# مهندسی مجدد در کلاریفایرهای تصفیه‌خانه آب اصفهان از طریق نصب سیستم لاملا

محسن معمارزاده[1]

(دریافت ۸۸/۱۲/۱۱ پذیرش ۸۹/۸/۲۲)


## چکیده

**به‌منظور دستیابی به کارایی بهتر و بیشتر در حذف کدورت در حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه‌های آب می‌توان از لوله‌های شیب‌دار، صفحات دوار یا صفحات موازی شیب‌دار استفاده نمود. با هدف بررسی کارایی استفاده از حوضچه‌های ته‌نشینی متعارف مجهز شده به سیستم لاملا، پایلوت شش گوشه با قطر هیدرولیکی ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر و زاویه ۶۰ درجه و طول ۱/۲ متر طراحی و بر روی یک قطاع ۱۵ درجه نسبت به مرکز(یک سل) یکی از حوضچه‌های ته‌نشین کننده تصفیه‌خانه آب اصفهان نصب شد. کدورت آب ورودی به حوضچه ته‌نشین کننده نسبت به کدورت آب خروجی از سرریز این قطاع و قطاع مشابه فاقد سیستم لاملا در همان حوضچه ته‌نشین کننده، در طول مدت یک سال و شرایط کاملاً طبیعی و یکسان با استفاده از نرم افزار SPSS و آزمون آماری T، مورد مقایسه قرار گرفت. مشخص شد که در کدورتهای یکسان در صورت عدم استفاده از سیستم لاملا، درصد حذف کدورت توسط حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه آب اصفهان حداقل ۰/۹، حداکثر ۵۴/۰۱ و به‌طور میانگین ۱۸/۹ درصد است در صورتی که در قطاع مجهز شده به سیستم لاملا این اعداد به‌ترتیب ۲۰، ۶۵ و ۳۵/۳ درصد بود. این موضوع برتری قاطع عملکرد حذف کدورت در قطاع حوضچه ته‌نشینی مجهز شده به سیستم لاملا نسبت به قطاع متعارف حوضچه ته‌نشین کننده را نشان می‌دهد.**


***واژه‌های کلیدی***: حوضچه ته‌نشینی، سیستم لاملا، لوله‌های شیب دار، کدورت

# Re-Engineering of Clarifiers in Isfahan Water Treatment Plant Using Lamella System

*Mohsen Memarzadeh*[1]

*(Received March 1, 2010 Accepted Nov. 13, 2010)*


## Abstract

There are many methods for increasing efficiency of turbidity removal such as tube settler, rotating plate or gradient parallel plate. In this study was evaluated conventional sedimentation basin which equipped by lamella system. The pilot used in the study was made up of poleax glass hexagonal having effective height of 1.2m with hydraulic diameter of 50-80 mm. The slope of sedimentation basin was $60^0$ at the basis of horizon. The lamella system was installed onto a segment which located $15^0$ at the basis of center of sedimentation basin. The pilot was located in Isfahan Water Treatment Plant. In fact the segment isolates sedimentation basin into two compartments, first with lamella and another without it.The turbidity of influent and effluent in two compartments were evaluated by SPSS software and T-Student.The result showed that at same condition without lamella, the minimum, maximum and average turbidity removal efficiency in Isfahan Water Treatment Plant were about 0.9%, 54% and 18.9% respectively. But in compartment equipped by lamella system The removal were about 20%, 65% and 35.3%. It can be concluded that the turbidity removal efficiency will be increased if the sedimentation basin would equipped by lamella system.


***Keywords:*** Sedimentation Basin, Lamella System, Tube Settler, Turbidity.


۱- مدیر تصفیه‌خانه آب اصفهان و دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم خاک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد خوراسگان، اصفهان (نویسنده مسئول) ۰۳۱۱)۲۷۳۰۳۰۹(
mhsn_memarzadeh@yahoo.com

1. Manager of Isfahan Water Treatment Plant and M.Sc. of Soil Sciences Eng. Islamic Azad University, Branch of Khorasgan, Isfahan (Corresponding Author) (+98 311) 2730309 mhsn_memarzadeh@yahoo.com

## ۱- مقدمه

آب حاصل از منابع طبیعی معمولاًدارای جامدات محلول و معلق زیادی است. ذرات معلق بزرگ مانند شن، مشابه ذرات مجزا عمل کرده و می‌توانند به‌وسیله فرایندهای ته‌نشینی[1] و یا فیلتراسیون به آسانی حذف شوند. کوچک‌ترین ذراتی که قطری کمتر از ۱ میکرون دارند، معمولاً کلوئید نامیده می‌شوند و ذراتی که از این حد بزرگ‌تر هستند معمولاً معلق نامیده می‌شوند [۱]. ذرات کلوئیدی جامدات بسیار ریزی هستند که قطری بین ۰/۰۰۱ تا ۱۰ میکرون داشته و در محلول به‌صورت معلق وجود دارند. ذرات کلوئیدی حتی به‌وسیله میکروسکوپ‌های قوی هم قابل رویت نیستند [۲]. قسمتی از ذرات پراکنده در آبهای سطحی و فاضلابها، مواد معلق غیر قابل ته‌نشینی هستند که معمولاً اندازه‌ای در محدوده ۰/۱ تا ۱۰۰میکرون دارند. ذرات کلوئیدی در محدوده ۰/۰۰۱میکرون تا ۱ میکرون قرار می‌گیرند [۳]. کلوئیدها با نیروی ثقل ته‌نشین نمی‌شوند و به‌وسیله صاف‌سازی متداول قابل حذف نیستند. معمولاً فرایندهایی شامل اتصال ذرات کلوئیدی به‌وسیله انعقاد و لخته‌سازی به‌منظور ساختن ذراتی بزرگ‌تر و متعاقب آن ته‌نشینی یا صاف‌سازی انجام می‌شود. هدف اصلی این فرایندها حذف کلوئیدها و ذرات است. پدیده‌های اصلی کنترل کننده رفتار کلوئیدها، نیروهای الکترواستاتیک، واندروالس و حرکت براونی هستند [۳].

### ۱-۱- فرایند انعقاد

فرایند انعقاد، به‌منظور افزایش سرعت ته‌نشینی جامدات کلوئیدی که قابلیت ته‌نشینی ندارند و جامدات معلق که سرعت ته‌نشینی پایینی دارند، انجام می‌گیرد. به‌عبارت دیگر فرایند انعقاد شامل افزودن و اختلاط یک ماده منعقد کننده، خنثی‌سازی جامدات کلوئیدی معلق و ریز و تجمع اولیه با ذرات خنثی شده است. لخته‌سازی عبارت است از اختلاط آهسته یا تلاطم ملایم برای نزدیک کردن و تجمع ذرات خنثی شده و تشکیل ذره[2] با سرعت ته‌نشینی زیاد.

در تصفیه آب کاربرد عمده لخته‌سازی و انعقاد، متراکم کردن جامدات قبل از ته‌نشینی و فیلتراسیون شنی تند است. در تصفیه فاضلاب شهری، لخته‌سازی و انعقاد برای تجمع جامدات در تصفیه فیزیکی و شیمیایی فاضلابهای خام و خروجی‌های اولیه یا ثانویه کاربرد دارد.

ویژگی مهم پراکندگی کلوئیدی جامد در آب، ته‌نشین نشدن این ذرات جامد توسط نیروی جاذبه است. زمانی که یک کلوئید جامد در سوسپانسیون باقی‌مانده و ته‌نشین نشود، سیستم در یک شرایط پایدار قرار دارد [۳].

### ۱-۲- تئوری انعقاد

قسمتی از ذرات پراکنده در آبهای سطحی و فاضلابها، مواد معلق غیر قابل ته‌نشینی هستند که معمولاً اندازه‌ای در محدوده ۰/۱ تا ۱۰۰میکرون دارند. ذرات فوق کلوئیدی در محدوده ۱ میکرون تا ۱۰۰ میکرون قرار می‌گیرند. در این دامنه اندازه سرعت ته‌نشینی ناچیز است [۳].

### ۱-۳- فرایند ته‌نشینی (زلال‌سازی)

یکی از واحدهای فرایندی معمول تصفیه آب و فاضلاب ته‌نشینی است که زلال‌سازی هم نامیده می‌شود.

فرایند ته‌نشینی به دو دسته تقسیم می‌شود:حوضچه دانه‌گیری (ته‌نشینی صفحه‌ای) ومخزن‌های ته‌نشینی (زلال‌سازها). ملاک این تقسیم‌بندی، اندازه، مقدار و وزن مخصوص مواد معلقی است که باید از هم تفکیک شوند [۴]. ته‌نشینی یکی از قدیمی‌ترین واحدهای به‌کار رفته در تصفیه آب و فاضلاب است. اصول ته‌نشینی برای حوضچه‌های تصفیه آب و فاضلاب مشابه بوده و تجهیزات و روشهای راهبری آنها نیز مشابه است. جنس حوضچه‌های ته‌نشینی معمولاً بتن مسلح بوده و از نظر پلان مدور، مربع و یا مستطیل شکل هستند. کوئی[3] و سلنجر[4] در سال ۱۹۱۶ یک تقسیم‌بندی را برای حالات مختلف ته‌نشینی ارائه دادند که این تقسیم‌بندی بعدها توسط کمپ[5] در سال ۱۹۴۶ و فیتچ[6] در سال ۱۹۵۶ اصلاح شد [۳].

#### ۱-۳-۱- تانک ته‌نشینی ایده‌آل

ته‌نشینی ایده‌آل با جریان افقی دارای خصوصیاتی است که کاربرد فراوانی برای شرح رفتار ته‌نشینی ذرات مجزا دارد:

۱-جریان در تانک در بخش عرضی توزیع می‌شود؛

۲- ذرات در آب پخش می‌شوند؛

۳- ته‌نشینی ذرات از نوع اول است.

#### ۱-۳-۲- عوامل مؤثر در فرایند ته‌نشینی

مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر روی فرایند ته‌نشینی شامل خواص آب، سرعت ته‌نشینی ذرات و خصوصیات فیزیکی رسوبات است [۵، ۶ و ۷].

---

[1] Setteling
[2] Floc
[3] Coe
[4] Clerenger
[5] Camp
[6] Fitch

**۱-۴- اشکال هندسی حوضچه ته‌نشینی**

حوضچه‌های ته‌نشینی را بیشتر به سه شکل هندسی مستطیلی، دایره‌ای و مربعی به‌کار می‌برند[۲].

**۱-۵- بهبود عملکرد حوضچه ته‌نشینی**

برای بهبود عملکرد فرایند ته‌نشینی، در طراحی حوضچه ته‌نشینی متداول تغییراتی داده شده است که عبارت‌اند از :

۱- ساخت و کاربرد وسایل ایجاد کننده جریان آرام که عملکرد را با ایجاد شرایط نزدیک‌تر به ایده‌آل، بهبود می‌بخشند.

۲- ساخت و کاربرد واحدهای تماس جامدات که حذف ذرات را با فرایند انعقاد و به دام اندختن ذرات ورودی، بهبود می بخشند.

۳- ابداع سیستم ته‌نشینی انحصاری.

**۱-۶- تصفیه‌خانه آب اصفهان**

نزدیک به هشتاد سال از احداث نخستین تصفیه‌خانه آب سطحی در کشور می‌گذرد و در این مدت بالغ بر ۷۴ تصفیه‌خانه به بهره‌برداری رسیده است. در تمامی تصفیه‌خانه‌ها به‌جز تصفیه‌خانه آب باباشیخ‌علی اصفهان، از مواد منعقد کننده‌ای نظیر سولفات آلومنیوم، کلرورفریک و سولفات فریک برای انعقاد و لخته‌سازی استفاده می‌شود [۸]. تصفیه‌خانه آب اصفهان در ۵۵ کیلومتری جاده اصفهان – شهرکرد واقع در شهر زاینده‌رود احداث شده است که علاوه بر اصفهان، ۴۰ شهر و بیش از ۴۰۰ روستا و تعداد زیادی از صنایع بزرگ و کوچک استان اصفهان را مشروب می‌کند (شکل ۱).

ظرفیت تصفیه‌خانه آب اصفهان ۱۲/۵ متر مکعب در ثانیه است و از دو فاز مجزا تشکیل شده است که فاز اول با ظرفیت ۵ مترمکعب در سال ۱۳۶۸ به بهره‌برداری رسید و فاز دوم با ظرفیت ۷/۵ متر مکعب در سال ۱۳۸۶ به ظرفیت نهایی رسید و مورد بهره برداری قرار گرفت.

**۱-۷- تعریف واژه‌ها**

۱- ته‌نشینی: فرایندی است که مواد معلق را از فاز مایع با کمک نیروی ثقلی حذف می‌کند و یکی از واحدهای مرسوم در تصفیه آب و فاضلاب به‌شمار می‌رود [۹].

۲- کدورت[1]: کدورت در آب توسط مواد معلق و کلوئیدی همانند رس، سیلت، موادآلی و غیر آلی ریز، پلانکتون و ارگانیسم‌های میکروسکوپی به‌وجود می‌آید. کدورت در واقع بیان کننده میزان جذب یا پراکنده شدن نور در آب به‌وسیله مواد معلق است [۶]. ارتباط کدورت با وزن یا غلظت ذرات معلق مشکل است زیرا اندازه، شکل و اندکس شکست یا انکسار ذرات بر روی خصوصیات انحراف نور محلول سوسپانسیون تأثیر می‌گذارد. واحد کدورت بر حسب NTU است. در واقع واحد NTU معرف تفرق نور تابیده شده است [۶].

کدورت پدیده‌ای است که میزان شفافیت آب را مشخص می‌کند و به‌عنوان یک خاصیت ظاهری آب محسوب می‌گردد. این پارامتر به روشهای فتومتری که درصد جذب یا پراکنده شدن نور را تعیین می‌کنند، اندازه‌گیری می‌شود.

واحد بین المللی کدورت NTU بوده که میزان کدورت را بر اساس اصل پراکندگی اندازه‌گیری می‌نماید [۲]. در مدیریت سیستم‌های تأمین آب در هر اجتماعی، تعیین پارامترهای فیزیکی نظیر کدورت اهمیت ویژه‌ای دارد زیرا مصرف کنندگان در زمینه کیفیت آب براساس حواس خود قضاوت می‌نمایند.

[1] Turbidity

**شکل ۱**- تصفیه خانه آب اصفهان

کدورت زیاد آب می‌تواند میکروارگانیسم‌ها را از تأثیر گندزدایی مصون داشته و باعث رشد باکتری‌ها و افزایش کلر مورد نیاز گردد. بنابراین در هر مرحله‌ای که گندزدایی صورت می‌گیرد، کدورت باید پائین باشد و برای گندزدایی مؤثر، بهتر است کدورت کمتر از ۱ NTU باشد. کدورت بیش از ۵ NTU ممکن است قابل تشخیص بوده منجر به اعتراض مصرف کنندگان گردد [۲ و۶].

۳- کل جامدات معلق[1]: جامداتی که در آب محلول نیستند بلکه به‌صورت ذرات معلق وجود دارند، جامدات معلق در آب نامیده می‌شوند. TSS ، در واقع بخشی از جامدات کل هستند که در هنگام عبور آب نمونه، بر روی فیلتر باقی می‌مانند. واحد اندازه‌گیری آن بر حسب میلی‌گرم در لیتر ویا ppm است. در مصارف شهری، اندازه‌گیری این شاخص آب اهمیت چندانی ندارد زیرا شاخص کدورت گرچه معادل TSS نیست ولی نسبت گویایی با آن دارد. افزون بر آنکه شاخص کدورت به‌راحتی اندازه‌گیری می‌شود [۵].

۴- بارسطحی[2]: این فاکتور در تصفیه آب بیان کننده میزان جریان ورودی بر سطح مقطع یک تانک ته‌نشینی برحسب واحد زمان است و واحد آن $m^3/m^2.d$ ویا m/d است.

۵- زمان ماند[3]: مدت زمانی است که جریان مشخصی از آب در یک حجم معینی از تانک باقی می‌ماند و بر حسب ساعت و یا روز بیان می‌شود.

## ۲- پیشینه پژوهش

فرایند ته‌نشینی یکی از مراحل مهم تصفیه آب است که موجب کاهش ذرات معلق از جمله تخم انگلها و عوامل بیماری‌زا می‌شود. مخازن ته‌نشینی متعارف در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب دارای بار سطحی پایین و زمان ماند بالا هستند. به همین دلیل امروزه استفاده از مخازن ته‌نشینی با بار هیدرولیکی زیاد در عملیات تصفیه آب مورد توجه قرار گرفته‌اند[۱۰].

کیفیت نهایی مورد نظر برای آب تصفیه شده نیز، عامل تعیین کننده‌ای برای میزان لخته‌سازی است. با اصلاح و بهبود مراحل لخته‌سازی و ته‌نشینی در یک رشته فرایند تصفیه می‌توان مقدار زیادی از مواد آلاینده زیر را از آب زدود : رنگ به‌عنوان یک عامل ایجاد تری هالومتان، جلبک به‌عنوان یک عامل ایجاد طعم و بو، رشته‌های آزبست و بعضی ترکیبات و فلزات سمّی. سرعت ته‌نشینی ذراتی که باید حذف شود در محدوده تغییرات دمایی مورد انتظار آب باید مشخص باشد. در آزمایشگاه تحت شرایط کنترل شده می‌توان سرعت ذرات در آب ساکن را تعیین نمود [۱۱].

کدورت آب از سه جنبه مطلوب بودن، قابلیت صاف شدن و گندزدایی دارای اهمیت است. همچنین به‌دلیل وجود ارتباط بین کدورت و برخی مشخصه‌های میکربی از جمله کیست *ژیاردیا*، از کدورت می‌توان به‌عنوان شاخصی غیر مستقیم در تعیین بازده حذف و یا میزان حضور این عوامل استفاده کرد. براساس استانداردهای ملی، کدورت آب خروجی از صافی‌ها در تصفیه‌خانه‌های آب سطحی باید کمتر از ۱NTU باشد [۱۲].

در این تحقیق به‌منظور بررسی ارتباط بین کدورت آب خروجی از صافی‌ها و کارایی حذف کیست *ژیاردیا*، آزمایش کاملی با در نظر گرفتن تأثیر عواملی چون نرخ فیلتراسیون، دانه‌بندی مصالح و میزان تزریق مواد منعقد کننده بر روی دو نوع صافی تک لایه انجام پذیرفت. نتایج حاصل از تحقیق حاضر که براساس مطالعات پایلوتی صورت گرفت، مشخص کرد که برای دستیابی به ۹۹/۹ درصد حذف کیست *ژیاردیا* توسط صافی‌ها باید کدورت آب خروجی از آنها کمتر از مقدار ذکر شده در استاندارد و در حدود ۰/۵NTU باشد [۱۳]. بنابراین به‌نظر می‌رسد استاندارد کدورت آب خروجی از صافی‌ها نیاز به بررسی مجدد داشته باشد [۱۲].

## ۳ - مواد و روشها

مطالعات طراحی اولیه در صورت امکان باید شامل مطالعات آزمایشگاهی و پایلوتی باشد. مطالعات آزمایشگاهی ممکن است به یک آزمایش با زمان و بودجه کم محدود شود، اما برای انجام مطالعات پایلوتی به شش ماه تا یک سال وقت نیاز است تا نتایج قابل قبول و معنی‌داری حاصل شود. بنابراین مطالعات پایلوتی کاملاً تجربی‌اند.

امروزه یک مطالعه خوب پایلوتی می‌تواند موجب صرفه‌جویی میلیون‌ها دلار در هزینه‌های ساخت شود و با فراهم آوردن واحدهای فرایندی ساده اما مؤثر با جاگیری کوچک و صرف کمترین امکانات، تا حد زیادی موجب کاهش هزینه‌های راهبری و نگهداری گردد [۴].

### ۳-۱- ساخت پایلوت

برای انجام این پژوهش از یک پایلوت شش گوشه با قطر هیدرولیکی ۵۰ تا ۸۰ میلی‌متر و زاویه ۶۰ درجه و طول ۱/۲ متر و از جنس PVC استفاده شد(شکل ۲). پایلوت مذکور بر روی یک قطاع ۱۵ درجه نسبت به مرکز (یک سل)، بر روی حوضچه ته‌نشین کننده شماره ۳ فاز اول تصفیه‌خانه آب اصفهان نصب گردید.

[1] Total Suspended Solid (TSS)
[2] Surface Overflow Rate (SOR)
[3] Detention Time

**شکل ۲**- نمایی از حوض ته‌نشینی مجهز شده به سیستم لاملا

### ۳-۲- روش انجام آزمایش‌ها

کدورت آب ورودی به حوضچه ته‌نشین کننده نسبت به کدورت آب خروجی از سرریز این قطاع و قطاع مجاور و مشابه فاقد سیستم لاملا در همان حوضچه ته‌نشین کننده، در طول مدت یک سال و شرایط کاملاً طبیعی و یکسان، مورد مقایسه قرار گرفت. برای بررسی آماری نتایج به‌دست آمده از نرم افزار SPSS و آزمون آماری T استفاده گردید.

### ۳-۳- روشهای اندازه‌گیری و دستگاهها و لوازم مورد نیاز

کلیه اندازه‌گیری‌ها و روشهای آزمایشگاهی بر طبق استانداردهای بین المللی انجام شد [۱۴]. دستگاه کدورت‌سنج هچ[1] مدل ۲۱۰۰P و معرف‌ها و استانداردهای لازم برای انجام آزمایش کدورت مورد استفاده قرار گرفتند.

## ۴- نتایج

نتایج حاصل از اندازه‌گیری کدورت آب ورودی به حوضچه ته‌نشین کننده و همچنین کدورت آب خروجی از سرریز این قطاع و قطاع مجاور و مشابه (فاقد سیستم لاملا) در همان حوضچه ته‌نشین کننده، در طول مدت یک سال و شرایط کاملاً طبیعی و یکسان، در جدول ۱ آورده شده است. اعداد به دست آمده از جدول ۱ در شکل ۳ آورده شده‌اند.

نتایج به‌دست آمده از آزمون دانکن با استفاده از نرم افزار SPSS مورد بررسی قرار گرفت که به‌طور خلاصه در جدول ۲آمده است.

همان‌گونه که مشخص است در کدورتهای یکسان، در صورت عدم استفاده از سیستم لاملا درصد حذف کدورت توسط حوضچه‌های ته‌نشینی تصفیه‌خانه آب اصفهان حداقل ۰/۹، حداکثر ۵۴/۰۱ و میانگین حذف کدورت ۱۸/۹ درصد است در صورتی که در

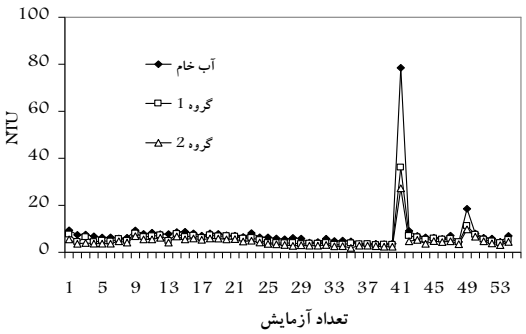
**جدول ۱**- نتایج حاصل از اندازه‌گیری کدورت (NTU)

| ردیف | کدورت آب خام | کلاریفایر متداول (گروه ۱) | سیستم پیشرفته (گروه ۲) |
|---|---|---|---|
| ۱ | ۹/۳۶ | ۷/۵۸ | ۵/۴۹ |
| ۲ | ۷/۴۵ | ۴/۴۵ | ۳/۶۶ |
| ۳ | ۷/۵۳ | ۶/۴۶ | ۴ |
| ۴ | ۶/۸۲ | ۴/۳۵ | ۳/۷ |
| ۵ | ۶/۳۱ | ۴/۹۵ | ۳/۷۱ |
| ۶ | ۶/۳۵ | ۴/۶۲ | ۳/۶۷ |
| ۷ | ۵/۹۳ | ۵/۶۵ | ۴/۶۹ |
| ۸ | ۶/۱۹ | ۴/۸۸ | ۴/۱۵ |
| ۹ | ۹/۳۲ | ۸ | ۶/۸۶ |
| ۱۰ | ۷/۸۴ | ۶/۵۲ | ۵/۵۱ |
| ۱۱ | ۸/۳۷ | ۶/۸۵ | ۵/۵۱ |
| ۱۲ | ۷/۷۱ | ۷/۲۶ | ۶/۱۷ |
| ۱۳ | ۷/۷۹ | ۴/۸۶ | ۴/۱۶ |
| ۱۴ | ۸/۶۵ | ۷/۸۶ | ۶/۷۷ |
| ۱۵ | ۸/۷۳ | ۶/۵۱ | ۵/۵ |
| ۱۶ | ۸/۰۵ | ۷/۱ | ۵/۹۲ |
| ۱۷ | ۷/۰۷ | ۶/۱۵ | ۵/۳۶ |
| ۱۸ | ۸/۰۴ | ۷/۲۵ | ۵/۹۲ |
| ۱۹ | ۷/۸۲ | ۶/۸۲ | ۵/۸۵ |
| ۲۰ | ۷/۲۹ | ۶/۹۲ | ۵/۵۱ |
| ۲۱ | ۷/۱۲ | ۶/۶۸ | ۵/۶۳ |
| ۲۲ | ۶/۵۳ | ۵/۸۲ | ۴/۶۱ |
| ۲۳ | ۸/۱۵ | ۶/۱۲ | ۴/۹۱ |
| ۲۴ | ۶/۴۳ | ۵/۲۱ | ۴/۲۲ |
| ۲۵ | ۶/۳۴ | ۳/۹۹ | ۳/۵۶ |
| ۲۶ | ۵/۸۹ | ۳/۹۸ | ۳/۳۸ |
| ۲۷ | ۵/۵۷ | ۳/۹۲ | ۳/۱۳ |
| ۲۸ | ۶/۱۲ | ۳/۹۸ | ۲/۷۱ |
| ۲۹ | ۵/۸۴ | ۳/۵۱ | ۳/۰۲ |
| ۳۰ | ۴/۱۲ | ۳/۷۲ | ۲/۸۲ |
| ۳۱ | ۴/۳۶ | ۳/۷۱ | ۲/۸۱ |
| ۳۲ | ۵/۸۱ | ۳/۹۶ | ۳/۱۱ |
| ۳۳ | ۴/۸۲ | ۳/۲۱ | ۲/۵۷ |
| ۳۴ | ۴/۹۸ | ۳/۳۲ | ۲/۶ |
| ۳۵ | ۴/۶۸ | ۳/۸۵ | ۱/۸۹ |
| ۳۶ | ۳/۵ | ۳/۴۵ | ۲/۸۱ |
| ۳۷ | ۳/۶۲ | ۳/۵۱ | ۲/۸۱ |
| ۳۸ | ۳/۶۵ | ۳/۱۴ | ۲/۶۱ |
| ۳۹ | ۳/۴۵ | ۳/۲۷ | ۲/۴۱ |
| ۴۰ | ۳/۶۹ | ۳/۲۶ | ۲/۴ |
| ۴۱ | ۷۸/۵ | ۳۶/۱ | ۲۷/۲۷ |
| ۴۲ | ۹/۰۸ | ۶/۹۷ | ۴/۷ |
| ۴۳ | ۶/۹۷ | ۶/۴۲ | ۵/۳ |
| ۴۴ | ۶/۳۴ | ۵/۳۷ | ۳/۶۴ |
| ۴۵ | ۶/۲۲ | ۵/۸۹ | ۴/۷۹ |
| ۴۶ | ۵/۷۲ | ۵/۴۷ | ۴/۳۶ |
| ۴۷ | ۷/۱۲ | ۵/۷۶ | ۴/۷ |
| ۴۸ | ۴/۴۲ | ۴/۳۸ | ۳/۴۷ |
| ۴۹ | ۱۸/۵ | ۱۱/۲۶ | ۹/۷۷ |
| ۵۰ | ۷/۹۹ | ۷/۵۱ | ۶/۶۳ |
| ۵۱ | ۶/۲۱ | ۵/۴۳ | ۴/۶۹ |
| ۵۲ | ۵/۸۲ | ۴/۶۸ | ۳/۸۲ |
| ۵۳ | ۴/۵۱ | ۳/۹۷ | ۳/۰۸ |
| ۵۴ | ۷ | ۵/۲۶ | ۴/۴ |

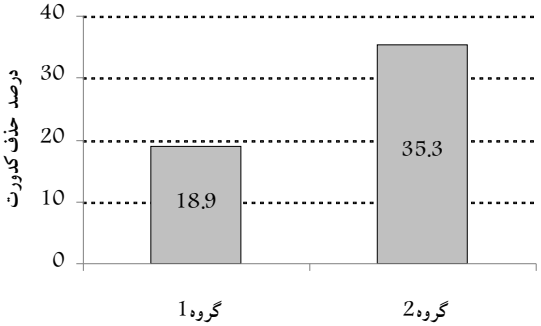
[1] HACH

**جدول ۲**- نتایج به‌دست آمده از آزمون (میانگین درصد حذف کدورت در دو گروه)

| گروه | تعداد آزمایش | راندمان (درصد حذف) حداقل | حداکثر | میانگین | F | Pvalue | نتیجه‌گیری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| کلاریفایر متداول | ۵۴ | ۰/۹ | ۵۴/۰۱ | ۱۸/۹ | ۵۲/۳۵ | ۰/۰۰۰ | تفاوت معنی‌داری وجود دارد |
| سیستم پیشرفته | ۵۴ | ۲۰ | ۶۵ | ۳۵/۳ | ۵۲/۳۵ | ۰/۰۰۰ | P<۰/۰۵ برتری سیستم پیشرفته |




**شکل ۳**- مقایسه کدورتهای آب خام با کدورت خروجی از دو گروه دیگر




**شکل ۴**- مقایسه درصد حذف کدورت در دو گروه مورد مطالعه

قطاع مجهز شده به سیستم لاملا، درصد حذف حداقل ۲۰، حداکثر ۶۵ و میانگین ۳۵/۳ است. این تفاوت نشان دهنده برتری قاطع عملکرد حذف کدورت در قطاع حوض ته‌نشینی مجهز شده به سیستم لاملا نسبت به قطاع متعارف حوض ته‌نشین کننده است. همچنین آزمونT نشان می‌دهد که میانگین درصد (راندمان) حذف کدورت در قطاع حوض ته‌نشینی مجهز شده به سیستم لاملا به‌طور معنی‌داری بیشتر از قطاع متعارف حوض ته‌نشین کننده معمولی تصفیه‌خانه آب اصفهان بوده است. خلاصه نتایج در شکل ۴ آورده شده است.

با توجه به نتایج مطلوب به‌دست آمده در طرح تحقیقاتی که با استفاده از پایلوت انجام شد، طرح بالا به‌صورت صنعتی در کلاریفایرهای شماره ۱ و ۳ تصفیه‌خانه آب اصفهان اجرا شده و با بررسی‌ها و نتایج مطلوب به‌دست آمده در سایر کلاریفایرهای تصفیه‌خانه آب اصفهان نصب خواهد شد. شکل ۵ نشان دهنده نصب طرح مذکور به‌صورت صنعتی در کلاریفایر ۱ تصفیه‌خانه آب اصفهان هستند.

## ۵- نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه میانگین حذف کدورت در کلاریفایر معمولی ۱۸/۹ درصد و در کلاریفایر مجهز به سیستم لاملا ۳۵/۳ درصد

**شکل ۵**- نصب طرح به صورت صنعتی در کلاریفایر ۱ تصفیه‌خانه آب اصفهان

بود، طرح مذکور به‌صورت کاربردی در کلاریفایرهای شماره ۱و ۳ تصفیه‌خانه آب اصفهان اجرا شد و پیشنهاد گردید در صورت کسب نتایج عملی و کاربردی مطلوب در حذف کدورت، درصد حذف موجودات بیولوژیکی مانند انواع نماتدها، روتیفرها، پروتوزوآها و جلبکها نیز مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت سیستم لاملا در سایر کلاریفایرهای تصفیه‌خانه آب اصفهان نصب شود.

## ۶- قدردانی

از شرکت آبفای استان اصفهان به‌خاطر حمایتهای مالی طرح و همچنین از آقایان مهندس مصطفوی مدیریت سابق تصفیه‌خانه آب اصفهان، مهندس سلیمانی، مهندس مهرپور وآقای حسین سلیمی و همچنین کلیه همکاران شاغل در تصفیه‌خانه آب اصفهان که در انجام این تحقیق کمال همکاری و مشارکت را نموده‌اند، قدردانی می‌گردد.

## ۷- مراجع

1-Anon. (1999). *Water quality and treatment: A handbook of community water supplies*, 4th Ed., McGrow Hill Inc., New York.

2- Qasim, S. R., Motley, E., and Zhu, G. (2000). *Water works engineering: Planning, design and operation*, Prentice-Hall, Inc., New Dehli.

3- Reynold, T. D., and Richards, P. A. (1982). *Unit operation and process in environmental engineering*, PWA Pub., Boston.

4- Kawamura, S. (2006). *Integrated design and operation of water treatment facilities*, 2nd Ed., John Willey and Sons, N.Y.

5-Anon. (1990). *Water treatment plant design*, American Society of Civil Engineering/American Water Work Assosiation, USA.

6- Anon. (1990). *Technologies for upgrading existing water treatment facilities*, USEPA, USA.

7-Anon. (2000). <http://www.deh.gov.au/water/quality/nwqms/pubs> (March 2009).

8- Torabian, A., Safaeefar, M., and Rashidi Mehrabadi, A. (2007). "Evaluation of impact of coagulant type on operation parameters indirect filtration." *J. of Water and Wastewater*, 62, 20-27. (In Persian)

9-Tchobanoglous, G., and Schtooder, E. (1985). *Water quality*, Addition Wesley Pub., London.

10- Shahmansouri, M. R., Bina, B., Orumiyeh, H. R., Azarbayjani, H., Mortazavi, H., and Rezae, R. (1996). "Fast setteling tank application in water treatment." *J. of Research in Medical Sciences*, 61, 1-5. (In Persian)

11- Howard, S., Peavy, H. S., Rowe, D. R., and Tchobanoglous, G. (1985). *Environmental engineering*, Mc Graw Hill Inc., New York.

12- Rashidi Mehrabadi, A., Azimi, A., Razeghi, N., Torabian, A., and Moubedi, I. (2004). "Water treatment outlet turbidity standard study." *J. of Environmental Studies*, 35, 61-68. (In Persian)

13- Rashidimehr, A., and Torabian, A. (2006). "Direct filteration process applicability in free nematode dimination from water." *J. of Environmental Studies*, 39, 75-82. (In Persian)

14- APHA., AWWA., WEF. (1998). *Standard method for the exemination of water and wastewater*, 20th Ed., American Public Health Association, Washington.DC.