Application of Cyclone in Water Treatment

Rahmani, A. (Ph.D), Hamedan University of Medical Sciences.

Abstract

In this investigation design, instalation and efficiency of cyclone in separation of particles from water were studied.

A cyclone was designed with a diameter of 10 cm.In order to have uniform suspended particles synthetic samples were provided by granit factory. The efficiency of system was optained with varied flow and concentration of particles from inlet and outlet.

The resultes showed that the removal efficency of particles increased with increased particles size and liquid velocity. In the range of selected velocity, the removal efficiency for particles over 144 micron was found between 79 to 93.5% and for particles over 5 micron was 51.2 to 63.1%.

Due to ease of construction, cost and high efficiency, cyclones can be considerd as an suitable unit in seperation of particles in water and wastewater treatment.

طراحی و ساخت سیکلون جهت جداسازی ذرات از آب[1]

(دریافت ۸۰/۲/۱۷ پذیرش۸۱/٤/۲۸)

علی‌رضا رحمانی*

چکیده

این تحقیق که یک مطالعه کاربردی است به منظور بررسی روش طراحی، ساخت و تعیین راندمان سیکلون در جداسازی ذرات از آب، در قالب یک طرح تحقیقاتی انجام شده است.

در این بررسی، پس از تعیین معیارهای طراحی، سیکلونی به قطر ۱۰ سانتی‌متر طراحی و ساخته شد. به منظور همگن بودن ذرات معلق از لحاظ جنس و وزن مخصوص، با استفاده از گل بخش برش سنگ گرانیت یک کارخانه گرانیت بری، اقدام به ساخت نمونه آب خام گردید.

نتایج به دست آمده از آزمایشات نشان می‌دهد که راندمان دستگاه با افزایش اندازه ذرات و سرعت سیال ورودی افزایش می‌یابد. راندمان دستگاه برای سرعت‌های مطالعه شده برای ذرات با قطر ۱٤٤ میکرون به بالا بین ۷۹ تا ۹۳/۵٪ و راندمان کلی آن در محدوده اندازه ذرات ۵ میکرون به بالا بین ۵۱/۲ تا ٦۳/۱٪ می‌باشد.

بنابراین می‌توان استفاده از سیکلون را به عنوان یک واحد جدا کننده ذرات با توجه به راحتی ساخت، ارزان بودن و راندمان نسبتاً مناسب در تصفیه آب توصیه نمود.

کلمات کلیدی : تصفیه آب و فاضلاب- ذرات معلق- حذف ذرات- سیکلون

مقدمه

در تصفیه آب یا فاضلاب برای حذف کل جامدات معلق[1] از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به ته‌نشینی ساده و یا ته‌نشینی شیمیایی اشاره نمود [٤]. در کنار روش‌های ته‌نشینی، روش‌های شناورسازی و روش‌های مکانیکی مثل غربال‌های ثابت یا چرخشی نیز وجود دارد [۱، ۲، ۳ و ٤]. در روش‌های جداسازی مکانیکی مواد معلق را می‌توان با استفاده از آشغالگیر یا عبور مایع از یک محیط با اعمال نیروی فشاری بر ذرات توسط عمل سانتریفوژ از جریان جدا ساخت [۱ و۵]. روش اخیر تحت عنوان رسوب دهنده‌های سیکلونی است که موضوع مورد بحث در این طرح است.

رسوب دهنده‌های سیکلونی از سال ۱۸۸٦ به طور گسترده جهت پاک‌سازی هوا استفاده شده است [٦]. هر سیکلون متشکل از دو بخش استوانه‌ای و مخروطی است. برای درک بهتر، منظره چرخش مایع به صورت دو لایه مختلف در نظر گرفته می‌شود. لایه پایین رونده در سیلکون یا لایه نزدیک‌تر به دیواره سیکلون، دارای بار بالای ذرات است، در حالی که لایه بالا رونده یا لایه دورتر از دیواره، دارای بار کمتری از ذرات می‌باشد. در پروفیل عرضی، سرعت در لایه پایین رونده، به دلیل نیروی اصطکاک مایع، دارای حداقل سرعت در سطح دیواره و دارای حداکثر سرعت در سطح مایع است. بنابراین متوسط چرخش لایه بالا رونده، تندتر از متوسط سرعت چرخش لایه پایین رونده خواهد بود. در سیکلون‌ها نیروی اصطکاک دیواره، حرکت لایه با تراکم بالاتر ذره را کندتر می‌کند به گونه‌ای که نیروی ثقل قوی‌تر شده و باعث می‌شود که لایه به سمت پایین حرکت کند. وقتی سیال با حرکت مارپیچی خود به انتهای مخروط رسید، ناچار جهت خود را تغییر داده، از پایین به بالا با پیچشی به شعاع کوچکتر از میانه

[1] Total Suspended Solids (TSS)

۱- طرح تحقیقاتی مصوب شورای پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی همدان

* استادیار گروه بهداشت محیط- دانشکده بهداشت- دانشگاه علوم پزشکی همدان

سرعت چرخش لایه پایین رونده خواهد بود. در سیکلون‌ها نیروی اصطکاک دیواره، حرکت لایه با تراکم بالاتر ذره را کندتر می‌کند به گونه‌ای که نیروی ثقل قوی‌تر شده و باعث می‌شود که لایه به سمت پایین حرکت کند. وقتی سیال با حرکت مارپیچی مخروط رسید، ناچار جهت خود را تغییر داده، از پایین به بالا رونده یا لایه دورتر از دیواره، دارای بار کمتری از ذرات می‌باشد. در پروفیل عرضی، سرعت در لایه پایین رونده، به دلیل نیروی اصطکاک مایع، دارای حداقل سرعت در سطح دیواره و دارای حداکثر سرعت در سطح مایع است. بنابراین متوسط چرخش لایه بالا رونده، تندتر از متوسط سرعت چرخش لایه پایین رونده خواهد بود. در سیکلون‌ها نیروی اصطکاک دیواره، حرکت لایه با تراکم بالاتر ذره را کندتر می‌کند به گونه‌ای که نیروی ثقل قوی‌تر شده و باعث می‌شود که لایه به سمت پایین حرکت کند. وقتی سیال با حرکت مارپیچی خود به انتهای مخروط رسید، ناچار جهت خود را تغییر داده، از پایین به بالا با پیچشی به شعاع کوچکتر از میانه استوانه‌ای رو به بالا حرکت می‌کند. در نتیجه دو نیروی ثقل و اصطکاک دیواره، بر ذرات و برآوردی از ابعاد آن را نشان داد. دو دسته نیروی اصلی، یکی نیروی گریز از مرکز است که با حرکت شعاعی، ذرات را به سوی دیواره می‌راند و نیروی دوم نیروی مقاومت سیال بر ذرات در جهت مخالف است. وقتی این دو نیرو به تعادل برسند، ذره تحت تأثیر نیروی اینرسی با سرعت یکنواخت در جهت دیواره روان می‌شود.

با استفاده از این روابط، سرعت برای اندازه ذرات با بازدهی مشخص تعیین می‌گردد و سپس با استفاده از رابطه (۱) ابتدا قطر سیکلون محاسبه شده و سپس با استفاده از روابط در جدول ۲ و استفاده از شکل ۲ نسبت به طراحی اقدام می‌گردد [۸ و ۹].

$$d = \sqrt{\frac{Q}{۹۰۰ \times \pi \times V}} \qquad (۱)$$

که در آن

Q= دبی سیال عبوری (m^3/h)

d= قطر سیکلون (m)

V= سرعت مایع در قسمت ورودی (m/s)

در سیکلون‌ها راندمان حذف ذرات به عوامل مختلفی بستگی دارد. به طور کلی راندمان حذف از نسبت نیروی گریز از مرکز به نیروی مقاومت سیال به دست می‌آید. در رابطه (۲) تأثیر این عوامل مختلف در مورد یک سیکلون با ابعاد ثابت آورده شده است:

$$\eta = \frac{V\rho d^2}{R\mu} \qquad (۲)$$

که در آن:

η= راندمان سیکلون (٪)

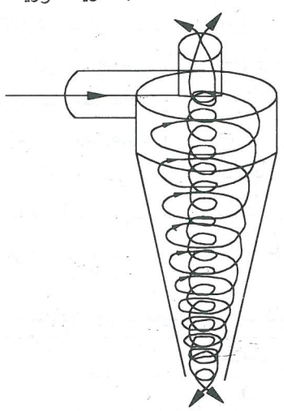
V = سرعت ذره به صورت شعاعی (m/s)

ρ = دانسیته ذره (kg/m^3)

d = قطر ذره (m)

R = فاصله نقطه ورود ذره به دیواره سیکلون (m)

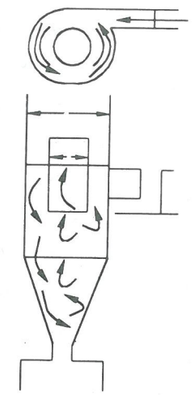
μ = ویسکوزیته سیال (kg/m.s)



شکل ۱- نحوه چرخش سیال ورودی در سیکلون [۳].

جدول ۱- راندمان جمع‌آوری ذرات در سیکلون [۷].

اندازه ذره، میکرون	راندمان، درصد
کوچکتر از ۵	-
۵-۲۰	۵۰-۸۰
۱۵-۵۰	۸۰-۹۵
بزرگتر از ٤۰	۹۵-۹۹



شکل ۲- قسمت‌های مختلف یک سیکلون استاندارد در هوا [۲].

همان گونه که در رابطه فوق دیده می‌شود، بازدهی با سرعت ذرات که عملاً همان سرعت ورودی سیال است، با دانسیته ذرات و مجذور قطر ذرات افزایش و بر عکس با افزایش قطر سیکلون و ویسکوزیته کاهش می‌یابد.

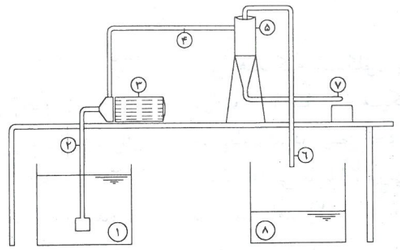
استفاده از سیکلون به عنوان یک واحد جداکننده ذرات از هوا به خوبی در صنعت شناخته شده و در غالب کتب کنترل آلودگی هوا از دیدگاه طراحی، شکل و ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است [۲، ٤، ٦، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. با توجه به بررسی‌های انجام شده علی‌رغم معرفی این دستگاه به عنوان یک واحد جداکننده ذرات از آب در برخی از کتب، هیچ گونه اطلاعات تکنیکی در خصوص طراحی و کاربرد آن ارائه نگردیده است. استفاده از سیکلون به عنوان شن‌گیر، به صورت محدود در صنعت کاربرد دارد. شرکت‌های سازنده این دستگاه در کشورمان سیکلون را به صورت کپی برداری شده ساخته و بدون هیچ گونه روش طراحی، دستگاه را عرضه می‌نمایند. در خصوص راندمان دستگاه در حذف ذرات و روش طراحی نیز هیچ‌گونه سابقه انجام طرح تحقیقاتی با توجه به منابع در دسترس به دست نیامد.

روش تحقیق

در این تحقیق که یک مطالعه کاربردی است، جهت ساخت هیدروسیکلون شکل کلی دستگاه مطابق با سیکلون‌های مصرفی در حذف ذرات از هوا در نظر گرفته شد. در حذف ذرات از هوا توسط این دستگاه معیار اصلی طراحی، تعیین قطر سیکلون با انتخاب سرعت مناسب و سپس تعیین سایر ابعاد دستگاه با استفاده از جداول استاندارد [۲، ۸ و ۹] می‌باشد. در این تحقیق معیار اصلی طراحی هیدروسیکلون قطر لوله ورودی به سیکلون با انتخاب محدوده سرعتی ۱۰ متر بر ثانیه بوده است، که نهایتاً ابعاد پیشنهادی سیکلون در جدول ۲ ارائه شده است. در شکل ۳ شمایی از سیکلون پیشنهادی آورده شده است.

جدول ۲- جدول پیشنهادی جهت تعیین ابعاد سیکلون با استفاده از قطر لوله ورودی.

شرح نام‌گذاری	علامت	دیمانسیون	اندازه، سانتی‌متر
قطر لوله ورودی	D_{in}	D_{in}	۲/۵
قطر لوله خروجی	D_{out}	D_{in}	۲/۵
قطر لوله تخلیه ذرات	D_d	D_{in}	۲/۵
قطر استوانه سیکلون	D_c	$٤D_{in}$	۱۰
ارتفاع استوانه	$L_۱$	$۸D_{in}$	۲۰
ارتفاع مخروط	$L_۲$	$۸D_{in}$	۲۰
ارتفاع کل سیکلون	H	$۱٦D_{in}$	٤۰
میزان فرورفتگی لوله خروجی زیر سطح لوله ورودی	S	$D_{in/۲}$	۱/۲۵



شکل ۳- نحوه استقرار سیکلون در پایلوت.

جهت تهیه لجن از کارخانه سنگ‌بری گرانیت با وزن مخصوص گرانیت حدود ۲٦۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، استفاده گردید، سپس به منظور تهیه نمونه آب خام ورودی ۲۰۰ گرم از لجن در ۱۰۰ لیتر آب اضافه و هموژن گردید. جهت سایزبندی ذرات در نمونه آب ورودی، نمونه از ۸ طبقه الک با مش‌های ۳۰، ٤۰، ٥۰، ۷۰، ۸۰، ۱۰۰، ۲۰۰ و ۳۲٥ عبور داده شد، سپس جهت تعیین ذرات بین ٥ تا ٤٤ میکرون مایع عبوری از الک ۳۲٥ از روی فیلتر ٥میکرون نیز عبور داده شد. جهت تعیین راندمان سیکلون از ٤ دبی مختلف ٤، ٦، ۸ و ۹ لیتر در ثانیه استفاده گردید.. سایزبندی و درصد وزنی ذرات خروجی نیز مطابق ورودی انجام پذیرفته است کلیه آزمایشات TSS در نمونه آب خام، آب خروجی از سیکلون مطابق روش‌های استاندارد متد بوده است [۱۱].

نتایج

جدول ۳ توزیع وزنی ذرات موجود در نمونه‌های ورودی و خروجی از سیکلون را در محدوده سرعتی تعیین شده نشان می‌دهد. این نتایج نشان می‌دهد که همواره اندازه‌گیری کل جامدات معلق در نمونه‌های مورد مطالعه از مجموع اندازه‌گیری‌های غلظت ذرات به تفکیک اندازه بیشتر می‌باشد.

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان می‌دهد که راندمان حذف ذرات دارای نسبت مستقیم با سرعت سیال و دارای نسبت عکس با اندازه ذره می‌باشد (جدول ٤ و منحنی ۱).

در منحنی ۲ راندمان سیکلون با استفاده از دو مجموعه آزمایش کل جامدات معلق و مجموع جامدات جمع‌آوری شده در هر سایز الک آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در مورد هر سرعت راندمان دستگاه با استفاده از آزمایش کل جامدات معلق مقادیر بالاتری را نسبت به مورد دیگر نشان می‌دهد.

بحث

یکی از نکات عمده و قابل توجه در طراحی واحدهای مختلف تصفیه آب و فاضلاب فناوری متناسب و ارزان قیمت برای توسعه عملیات تصفیه در بخش‌های مختلف می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، برنامه‌ریزی‌های دقیق برای انجام عملیات و طرح‌های تحقیقاتی لازم است. مسئله به کار گیری طرح‌های مناسب از لحاظ فناوری در دسترس، آسانی عملیات و کاهش هزینه‌ها می‌تواند در بازیافت آب و استفاده مجدد آن به خصوص در صنعت، نقش به سزایی داشته باشد.

نتایج به دست آمده از آزمایشات، موید این واقعیت است که سرعت سیال ورودی به سیکلون نقش مهمی در افزایش راندمان حذف ذرات دارد. در محدوده سرعتی ۸ متر در ثانیه، راندمان حذف برای ذرات بالای ۱٤٤ میکرون حدود ۷۹٪ و برای محدوده‌های سرعتی ۱۲، ۱٦ و ۱۸متر در ثانیه به ترتیب ۸۲/٥٪، ۸۸/۹٪ و ۹۳/٥٪ می‌باشد. این راندمان برای سرعت‌های فوق و برای ذرات با اندازه ٤٤ میکرون به ترتیب ٥۳/٤٪، ٥٥/۳٪، ٥٥/٥٪ و ٦٤/۳٪ می‌باشد. هر چند که عملکرد سیکلون در حذف ذرات بین ٥ تا ٤٤ میکرون کم است، اما راندمان بین ۲۲/٦ تا ۳۳ درصدی می‌تواند بخش قابل توجهی از ذرات ریز را حذف نماید. اما توجه به راندمان کلی سیکلون که از محاسبه نسبت مواد معلق ورودی به خروجی سیکلون بر اساس آزمایش الک به دست آمده، نشان می‌دهد که برای

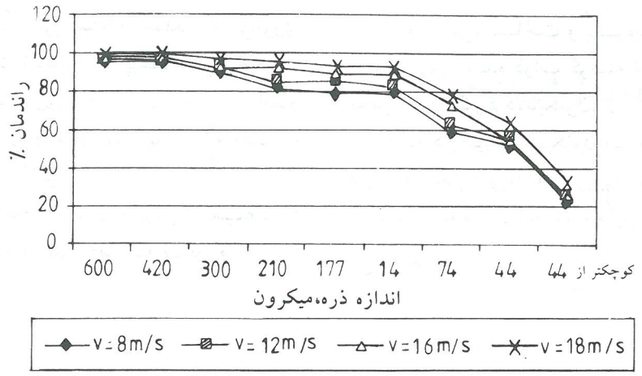
سرعت‌های مطالعه شده این راندمان بین ٤٨/٤٪ تا ٦٢٪ متغیر می‌باشد. نتایج واقعی‌تر نیز بر اساس انجام آزمون کل جامدات معلق در ورودی و خروجی (TSS) برای سرعت‌های مطالعه شده، راندمان را بین ٥١/٢٪ تا ٦٣/١٪ نشان می‌دهد. نتایج حاصل از مطالعات انجام شده در تصفیه‌خانه یک کارخانه لوله‌سازی در شوروی سابق نشان می‌دهد که سیکلون به کار گرفته شده برای دامنه اندازه ذرات ١٠٠ تا ٥٠٠ میکرون دارای راندمان ٤٢٪ تا ٩٢٪ می‌باشد. در این تحقیق راندمان ٩٢ درصدی برای نمونه‌هایی با ١٤٪ وزنی ذرات کوچک‌تر از ١٠٠ میکرون به دست آمد [١٢]. نتایج حاصل از این تحقیق تنها مطالعه به دست آمده است که با تحقیق حاضر نسبتاً مطابقت دارد.

جدول ٣- توزیع وزنی ذرات موجود در نمونه‌های ورودی و خروجی سیکلون بر حسب میلی‌گرم در لیتر با توجه به سرعت سیال در لوله ورودی به سیکلون.

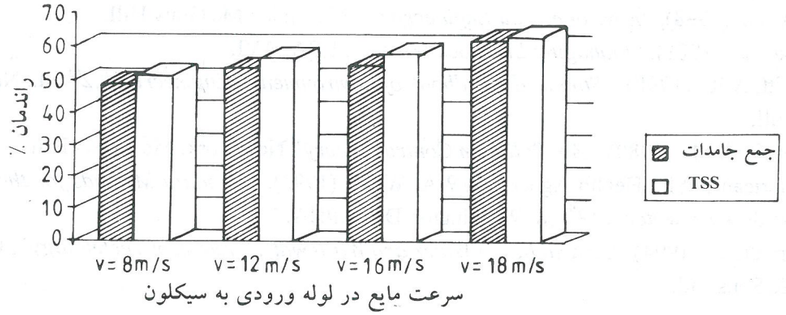
ردیف	شماره الک	V = ٨ m/s		V = ١٢ m/s		V = ١٦ m/s		V = ١٨ m/s	
		ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی	ورودی	خروجی
١	٣٠	١٢٥/٣	٦/١	١١٨/٤	٣/٨	٩٧/٢	١/٩	١٠٨/٤	٠/٥
٢	٤٠	٩٨/٣	٤/٦	١٠٣/٥	٣/٩	١١٢/٦	١/٥	١١٥/٧	٠/٩
٣	٥٠	١٦٣	١٧/٢	١٣٢/١	١٠/٢	٩٩/٢	٨	١٣٠/٥	٣/٥
٤	٧٠	١٣٥/٦	٢٤/٨	١٢٢/٧	١٨/٨	١٢٥/٥	٩/٧	١٠٣/٧	٤/٥
٥	٨٠	٨٩/٤	١٩/٢	٩٨/٣	١٤/٣	١٠٦/٢	١١	١٠٨/٢	٧/١
٦	١٠٠	١١٢/٥	٢٣/٣	١٠٩/٥	١٩/٢	١٢٦/٣	١٤	١٤٥/١	٩/٤
٧	٢٠٠	١٠٩/١	٤٤/٦	٩٨/٣	٣٦/٥	١٣١/٧	٣٥/٣	٩١/٦	١٩/١
٨	٣٢٥	٩٣/٨	٤٣/٧	١٠٦/٢	٤٧/٥	١٢٥/٧	٥٥/٩	١٢٥/١	٤٤/٧
٩	>٣٢٥	٩٣٠/٢	٧١٩/٦	٩٠٣/٦	٦٨٠/٤	٩٨٤/٧	٧٢٧/٧	٩٠٧/٣	٦٠٧/٩
١٠	جمع	١٨٥٧/٢	٩٠٣/١	١٧٩٢/٦	٨٣٤/٦	١٨٩٢/٥	٨٦٥	١٨٣٥/٦	٦٩٧/٦
١١	TSS	١٩٣٤/١	٩٤٣/٨	١٨٨٩/٣	٨٢٥/٦	١٩١٧/٣	٨١١	١٩٤١/٤	٧١٦/٤

جدول ٤- راندمان حذف ذرات به درصد با توجه به سرعت سیال در لوله ورودی به سیکلون.

ردیف	شماره الک	V = ٨ m/s	V = ١٢ m/s	V = ١٦ m/s	V = ١٨ m/s
١	٣٠	٩٥/١	٩٦/٨	٩٨/١	٩٩/٥
٢	٤٠	٩٥/٨	٩٦/٢	٩٨/٧	٩٩/٢
٣	٥٠	٨٩/٥	٩٢/٣	٩١/٩	٩٧/٣
٤	٧٠	٨١/٦	٨٤/٧	٩٢/٣	٩٥/٧
٥	٨٠	٧٨/٥	٨٥/٥	٨٩/٦	٩٣/٤
٦	١٠٠	٧٩/٣	٨٢/٥	٨٨/٩	٩٣/٥
٧	٢٠٠	٥٩/١	٦٢/٩	٧٣/٢	٧٩/١
٨	٣٢٥	٥٣/٤	٥٥/٣	٥٥/٥	٦٤/٣
٩	>٣٢٥	٢٢/٦	٢٤/٧	٢٦/١	٣٣
١٠	راندمان کلی	٤٨/٦	٥٣/٤	٥٤/٣	٦٢
١١	TSS	٥١/٢	٥٦/٣	٥٧/٧	٦٣/١



منحنی ١- ارتباط بین اندازه ذره و راندمان حذف با توجه به سرعت سیال ورودی به سیکلون.



منحنی ٢- مقایسه راندمان سیکلون با توجه به سرعت سیال ورودی، TSS و مجموع جامدات جمع‌آوری شده در آزمایش الک.

پوی در ١٩٨٥ و کوربیت در ١٩٩٨ در مورد عوامل موثر در راندمان سیکلون‌های به کار گرفته شده در هوا، اندازه ذره، فشار، اندازه واحد و سرعت گاز ورودی را موثر می‌دانند [٢ و ٩]. با توجه به این که در این تحقیق به دلیل محدودیت تنها از یک سیکلون با فشار پمپ ثابت استفاده شده است، نتایج حاضر نیز تأثیر اندازه ذرات و سرعت مایع را در راندمان سیکلون نشان می‌دهد.

بنابراین در نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که بار عمده‌ای از جامدات را می‌توان با استفاده از سیکلون از جریان جدا ساخت. نتیجه این عمل دسترسی به آب بیشتر و در نتیجه جایگزینی به آب جبرانی کمتری می‌باشد. به کارگیری سیکلون هم‌چنین بار عملیات آبگیری از لجن را به شدت کاهش می‌دهد.

پیشنهادات

با توجه به نتایج به دست آمده از طرح، که موید راندمان نسبتاً مناسب دستگاه در حذف ذرات می‌باشد، و

با توجه به هزینه نسبتاً پایین دستگاه، عملکرد و اپراتوری راحت آن انجام مطالعات تکمیلی زیر پیشنهاد می‌گردد:

- طراحی و بهره‌برداری از سیکلون با توجه به اقطار مختلف و با استفاده از جدول پیشنهادی ۳ و مقایسه راندمان آن‌ها با گزارش حاضر.
- اعمال دبی‌های مختلف با بهره‌گیری از پمپ‌های با دبی و هد مختلف به منظور مقایسه نتایج و ارزیابی عملکرد سیکلون.
- طراحی، ساخت و بهره‌برداری از یک وسیله جمع‌آوری کننده ذرات گرفته شده توسط سیکلون به منظور تداوم کارکرد سیکلون.
- به کارگیری سیکلون به طور عملی در صنعتی که دارای مشکل می‌باشد. ارزیابی عملکرد دستگاه و مقایسه آن با نتایج به دست آمده از تحقیق.

منابع و مراجع

۱- غیاث‌الدین. م.، (۱۳۶۸). "جمع‌آوری ذرات آلوده کننده با نیروی گریز از مرکز (سیکلون‌ها)"، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران.
۲- لوئیس. ت.، ترجمه ترکیان. ا.، (۱۳۷۳). "دستگاه‌های کنترل آلودگی هوا، جلد اول. ذرات".
۳- پیساخوف. گ.، ترجمه لطیفانی، ع.، (۱۳۶۷). "غبارگیری و تصفیه گازها". مرکز نشر دانشگاهی.

4- Tchobanoglous, G., (1991). "*Wastewater Engineering*", 3rd ed., New York: Mc Graw-Hill

5- Peavy, S., Rowe, R., Tchobanoglous, G., (1985). "*Environmental Engineering*", New York: Mc Graw-Hill.

6- Edward, J., Haller., (1995). "*Simplified Wastewater Treatment Plant Operation*", USA, Technomic Publication.

7- Kiely, G., (1998). "*Environmental Engineering*", Malaysia : Mc Graw Hill.

8- Markel, J., (1981). "*Managing Livestock Wastes*", USA: AVI.

9- Corbitt, A.R., (1998). "*Standard Handbook of Environmental Engineering*", 2rd ed., New York:, Mc Graw-Hill.

10- Crawford, M., (1980). "*Air Pollution Control Theory*", New York: Mc Graw- Hill.

11- American Public Health Agency, WWA, WEF., (1992). "*Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater*", 18th ed. Washington DC: APHA.

12- Horvath, I., (1994). "*Hydraulics in Water and Wastewater Treatment Technology*", England: John Wiely & Sons Ltd.