culp
5- Yaou
6- Belis
7- Fadel
8- Counter Current
9- Cocurrent
10- Cross Current



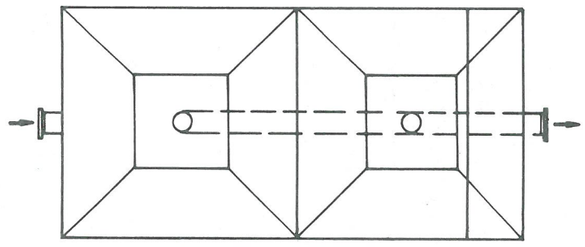
پلان



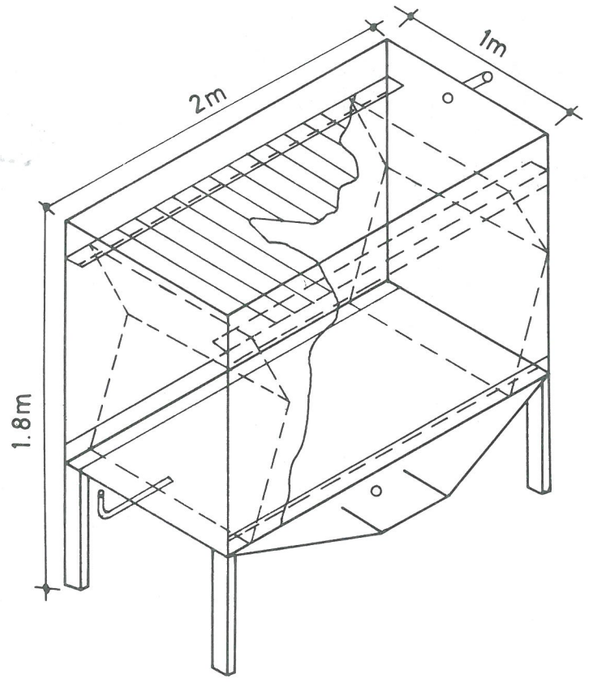
مقطع A-A



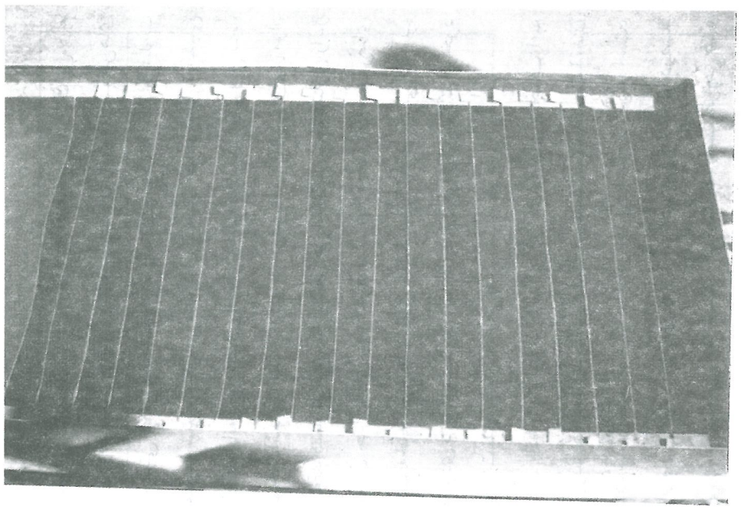
مقطع B-B

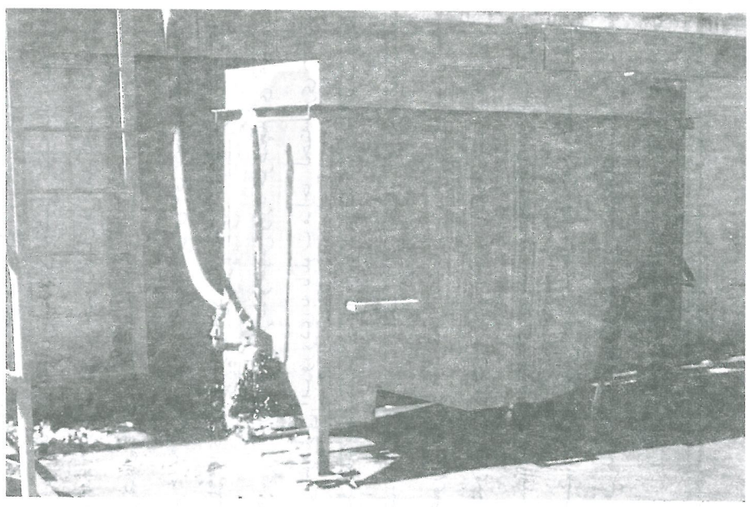


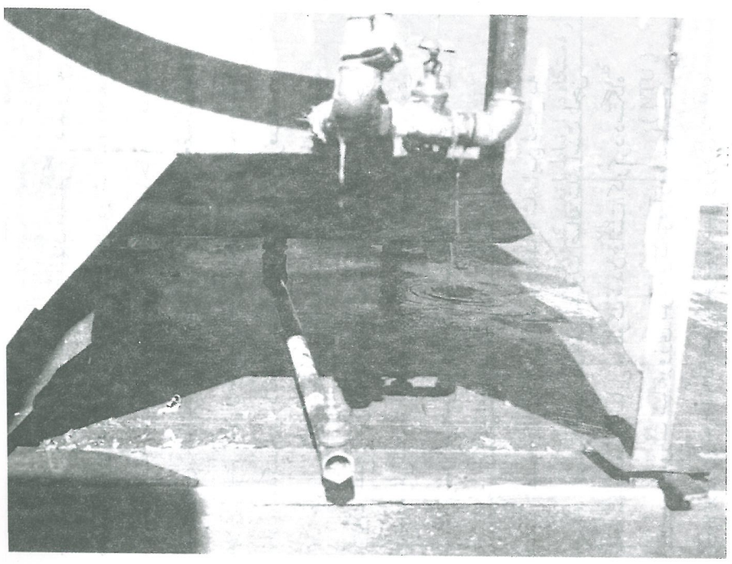
مقطع C-C

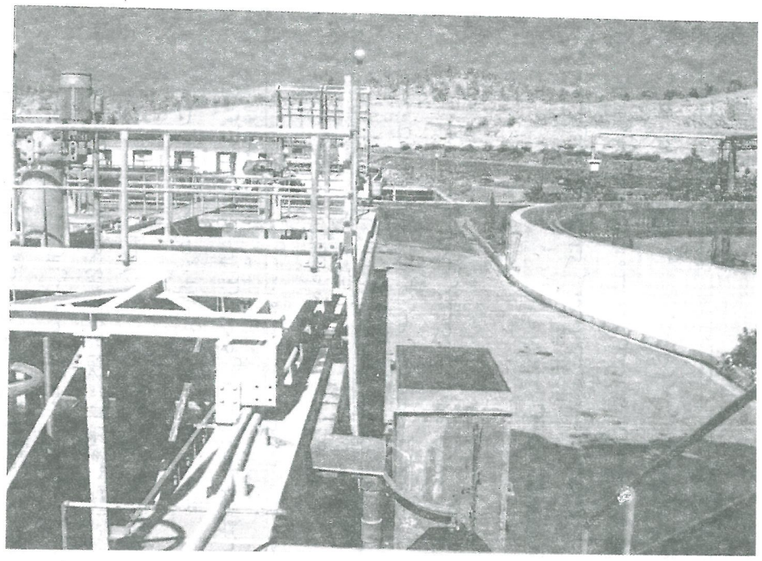


شکل ۱- پلان و مقاطع پایلوت لاملا









شکل ۲- تصاویر پایلوت لاملا نصب شده در تصفیه‌خانهٔ اصفهان

حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه اصفهان مستقر گردید و به مدت ۶ ماه از بحرانی‌ترین ماههای سال در شرایط واقعی ویکسان با شرایط موجود در این تصفیه‌خانه از جمله آب‌ورودی، شرایط آب و هوایی، دوز مواد منعقدکننده تزریقی، بستر لجن و شوکهای هیدرولیکی، مقدار جامدات و مواد منعقدکننده وارد به سیستم مورد آزمایش قرار گرفت.

عبور دبی‌های مختلف از پایلوت به وسیله نگهداری آب در یک سطح معین از آن و تنظیم شیرهای ورودی و خروجی آن انجام می‌گرفت. به منظور بررسی اثرات بستر لجن، روی سیستم توزیع جریان ورودی بستر لجن به ارتفاع ۲۰ تا ۳۰سانتیمتر از لجن که از ارتفاع ۱/۵متری کف حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه برداشت شده بود اضافه شد. این لجن به صورت رقیق و غلیظ در ارتفاع متفاوت اضافه شده است. لجن اضافه شده، فعال و تمایل به فلوک شدن داشت. کارکرد دستگاه پایلوت به صورت شبانه‌روزی بوده و نحوه آزمایشها بدین ترتیب بود که با توجه به حجم پایلوت و دبی ورودی به آن، نخست زمان ماند پایلوت را مشخص کرده و سپس کدورت آب ورودی به پایلوت و کدورت آب خروجی از آن، بعد از طی زمان ماند مربوطه بلافاصله پس از نمونه‌برداری، توسط کدورت سنج آزمایشگاه تصفیه‌خانه اصفهان (مدل ۱۶۸۰۰، HACH) تعیین می‌شد.

برای کم کردن خطاهای انجام گرفته، معدل کدورت‌ها به عنوان نتیجه ثبت می‌گردید. روزانه ۵ نمونه از ورودی و خروجی از دستگاه برداشت شده است.

در هنگام آزمایش کدورت، دمای آب نیز تعیین شده و حالت آب و وضعیت آب و هوا نیز ثبت می‌گردید.

حداکثر و حداقل دبی عبوری از پایلوت در طول مدت آزمایش ۵/۷۶ و ۲/۶۴ مترمکعب بر ساعت به ثبت رسید.

یافته‌های تحقیق

خلاصه نتایج به دست آمده از کلیه آزمایشهای انجام گرفته در جداول ۱ تا ۴ نشان داده شده است. جدول ۱ راندمان پایلوت لاملا را در کدورت‌های مختلف نشان می‌دهد. همان طور که از جدول مشاهده می‌شود راندمان پایلوت در کدورتهای مختلف آب ورودی به تصفیه‌خانه اصفهان بین ۱۰ تا ۵۰ درصد می‌باشد. در همین جدول راندمان حوضهای ته‌نشینی تصفیه‌خانه اصفهان با راندمان به دست آمده از پایلوت مقایسه شده و نشان می‌دهد که راندمان حوضهای ته‌نشینی تصفیه‌خانه به مراتب از راندمان پایلوت بیشتر است ولی باید توجه داشت که آب ورودی به حوضهای ته‌نشینی حاوی مواد منعقدکننده می‌باشد که قبلاً مراحل اختلاط و لخته‌سازی را در مخزن جداگانه‌ای طی نموده‌اند. علاوه بر آن حوضهای تصفیه‌خانه دارای بستر لجن غلیظ می‌باشد در حالی که آب ورودی به پایلوت لاملا آب خام بدون مواد منعقدکننده و خود پایلوت بدون بستر لجن می‌باشد.

راندمان پایلوت لاملا برای کدورتهای مختلف آب ورودی همراه با بستر لجن و مواد منعقدکننده در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در جدول مشخص شده است، راندمان پایلوت در کدورتهای مختلف بین ۷۰ تا ۸۵درصد می‌باشد. این بدین معناست که اگر دستگاه درست طراحی شده باشد و به صورت صحیح مورد بهره‌برداری قرار گیرد بدون توجه به کدورت ورودی می‌توان راندمان بالایی را به دست آورد. مقایسه راندمان حوضهای ته‌نشینی تصفیه‌خانه اصفهان با راندمان پایلوت در این جدول نشان می‌دهد که پایلوت دارای راندمان بالاتری نسبت به حوضهای ته‌نشینی تصفیه‌خانه دارد. با توجه به این که آب ورودی به حوض‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه قبلاً مراحل لخته‌سازی خود را در مخزن جداگانه و همراه با یک همزن با دور آرام طی کرده و سپس وارد حوضچه‌های ته‌نشینی می‌شود ولی آب ورودی به پایلوت مراحل لخته‌سازی را طی نکرده و مستقیماً پس از تزریق مواد منعقدکننده به پایلوت وارد شده است، به عبارت دیگر عمل لخته‌سازی در پایلوت به صورت کافی و مؤثر انجام نشده، با این حال پایلوت در همه کدورتهای ورودی به تصفیه‌خانه، راندمان بسیار بالاتری را نسبت به حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه به دست آورده است. این در صورتی است که زمان ماند پایلوت لاملا کمتر از $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$ زمان ماند حوض‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه است.

رابطهٔ راندمان دستگاه با زمان ماند در جدول ۲ نشان داده شده است. با توجه به آزمایشهای انجام شده بهترین زمان ماند

جدول ۱- راندمان دستگاه بدون افزایش مواد منعقدکننده و بستر لجن

کدورت NTU	راندمان پایلوت (درصد)	راندمان حوضهای ته‌نشینی تصفیه‌خانه (درصد)	بارسطحی (ساعت/m)	زمان‌ماند (دقیقه)
۱۳۰۰	۵۱	۹۵	۲/۷۳	۳۵
۶۰۰	۴۲	۷۲	۲/۷۳	۳۵
۲۵۰	۲۰	۷۹	۲/۷۳	۳۵
۲۴۰	۳۳	۶۷	۲/۷۳	۳۵
۳۳۵	۴۱	۷۱	۲/۷۳	۳۵
۱۵۲	۴۲	۶۸	۲/۷۳	۳۵
۵۳	۳۹	۲۲	۲/۷۳	۳۵
۴۹	۱۰	۴۴	۲/۷۳	۳۵
۳۹	۳۸	۶۸	۲/۷۳	۳۵
۳۸	۱۹	۷۳	۲/۷۳	۳۵

جدول ۲- راندمان به دست آمده از دستگاه در ارتباط با تغییر کدورت

کدورت (NTU)	بالاترین راندمان (درصد)	راندمان تصفیه‌خانه (درصد)	کدورت (NTU)	بالاترین راندمان (درصد)	راندمان تصفیه‌خانه (درصد)
۲۱۰-۲۰۰	۸۰/۵	۶۹	۱۲۰-۱۱۰	۷۶	۶۵
۲۰۰-۱۹۰	۸۵	۶۹	۱۱۰-۱۰۰	۷۲	۴۲
۱۹۰-۱۸۰	۸۵	۶۹	۱۰۰-۹۰	۷۷	۲۸
۱۸۰-۱۷۰	-	-	۹۰-۸۰	۸۰	۵۴
۱۷۰-۱۶۰	۶۹/۵	۵۳/۵	۸۰-۷۰	۷۰	۵۵
۱۶۰-۱۵۰	۷۸	۵۳/۵	۷۰-۶۰	۷۵	۵۵
۱۵۰-۱۴۰	۷۲/۵	۵۳/۵	۶۰-۵۰	۷۶	۵۹
۱۴۰-۱۳۰	۶۷	۵۳/۵			
۱۳۰-۱۲۰	۷۶	۴۷			
مجموع زمان ماند و زمان لخته‌سازی (۵۰دقیقه)			زمان ماند حوضهای ته‌نشینی تصفیه‌خانه (حدود ۱۶۹ دقیقه)		

جدول ۳- راندمان به دست آمده از دستگاه در ارتباط با تغییر زمان ماند

زمان‌ماند (دقیقه)	بالاترین راندمان (درصد)
۲۵	۵۲/۷
۳۰	۶۰
۳۵	۷۲
۴۰	۷۱/۲
۴۵	۷۶
۵۰	۸۵
۵۵	۷۶

جدول ۴- راندمان به دست آمده از دستگاه در ارتباط با تغییر بار سطحی

بار سطحی (مترمکعب بر مترمربع در ساعت) یا (متر بر ساعت)	راندمان (درصد)
۱/۷۵	۷۶
۱/۹۲	۸۵
۲/۱۳	۷۶
۲/۴	۷۱/۲
۲/۷۳	۷۲
۳/۲	۶۰
۳/۸۴	۵۲/۷

برای پایلوت لاملای مورد آزمایش در محدوده ۵۵-۴۰ دقیقه می‌باشد. با توجه به این‌که زمان ماند در این پایلوت‌مجموع زمان لخته‌سازی و ته‌نشینی است، برای به دست آوردن زمان لازم برای ته‌نشینی بایستی حدود ۱۵دقیقه از محدودهٔ زمان فوق کسر گردد و بنابراین زمان لازم برای ته‌نشینی در محدوده ۴۰-۳۰ دقیقه قرار می‌گیرد. این امر به این دلیل است که آب پس از تزریق مواد شیمیایی وارد دستگاه شده است در حالی که لازم است آب حاوی مواد منعقدکننده نخست وارد یک مخزن مجهز به یک همزن با دور آرام شود و زمان لخته‌سازی در این مخزن را طی نماید تا عمل لخته‌سازی به خوبی و به طور مؤثر انجام شود (چراکه زلال‌سازی مؤثر، نیاز به لخته‌سازی کافی و مؤثر دارد) و آب خروجی از مخزن لخته‌سازی به پایلوت لاملا وارد شود. در این صورت زمان ماند حدود ۴۰دقیقه می‌باشد.

رابطه راندمان دستگاه با تغییرات بارسطحی در جدول ۴ نشان داده شده است. با توجه به این جدول میزان بار سطحی برای این پایلوت در محدوده ۲/۷ - ۱/۷ متر در ساعت قرار دارد.

بحث

در این تحقیق، راندمان پایلوت ته‌نشینی لاملا، در کدورتهای مختلف بین ۸۵-۷۰ درصد برآورد شدکه با توجه به بهره‌برداری صحیح و جلوگیری از شوکهای وارده به پایلوت و افزایش اندک در دوز منعقدکننده تزریقی می‌توان به راندمانهای بالاتر از ۹۰ درصد نیز دست یافت.

آنچه باید متذکر شد این است که آب حاوی مواد منعقدکننده ورودی به پایلوت لاملا، مراحل لخته‌سازی خود را طی نکرده و راندمان به دست آمده از پایلوت با توجه به چنین شرایطی بوده است. اگر یک مخزن واکنشی همراه با یک همزن با دور آرام و با زمان ماند حدود ۱۵ دقیقه برای این پایلوت تعبیه شود که آب ورودی نخست مراحل لخته‌سازی خود را در این مخزن طی کرده و سپس وارد پایلوت لاملا شود، مطمئناً راندمان بسیار بالاتری از پایلوت لاملا به دست خواهد آمد. زیرا زلال‌سازی مؤثر، شرایط اصلی در لخته‌سازی مطلوب و مؤثر است.

حداکثر بار سطحی عبوری از این پایلوت حدود ۳/۸۴ متر بر ساعت بوده است که با تغییرات جزیی در ساخت مجدد پایلوت می‌توان با توجه به همین مساحت، بار سطحی را تا حدود ۶ متر بر ساعت افزایش داد بدون این که در زمان ماند پایلوت و یا راندمان به دست آمده از آن کاهش چشمگیری رخ دهد.

بهترین زمان ماند برای این پایلوت در محدوده ۵۵-۴۵ دقیقه قرارگرفته است و چون زمان ماند در این پایلوت برابر با مجموع زمان لازم برای لخته‌سازی و زمان لازم برای ته‌نشینی است، بنابراین بهترین زمان لازم برای ته‌نشینی در این پایلوت در محدوده ۴۰-۳۰ دقیقه پیشنهاد می‌شود و این در صورتی است که آب ورودی به پایلوت لاملا قبلاً مراحل لخته‌سازی خود را به طور مؤثری طی کرده باشد.

نکته دیگر این که، نوع آب، جنس و قطر ذرات و تمایل

آنها به فلوک شدن در راندمان پایلوت لاملا تأثیر به سزایی دارد. مسئله بهره‌برداری صحیح از پایلوت حائز اهمیت است و اگر بهره‌برداری از سیستم لاملا به صورت صحیح انجام گیرد و از شوکهای وارد به پایلوت جلوگیری شود، بالاترین راندمان به دست آمده از پایلوت با متوسط راندمان به دست آمده از آن تفاوت چندانی با هم نخواهد داشت. نتایج حاصل از دستگاه نشان می‌دهد که بستر لجن به دلیل دارا بودن اثر هسته‌ای و اثر متعادل‌کنندگی شرایط ته‌نشینی را بهبود بخشیده و سبب می‌شود دستگاه شوکهای کوتاه مدت مواد منعقدکننده را تحمل نماید و همچنین آزمایشهای انجام گرفته نشان می‌دهد بستر لجن غلیظ همیشه مؤثرتر از بستر لجن رقیق عمل می‌نماید.

نتیجه گیری

- از ته‌نشین‌کننده‌های با بار هیدرولیکی زیاد، با اطمینان کامل می‌توان برای ته‌نشینی آب زاینده‌رود در مناطق شهری، صنعتی و روستایی استفاده کرد.

- راندمان پایلوت لاملا با بستر لجن در مقایسه با راندمان حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه اصفهان، در هر کدورتی بسیار بالاتر است و این در صورتی است که زمان ماند پایلوت لاملا حدود $\frac{1}{4}$ تا $\frac{1}{3}$ زمان ماند حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه است.

- وجود بستر لجن در سیستم ته‌نشینی لاملایی (به خصوص بستر لجن غلیظ) روی افزایش راندمان این سیستم تأثیر به سزایی دارد. ذکر این نکته ضروری است که بستر لجن به کار رفته بایستی فعال بوده و تمایل به تشکیل فلوک داشته باشد.

در این صورت علاوه بر برخورداری از مزایای مخصوص سیستم لاملا از جمله: نیاز به زمین کمتر، زمان ماند کمتر و بارسطحی زیادتر، راندمان بالاتر، کاهش مواد منعقدکننده مصرفی و تحمل شوکها و وقفه‌های کوتاه مدت، می‌توان در تزریق مواد منعقدکننده هم صرفه‌جویی نمود.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات مسئولین تصفیه‌خانه آب اصفهان به ویژه ریاست محترم تصفیه‌خانه جناب آقای مهندس مرتضوی که با راهنمایی‌های ارزنده و حمایتهای خود انجام این تحقیق را میسر نمودند قدردانی و تشکر می‌گردد.

منابع و مراجع

۱- تاجبخش تبار، ج. ۱۳۷۲، ارزشیابی سودمندی ته‌نشین‌کننده‌های سریع، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه تهران.
۲- هدایی، م. ۱۳۷۵، ته‌نشینی سریع، پایان‌نامه کارشناسی ارشد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی.
۳- رجبی‌زاده دارزینی، ا. ۱۳۷۵، ارزیابی سودمندی تانک ته‌نشینی با بار هیدرولیکی زیاد جهت کاهش مواد معلق رودخانه کارون، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران.

4- Fadel, A., and Bauman, E.R. (1990). " *Tube - Settler Modeling* ", J. Environ. Eng. Div., ASCE, Jan., PP.107 - 123.
5- Hernande, Z.J., and Wright, J. (1970). " *Tube - Settler Design* ", J. Industrial Water Eng., Sept., PP. 25-27.
6- Verhoff, F.H. (1979). " *Optimal Design of High - Rate Sedimentation Devices* ", J. Environ. Eng. Div., ASCE, Apr., PP. 201 - 215.
7- Willis, R.M. (1978). " *Tubular Settlers - A Technical Review* ", J. Am. Water Works Assoc., June, PP. 331 - 335.
8- Cordoba - Moling, J.F., Hudgins, R.R., and Silvestion, P.L. (1978). " *Settling in Continuous Sedimentation Tanks*", J. Environ. Eng. Div., ASCE, Dec., PP. 1263 - 1275.
9- Culp, G., Hansen, S., and Richardson, G. (1958). " *High - Rate Sedimentation in Water Treatment Works* ", J. AWWA, June, PP. 681 - 698.
10- Forsell, B., and Hedstrom, B. (1975). " *Lamella - Sedimentation, A Compact Separation Technique* ", J. WPCF, Apr., PP. 834 - 842.
11- Hampal, G., J., and Chiesa, R., (1990). " *Selection, Design and Operation of Inclined Plate Settlers* ", J. Metal finishing, Nov., PP. 57-62.
12- Yao, K. M. (1973). " *Design of High - Rate Settlers* ", J. Environ. Eng. Div., ASCE, Oct., PP. 621 - 637.
13- Yao, K. M. (1970). " *Theoretical Study of High - Rate Sedimention* ", J. WPCF, Feb., PP. 218 - 228.