ENVIROMENTAL EDUCATION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT Vol.5 No.3 Spring 2017
Journal of Environmental Education & Sustainable Development
URL:http://EE.journals.pnu.ac.ir
فصلنامه آموزش محیط زیست و توسعه پایدار

مطالعه کارایی عملکرد هواده‌های عمقی به عنوان جایگزین هواده‌های سطحی در فرآیند لاگون هوادهی، گامی در راستای آموزش نیروی انسانی در صنعت آب و فاضلاب

محمد دلنواز*[1]، محمد سینا سرمدی[2]، مهدیه یزدانی[2]، امیرحسین صادقی[2]
۱. استادیار دانشکده فنی و مهندسی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خوارزمی تهران
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران محیط‌زیست، دانشگاه خوارزمی تهران

دریافت:۱۳۹۵/۱۱/۱۲ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۱/۱۵

Studying the Efficiency of Deep Aerators Performance as a Replacement for Surface Aerators in Aerated Lagoons Process, a Step through Human Force Training in Water and Wastewater Industry

M.Delnavaz*[1], M. SpSarmadi[2], M.Yazdani[2], A.H. Sadeghi[2]
1. Assistant Professor, Faculty of Engineering, Civil Engineering Department ,Kharazmi University, Tehran.
2. Master of Science Student, Civil and Environmental Engineering, Kharazmi University, Tehran.
Received:2017/02/01 **Accepted:** 2017/04/04

چکیده

این پژوهش که با هدف آشناسازی نیروی انسانی شاغل در صنعت آب و فاضلاب کشور با ویژگی‌ها و مزایای استفاده از هواده‌های عمقی به عنوان جایگزین هواده‌های سطحی و نیز امکان‌سنجی استفاده از آن در فرآیندهای لاگون هوادهی، صورت پذیرفته با استفاده از روش توصیفی از نوع تحلیل اسنادی، گزارش‌شده است. پژوهش حاضر در وهله اول، به منظور ارتقای کیفیت و توانمندی نیروی انسانی، فرایندهای هوادهی در لاگون‌ها را بررسی، انواع روش‌های مربوط به هر یک را بیان و سپس انواع هواده‌ها اعم از هواده‌های عمقی، مکانیکی سطحی، زیرسطحی و همچنین هواده‌های پمپی، نحوه عملکرد و عوامل تأثیرگذار بر این هواده‌ها را موردبررسی قرار داده است که آگاهی از این امور می‌تواند موجب بهبود سطح علمی، آشنایی با پیشرفت‌های روز دنیا و درنتیجه بقا و حیات بیشتر سازمان‌های مربوطه شود. در انتها نیز با بهره گرفتن از نتایج حاصل از سایر پژوهش‌ها، مقایسه‌ای بین دو روش صورت گرفته است که نتیجه حاصل‌شده نشان می‌دهد استفاده از هواده‌های عمقی به جای هواده‌های سطحی، کاهش حدود ۷۸/ ۱۹ درصد در انرژی مصرفی و درنتیجه صرفه اقتصادی و افزایش راندمان شاخص‌های گوناگون سنجش آلودگی پساب را به همراه خواهد داشت که می‌توان آن را گامی مؤثر در راستای مدیریت درست و صحیح منابع و ایجاد توسعه‌ی پایدار در صنعت آب و فاضلاب کشور دانست.

واژه‌های کلیدی:
لاگون هوادهی، هوادهی سطحی، هوادهی عمقی، نیروی انسانی، توسعه پایدار.

Abstract

This study is performed with the purpose of familiarity of human force working in water and wastewater industry of the country with features and advantages of using deep Aerators as a replace for surface Aerators and also feasibility for using it in Aerated Lagoons processes by using descriptive method from the type of document analysis. Present study in the first step is investigated for improving quality and empowerment of human force of aeration processes in Lagoons and explains related types of methods to each one and then the types of Aerators such as deep, surface mechanical and undersurface Aerators and also pump Aerators of performance method and effective factors on it are investigated that informing these affairs can cause the improvement of scientific level, familiarity with new developments in the world and at last remaining and life of more related organizations. At last by utilizing results arising other researches, a comparison is performed between two methods that the result shows that using deep Aerators instead of surface Aerators had 19.78 percent decline in consumed energy and as a result it will be along with economic saving and increasing efficiency of multiple indices for evaluating waste pollution that we know it as an effective step through correct management of resources and creating sustainable development in water and wastewater industry of the country.

Keywords:
Aerated Lagoons, Surface aeration, Deep aeration, human force, Sustainable development

***نویسنده مسئول:** delnavaz@khu.ac.ir

مقدمه

مهم‌ترین و حیاتی‌ترین دارایی هر سازمان، نیروی انسانی کارآمد آن سازمان است (Raoufi & Taleb Bidokhty, 2012). امروزه، پیشرفت علمی نیروی انسانی سازمان‌ها به عنوان یک سیاست کارآمد در رشد و ارتقاء آن‌ها، مطرح است. دنیای امروز که در آن قدرت اصلی سازمان‌ها به واسطه داشتن اطلاعات پیشرفته رقم می‌خورد، مدیران کارآمد را بدین سمت سوق می‌دهد که منابع انسانی خود را همواره از لحاظ علمی در سطح مطلوب نگه‌دارند (Hashemi & Aminzad,2011). کیفیت و توانمندی نیروی انسانی، مهم‌ترین عامل بقا و حیات سازمان است؛ زیرا نیروی انسانی توانمند، سازمان توانمند را به وجود می‌آورد (Doustar et al.,2014). سازمان‌ها، نیازمند افرادی هستند که بتوانند بهترین استفاده از فناوری پیشرفته را ارائه دهند، نوآوری‌ها را بیابند و بتوانند محصولات و خدمات خود را بهبود بخشند (Rashidirad,2012). برای همراهی با تغییرات در سازمان نیز مهم‌ترین عنصر، منابع انسانی است و ازاین‌روست که منابع انسانی مهم‌ترین دارایی سازمان‌ها و مزیت رقابتی آن‌ها در این عصر، به‌حساب می‌آیند. برای سازمان‌ها، جهت رویارویی با تغییرات، ارتقای دانش، توانایی و مهارت منابع انسانی، اهمیت بسیار دارد (Fardanesh & karami,2008). از نظر پیتر دراکر (۱۹۹۹)، یکی از تئوریسین‌های علم مدیریت، رشد اقتصادی مرهون توانمند کردن کارکنان فرهیخته است. توانمند کردن افراد موجب می‌شود تا مدیران ارشد سازمان، سریع‌تر و بدون اتلاف منابع به اهداف خود نائل شوند. یکی از عوامل مؤثر در این کار، آموزش کارکنان و مدیران با روش‌های مختلف است(Barootkoob & SharifAbadi,2014). با توجه به بحث آب و فاضلاب، مسائل و پیشرفت‌های مرتبط با آن در کشور در دهه‌های اخیر، مدیریت صحیح و درست از منابع و تأسیسات و انتخاب روش‌های مناسب، کمک شایان توجهی به این صنعت خواهد کرد.

تصفیه فاضلاب باهدف اصلی حفاظت محیط‌زیست، منابع آب، بهداشت فردی و اجتماعی صورت می‌گیرد و لازم است که این کار منطبق بر استانداردها و مقررات تدوین‌شده از سوی سازمان‌های معتبر بهداشت در سطح بین‌المللی انجام شود و کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، متناسب با شرایط محیط پذیرنده تنظیم شود(Asheghmoalla et al., 2014). متمرکز شدن مراکز جمعیتی و صنعتی در نقاط مختلف کشور ازجمله در کلان‌شهرها و شهرک‌های صنعتی باعث تولید حجم بالایی از پساب فاضلاب می‌گردد که با روند فصلی دفع فاضلاب، مشکلات فراوانی را در این نقاط ایجاد خواهد نمود. به همین دلیل، مؤثرترین راه‌کاری که می‌توان در پیشگیری از این مشکلات در نظر گرفت، استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده به عنوان یک منبع پایدار می‌باشد که بیش از پیش موردتوجه مدیران صنعت آب کشور قرارگرفته است (Ghasemi & Danesh,2013).

بنابراین در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به منظور طراحی و بهره‌برداری بهینه از تأسیسات جمع‌آوری، تصفیه و دفع لجن و پساب بهداشتی حاصله، آگاهی از کیفیت فاضلاب ورودی، پساب خروجی، مراحل مختلف پالایش و درنهایت لجن مازاد و پساب بهداشتی خروجی، ضروری است.

احداث تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری درگذشته به‌طور عمده جهت حذف آلاینده‌های آلی، مواد معلق و آلاینده‌های میکروبی بوده است؛ اما امروزه، مشخص شدن اثرات ترکیبات نیتروژنه و فسفر در محیط‌های آبی (عمدتاً سمیت آمونیاک و رشد زیاد گیاهان آبزی، ایجاد پدیده‌ی اتریفیکاسیون و آلودگی آب‌های زیرزمینی به نیترات)باعث گردیده است که محدودیت‌هایی در غلظت این ترکیبات در پس‌آب‌های ورودی به محیط و آب‌های پذیرنده اعمال گردد؛ بنابراین، امروزه بایستی در طراحی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به حذف این ترکیبات از فاضلاب هم توجه شود و سیستم‌های موجود نیز بایستی جهت حذف ترکیبات ازته و فسفر تا حد استاندارد ارتقاء یابند. (Eyvaz zadeh et al.,2013) اما از مهم‌ترین موضوعات قبل از طراحی و اجرای تصفیه‌خانه فاضلاب، انتخاب بهترین فرآیند تصفیه است (Asgari et al., 2014) همچنین آشنایی عوامل اجرایی و نیروی انسانی دخیل در این فرآیندها با روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب به منظور انتخاب گزینه بهینه ضروری می‌باشد.

در فرآیند تصفیه فاضلاب، مراحل مختلفی طی خواهد شد که تقریباً در همه فرآیندها، اکثر مراحل شبیه یکدیگر خواهند بود واز دید مصرف انرژی، تنها در چگونگی تصفیه بیولوژیکی و حذف مواد آلی محلول و کلوئیدی از پساب (توسط میکروارگانیسم‌های فعال تثبیت و به لاشه میکروارگانیسم قابل ته‌نشین تبدیل می‌شود) تفاوت‌هایی با یکدیگر خواهند داشت (Sadeghi et al., 2011). فرآیندهای تصفیه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری به‌طورکلی شامل سه مرحله‌ی تصفیه اولیه، تصفیه ثانویه و تصفیه پیشرفته هستند. منظور از تصفیه اولیه یا ابتدایی، تصفیه مکانیکی یا فیزیکی فاضلاب است. این مرحله می‌تواند تا حدود ۴۰ درصد از آلودگی فاضلاب را کاهش دهد که شامل قسمت‌های مختلف آشغال گیر، دبی سنج، کانال شن گیر و چربی گیر و تانک یا حوضچه ته‌نشینی

اولیه است. ازآنجایی‌که لجن خام حاصل از فرآیند تصفیه اولیه اغلب بدبو، دارای آب زیاد و حاوی موجودات ریز (میکروارگانیسم‌ها) هستند دفع این لجن خام مجاز نبوده و نیاز به تصفیه بیشتر دارد. ازاین‌رو، فرآیند تصفیه ثانویه فاضلاب که همان تصفیه بیولوژیکی فاضلاب است به کار گرفته می‌شود.

فرآیندهای تصفیه بیولوژیکی فاضلاب را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد: فرآیندهای هوازی، فرآیندهای بی‌هوازی، فرآیندهای آنوکسیک، فرآیندهای ترکیبی و فرآیندهای برکه‌ای یا لاگونی. پژوهش حاضر که به منظور آشناسازی برنامه‌ریزان صنعت آب کشور با عملکرد هواده‌های عمقی به عنوان جایگزین هواده‌های سطحی در فرآیند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب صورت گرفته است، تلاش دارد پاسخگوی سؤالات زیر باشد:

۱. .ویژگی‌ها، مزایا و معایب لاگون‌های هوادهی در فرآیند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب کدامند و انواع هواده‌های قابل‌استفاده در این فرآیند چیست؟
۲. .ساختار و نحوه‌ی عملکرد هواده‌های عمقی در فرآیند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به چه شکل است؟
۳. .مشخصات و ساختمان هواده‌های سطحی و زیرسطحی مکانیکی مورد استفاده در فرآیند لاگون هوادهی به چه شکل است؟
۴. .هواده‌های ترکیبی عمقی و استفاده ویژه از این هواده‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها کدامند؟
۵. .انواع کاربردی هواده‌های پمپی و کاربرد عمده‌ی آن‌ها چیست؟
۶. .نمونه‌هایی عملی از عملکرد هواده‌های عمقی به عنوان جایگزین هواده‌های سطحی در ایران کدامند؟

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی بوده و در نظر دارد تا کاربرد عملی هواده‌های عمقی را در صنعت آب بررسی نماید. بر مبنای ماهیت و روش نیز می‌توان این مطالعه را در گروه تحقیقات توصیفی از نوع تحلیل اسنادی قرارداد که مبتنی بر شواهد برگرفته از مطالعه اسنادی است و عمدتاً شامل اطلاعات، یافته‌ها و نتایجی است که توسط نویسندگان و پژوهشگران قبلی در حوزه موردبحث فراهم کرده‌اند. محققین در این راستا تلاش کرده‌اند که به درک و تحلیل نوشته‌های دیگران بپردازند. این پژوهش در راستای مقایسه هوادهی سطحی و عمقی و بررسی عملکرد هواده‌های عمقی به عنوان جایگزین هواده‌های سطحی در فرآیند لاگون هوادهی در تصفیه فاضلاب صورت گرفته است.

یافته‌های پژوهش

۱. لاگون هوادهی در فرآیند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب چیست؟ مزایا و معایب آن کدامند؟ انواع هواده‌های قابل‌استفاده در این فرآیند کدام است؟

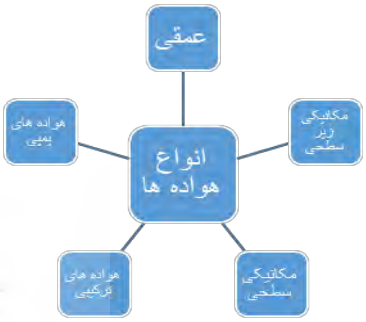
لاگون های هوادهی، نوعی از سیستم تصفیه فاضلاب هستند که در آن‌ها با استفاده از هوادهی مصنوعی در یک حوضچه و فراهم آوردن شرایط رشد و تکثیر میکروارگانیسم‌ها، عمل تصفیه صورت می‌گیرد. لاگون‌های هوادهی از نظر راندمان حذف و شرایط ساخت، اجرا و بهره‌برداری در حقیقت بین واحدهای ساده‌ی برکه‌های اختیاری از یک‌طرف و واحدهای کارآمد و فشرده‌تر مانند لجن فعال که از برگشت لجن استفاده می‌کنند، قرار دارند. طراحی این واحدها را می‌توان با تدابیر خاصی از نظر زمین و انرژی موردنیاز برای بهینه نمودن هر چه بیشتر سیستم، انجام داد. این کار با انتخاب ترکیب‌هایی از انواع مختلف لاگون‌های هوادهی و برکه‌های جلبکی میسر است. استفاده روزافزون از لاگون‌های هوادهی برای تصفیه فاضلاب کارخانه‌های کاغذ، صنایع غذایی، پتروشیمی و سایر صنایع گزارش‌شده است. با توجه به‌سادگی اجرای این واحدها در برخی موارد می‌توان برکه‌های تثبیت را با نصب هواده به لاگون هوادهی تبدیل کرد.

- .ساختمان اصلی لاگون‌های هوادهی مانند برکه‌های تثبیت، خاکی است؛ ولی به علت تلاطم داخل حوضچه در اثر هوادهی لازم است پوشش داخلی لاگون‌های هوادهی را با بتن و یا مواد دیگر از تخریب و ریزش محافظت نمود. عمق لاگون‌های هوادهی بین ۲ تا ۵ متر است و فاضلاب خام پس از عبور از آشغال گیر وارد لاگون هوادهی می‌گردد و پس از گذشت زمان لازم برای تثبیت فاضلاب از طرف دیگر لاگون خارج می‌شود. این لاگون‌ها از نظر اندازه در مقایسه با برکه‌های تثبیت فاضلاب خیلی کوچک‌تر هستند (کمتر از ۱۰ تا ۲۰ درصد)، دلیل این امر از یک‌طرف گود بودن لاگون‌ها و از طرف دیگر زمان لازم برای تثبیت فاضلاب در لاگون‌های هوادهی است که این زمان در لاگون‌های هوادهی به مراتب کمتر است. برای لاگون‌های هوادهی مزایایی مانند: قابلیت تحمل شوک حاصل از بارهای هیدرولیکی و آلی، به علت داشتن حجم زیاد؛
- .امکان صرف‌نظر از سیستم‌های برگشت لجن، در مقایسه با لجن فعال؛

- .هزینه ساخت و بهره‌برداری بسیار کمتر نسبت به لجن فعال؛
- .نیاز به زمین کمتر نسبت به سایر روش‌های طبیعی تصفیه فاضلاب؛

را می‌توان برشمرد (Li et al.,2013).

انواع متداول هواده‌ها در فرآیند لاگون‌های هوادهی عبارتنداز:

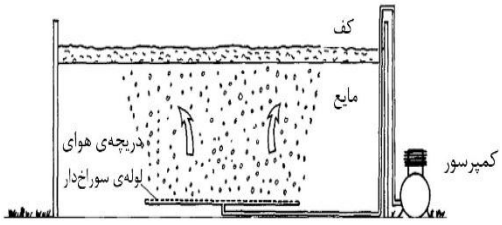


شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش

هر گروه بر حسب اصول عملیاتی خود، عوامل اصلی مؤثر بر عملکرد و اثربخشی‌های گزارش‌شده در مایعات مختلف، قابل ارزیابی هستند (Cumby,1987).

۲. ساختار و نحوه‌ی عملکرد هواده‌های عمقی در فرآیند تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به چه شکل است؟

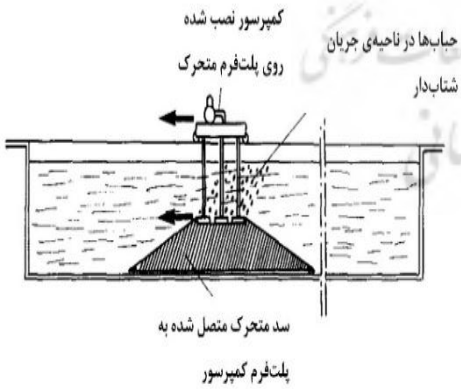
در سیستم‌های هوادهی عمقی یا هوای فشرده[1]، هوای فشرده در زیر سطح مایع وارد و به شکل حباب پراکنده‌شده است (شکل ۲). انتقال اکسیژن در سراسر سطح حباب‌ها انجام‌شده و با صعود خود باعث تلاطم مایع‌شده و این امر تا حدودی موجب اثر مخلوط کردن شده است (Vasseur et al.,1975). استنستروم و گیلبرت، سه منطقه مجزای انتقال جرم مختص به هواده‌های عمقی را شناسایی کرده‌اند: (الف) منطقه‌ی تشکیل حباب که در آن نرخ‌های تجدید سطح و انتقال جرم بسیار بالا است، (ب) منطقه صعود حباب‌ها که در آن کاهش نرخ انتقال رخ می‌دهد و (ج) منطقه‌ی سطح که در آن "جوشش" سطح باعث انتقال جرم شده است.



شکل ۲. یک هواده هوای فشرده‌ی معمول
مأخذ: (Cumby,1987)

پیکربندی ظرف، اهمیت نسبی هر منطقه در انتقال کلی اکسیژن را تحت تأثیر قرار داده است؛ به‌عنوان‌مثال، منطقه صعود حباب‌ها در مخازن عمیق نسبت به مخازن کم‌عمق از اهمیت بیشتری برخوردار است (Stenstrom et al.,1981).

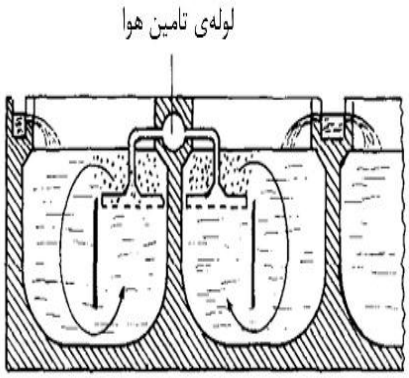
تغییرات طراحی زیادی به منظور بهبود عملکرد هواده‌ها عمدتاً در فاضلاب انجام‌شده است؛ به‌عنوان‌مثال: (الف) تیغه‌های افقی در بالای خروجی‌های هوا به منظور کاهش اندازه حباب توسط اثرات برشی (ب) نازل‌های متحرک برای افزایش زمان ماند حباب‌ها – سیستم دانجس – (شکل ۳)(Von der Emde,1968) (ج) تیغه های عمودی برای ایجاد اثرات سیرکولاسیون[2] بالابری هوا برای افزایش ماند حباب – سیستم اینکا – (شکل ۴)، (Wheatland et al.,1970) سیستم دانجس و اینکا بازده هوادهی خوبی دارند.



شکل ۳. هواده با نازل‌های متحرک برای افزایش نگه داشت حباب (سیستم دنجس)
مأخذ:(Cumby,1987)

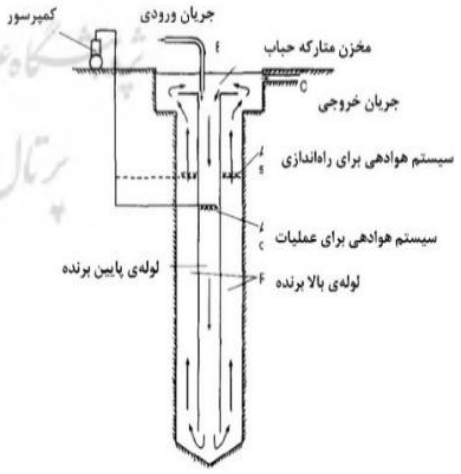
1 .Compressed air aerators

2 .Circulation effects

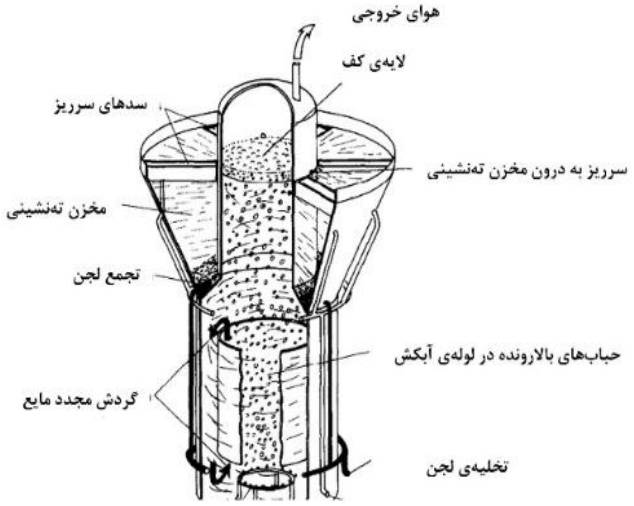


شکل ۴. هواده با بافل‌های عمودی برای بهبود سیرکولاسیون، و افزایش نگه داشت حباب (سیستم اینکا)[1]
مأخذ:(Cumby,1987)

نسبت اکسیژن منتقل‌شده از حباب‌ها، بستگی به مدت زمانی دارد که در تماس با مایع هستند. این به نوبه خود بستگی به‌اندازه حباب (حباب‌های با قطر کمتر از حدود ۲ میلی‌متر آهسته‌تر صعود می کنند) و عمق رهایش حباب دارد. پیشنهادشده است که حداقل عمق ۳ متر برای بهره‌برداری اکسیژن منطقی است، (Imhoff,1969) و درنتیجه برخی از طراحی‌های مجرای عمیق مانند «دیپ شفت[2]» (شکل ۵) و «بیوهوک-رآکتور[3]» (شکل ۶) برای زباله‌های صنعتی انجام‌شده‌اند.



شکل ۵. سیستم تصفیه پساب «دیپ شفت»
مأخذ:(Cumby,1987)



شکل ۶.«بیوهوک رآکتور» برای پسماند صنعتی
مأخذ: (Cumby,1987)

برخی از شواهد تجربی نشان داد که راندمان انتقال اکسیژن در هواده‌های عمقی با کاهش فاصله‌ی دیفیوزرها[4] بهبود می‌یابد. این اثر به از بین بردن مناطق با اختلاط ضعیف بین دیفیوزرها نسبت داده‌شده است (Doyle.,1983)

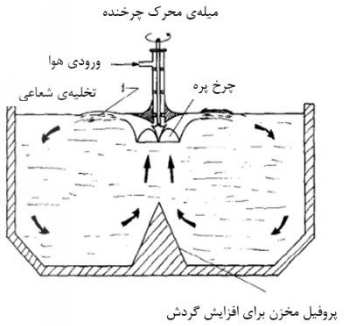
۳. مشخصات و ساختمان هواده‌های سطحی مکانیکی و زیرسطحی مکانیکی مورد استفاده در فرآیند لاگون هوادهی به چه شکل است؟

هواده سطحی مکانیکی[5]، اکسیژن را با تکان دادن شدید سطح مایع، تأمین کرده است به طوری که منطقه سطحی به واسطه‌ی ترکیبی از قطرات ریز مایع که به هوا پرتاب‌شده‌اند و حباب‌های هوا که در مایع درون آمیخته‌شده‌اند، افزایش یافت (Eckenfelder,1968). چنین هواده‌هایی به‌طورکلی از یک همزن متصل به یک میله تشکیل‌شده است که ممکن است به صورت عمودی یا افقی باشد و توسط یک موتور الکتریکی به چرخش درمی‌آید. عمل پاشش می‌تواند منجر به تولید ذرات معلق در هوا شود، به‌گونه‌ای که انتشار بو[6] در آغاز عملیات را افزایش داد. عملکرد هواده سطح مکانیکی در ضایعاتی با خواص فعال سطحی را می‌توان با ایجاد یک جریان بالک[7] برای افزایش نگه داشت حباب‌های کوچک، بهبود بخشید (Knop & Kalbskopf 1969).

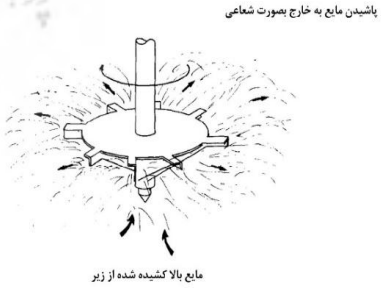
1. Inka
2. .Deep Shaft
3. Biohoch-Reaktor

4. Diffusers
5. Mechanical surface aerators
6. Odour
7.Bulk

هواده‌های سطحی با محور عمودی[1] – به عنوان یکی از انواع هواده‌های سطحی مکانیکی – معمولاً شامل یک توربین بر روی یک میله عمودی است که مایع را، گاها به کمک یک لوله راهبر عمودی، (Hobson & Robertson,1977) مستقیماً از زیر به سمت بالا کشیده و آن را به صورت شعاعی به بیرون پرتاب می‌کند. استفاده اصلی آن‌ها برای هوادهی مخازن کم‌عمق و لاگون‌هایی (Thaer,1987) با حداکثر عمق ۳ متر Vasseur et al.,1975)) و ۵ متر (Zlokarnik,1983) است. نصب شناور، برای تحرک و برای حفظ عمق صحیح غوطه‌وری، امری عادی است. بزرگ‌ترین هواده‌ها برای پساب‌های صنعتی ساخته‌شده‌اند، به‌عنوان‌مثال توربین BSK: قطر ۱/۲ متر (شکل ۷) و مخروط سیم کار: قطر ۲/۳ متر (شکل ۸). (Von der Emde,1968)

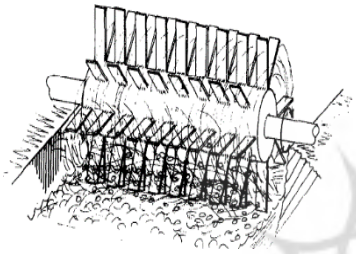


شکل ۷. هواده توربین «BSK»
مأخذ: (Cumby,1987)



شکل۸. هواده سطحی مخروطی «سیم کار»
مأخذ:(Cumby,1987)

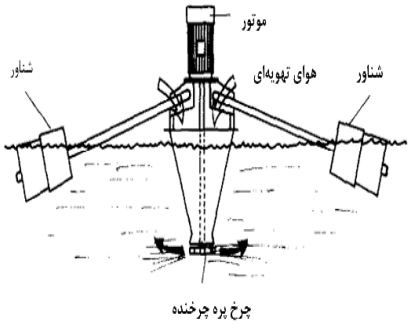
هواده‌های سطحی با محور افقی[2] نوعی دیگر از هواده‌های سطحی مکانیکی هستند که اغلب در گودال‌ها اکسیداسیون استفاده‌شده‌اند، زیرا جریان افقی را تشدید بخشیده که این امر باعث حفظ سیرکولاسیون مایع‌شده است. همزن‌های اکثر هواده‌های با محور افقی به شکل قفس‌ها یا طبل‌های استوانه‌ای هستند که با محور محرک هم‌مرکز هستند. میله‌ها یا پره‌های کوتاه به صورت شعاعی به سمت خارج بیرون زده می‌شوند و تا عمق ۸۰ تا ۱۰۰ میلی‌متری به درون مایع فرو می‌روند (شکل ۹). سرعت‌های چرخشی معمولاً بین ۸۰ و ۱۰۰ دور در دقیقه هستند. طرح‌های جایگزین از یک برس استوانه‌ای و یا دیسک‌های سوراخ دار استفاده می‌کنند. قطر کلی چنین چرخان‌های قفسی و برسی معمولاً بین ۰/۵ و ۱/۰ متر است و در حالت معمول تقریباً عرض کامل گودال اکسیداسیون را احاطه می‌کنند(Heduit & Racault,1983) .



شکل ۹. هواده سطحی با محور افقی با تیغه‌های شعاعی»
مأخذ:(Cumby,1987)

هوادهی درنتیجه‌ی چهار اثر رخ می‌دهد: (الف) امواج و ریز موج‌های موجود در سطح گودال اکسیداسیون و یا مخزن اصلاح، (ب) قطرات پرت شده به درون هوا، (ج) درون آمیختگی حباب و (د) اختلاط هوا و مایع در داخل بدنه‌ی قفس، درام و یا برس. (Pasveer,1960) ارتقا بین ۲۵٪ تا ۳۳٪ در بازده انتقال اکسیژن هواده‌های بُرِسی با نصب یک بافل برای محدود کردن جریان برس به‌دست‌آمده است (Knop & Kalbskopf 1969)؛ (Pasveer,1983)در هواده‌های زیرسطحی مکانیکی[3] هوا به پایین مجرای درون مایع مکیده شده و و با استفاده از یک توربین مستغرق به شکل حباب‌هایی پراکنده ساخته می‌شود. (Heduit & Racault,1983)اگر توربین بتواند از طریق عمل خود هوای کافی را بکشد، آنگاه «خود درون آمیختگی[4]» نامیده می‌شود. بسیاری از هواده‌ها از این نوع هستند؛ اما یک دمنده یا کمپرسور را می‌توان در صورت نیاز به هوای بیشتر اضافه کرد. توربین، معمولاً بر روی یک محور عمودی نصب‌شده و نیروی محرک آن مستقیماً از طرف یک موتور الکتریکی که بر بالای سطح مایع قرار داده‌شده است، تأمین می‌شود. سه یا چهار شناور برای اطمینان از یک عمق ثابت غوطه‌وری نصب‌شده است (شکل ۱۰).

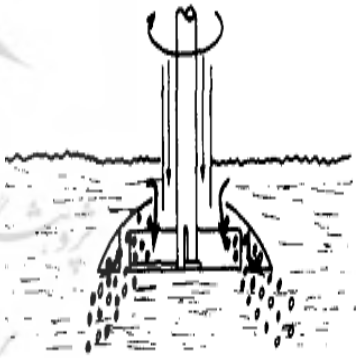
1 .Vertical shaft surface aerators
2. Horizontal shaft surface aerators
3 .Mechanical subsurface aerators
4 .Self-Entraining



شکل ۱۰. هواده زیرسطحی دارای شناور برای حفظ عمق غوطه‌وری ثابت

مأخذ:(Cumby,1987)

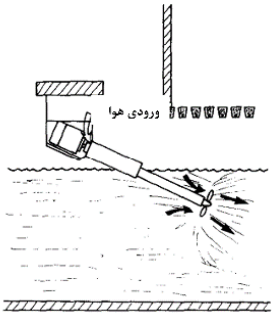
انواع گوناگون طراحی وجود دارد. در برخی، هوا از طریق یک استوانه چرخنده توخالی تأمین می‌شود و در برخی دیگر، تیغه‌های بادگیر سفت و سختی در اطراف حاشیه توربین برای کاهش جزء مماس سرعت مایع نصب‌شده است (Bruxelmane,1981) (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. پیشران با تیغه‌های خم کن محیطی ثابت

مأخذ:(Cumby,1987)

در نوع دیگری از این هواده‌ها، هوا از طریق یک لوله‌ی بارکش از سطح تأمین می‌شود که به درون منطقه‌ی کم فشار ایجادشده در نزدیکی مرکز پیشران تخلیه می‌شود. در Aerob-A-Jet، میله بین ۲۰ تا ۳۰ درجه نسبت به افق کج می‌شود و توسط یک پیشران جریان محوری به‌طور کامل نصب می‌شود (شکل ۱۲).(Simons et al.,1974) میله توسط یک غلاف لوله‌ای هم‌مرکز احاطه‌شده است که به عنوان یک لوله‌ی بارکش عمل می‌کند و توسط مکش ایجادشده به وسیله‌ی پیشران چرخشی اجازه می‌دهد هوا به پایین شکاف حلقوی کشیده شود. این امر موتور را قادر می‌سازد تا بالای مایع نصب شود و همچنین یک مؤلفه سرعت افقی قابل‌توجه در جریان مایع به وجود می‌آورد و آن را برای استفاده در گودال‌های اکسیداسیون مناسب می‌سازد که ادعاشده است نسبت به چرخان قفسی به اختلاط بهتری دست می یابد. (Simons et al.,1974)



شکل ۱۲. هواده «Aerob-A-Jet»

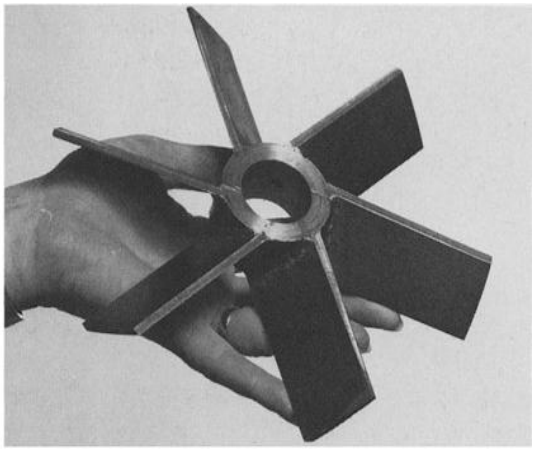
مأخذ:(Cumby,1987)

۴. هواده‌های ترکیبی عمقی و استفاده ویژه از این هواده‌ها و نحوه عملکرد آن‌ها کدامند؟

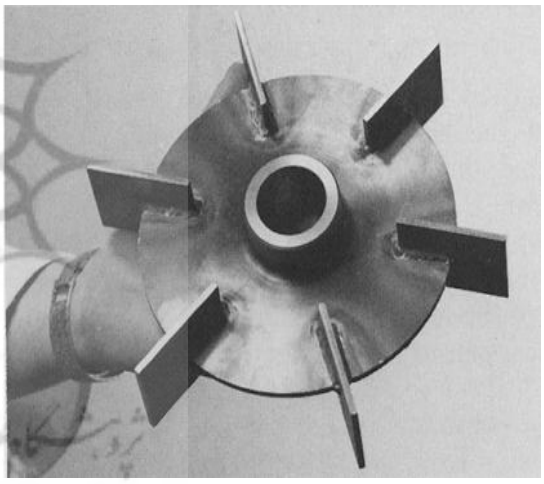
هواده‌های ترکیبی عمقی و مکانیکی[1]، معمولاً برای فرآیندهای تخمیر صنعتی استفاده می‌شوند (Thaer et al.,1973). آن‌ها به‌طورمعمول همراه با یک توربین عمیقاً غوطه‌ور در بالای یک یا چند خروجی هوای با قطر بزرگ هستند به طوری که برش ایجادشده توسط توربین اندازه حباب را کاهش می‌دهد. خواص پیشران تعیین‌کننده‌ی رفتار حباب است؛ بنابراین بازده هوادهی با داشتن خروجی‌های هوای بزرگ دچار اختلال نمی‌شود. یک نوع طراحی (ماروکس[2]) از یک دیفیوزر چرخشی متصل به پیشران استفاده می‌کند و هوای آن از طریق یک استوانه چرخنده توخالی تأمین می‌شود. ادعاشده است که درنتیجه‌ی ترکیبی از یک دیفیوزر ریز و جریان برشی حباب‌های بسیار کوچکی را تولید می-کند(Connor,1980).

عیب این سیستم‌ها این است که نیازمند دو ورودی برق جداگانه هستند، یکی برای توربین و یکی برای کمپرسور یا دمنده، اما مقادیر ضریب انتقال جرم کلی بالا (K_La) را می‌توان در آن‌ها به دست آورد. انتخاب پیشران اختلاط مهم است. نیاز به برش بالا برای تشدید خرد شدن حباب معمولاً باعث می‌شود پیشران جریان محوری نسبت به توربین‌های دیسکی از مطلوبیت کمتری برخوردار باشند (شکل‌های ۱۳ و ۱۴) (Bruxelmane,1981).

1 .Combined compressed air and mechanical aerators
2 .Marox



شکل ۱۳. پیشران جریان محوری
مأخذ:(Cumby,1987)

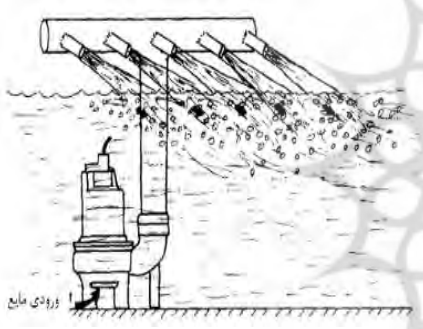


شکل ۱۴. پیشران توربین دیسکی
مأخذ: (Cumby,1987)

یک تراز صحیح بین قدرت پیشران و سرعت جریان هوا بسیار حائز اهمیت است (Pasveer,1960). در نرخ‌های هوای بسیار بالا، حباب‌های بزرگ می‌توانند پیشران را با هوا خفه کنند و منجر به بازده اکسیژناسیون ضعیف شوند (درحالی‌که در نرخ هوای بسیار پایین توان توربین بیش از حدی صرف اختلاط مایع می‌شود). نوع پیشران نیز می‌تواند حداکثر نرخ هوادهی را تحت تأثیر قرار دهد. توربین‌های دیسکی نسبت به توربین‌های باز بهتر قادر به مقابله با نرخ جریان هوای بالا هستند؛ زیرا آن‌ها مانع صعود عمودی مستقیم حباب می‌شود به طوری که نسبت به خفگی کمتر حساس هستند.

۵. انواع کاربردی هواده‌های پمپی و کاربرد عمده‌ی آن‌ها چیست؟

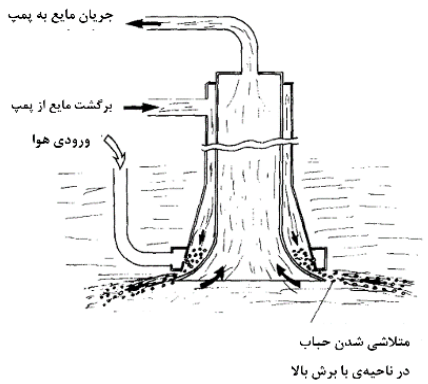
هواده ای پمپی که به‌طور گسترده در کشاورزی مورد آزمایش قرارگرفته است جت غوطه‌وری[1] است (Hauxwell,1972)؛ (Burgess et al.,1973)؛ (Ahmed,1974)؛ (Van de Sande,1974) این هواده با هدایت جریان مایع از پمپ از میان یک نازل مرتفع به سطح مایع بالک عمل می‌کند و هوادهی را توسط درون آمیختگی حباب‌های هوا در نقطه ورود جت به مایع ایجاد می‌کند. جت غوطه‌وری همچنین یک اثر اختلاط در مخزن تولید می‌کند. طرح‌های جایگزین از یک یا چند نازل استفاده می کنند؛ به‌عنوان‌مثال، Jet-Aero-Mix (شکل ۱۵). (Wong-Cgong,1973)



شکل ۱۵. هواده «Jet-Aero-Mix»
مأخذ:(Cumby,1987)

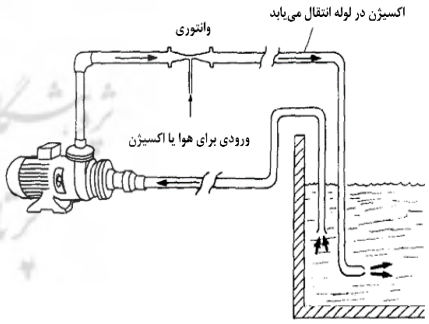
نوعی دیگری از هواده‌های پمپی که برای تصفیه فاضلاب صنعتی رایج بوده و در سال‌های اخیر علاقه مجددی را به خود جلب کرده است، اجکتور[2]ها (هواده‌های ونتوری) می باشند (Zlokarnik,1983)؛ (Huang et al.,1972). این هواده‌ها از یک ونتوری برای ایجاد یک مکش استفاده می‌کند که هوا را به درون جریان می‌آمیزد. به دلیل سرعت بالای مایع در ونتوری حباب‌ها توسط سرعت برشی بالا به اندازه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شوند؛ با این حال، برای رسیدن به عملکرد کارآمد لازم است که ظرفیت تفکیک حباب هواده با رفتار پیوسته مایع وفق داده شود. انرژی مصرفی برای تولید حباب–های بسیار ریز اگر قبل از رسیدن به سطح به یکدیگر بپیوندند به هدر می‌رود. اکثر هواده‌های اجکتور در موقعیت غوطه‌وری نصب می‌شوند به طوری که حباب‌های کوچک به‌طور مستقیم به درون مایع بالک جریان می‌یابند (شکل ۱۶).

1. Plunging jets
2. Ejector aerator



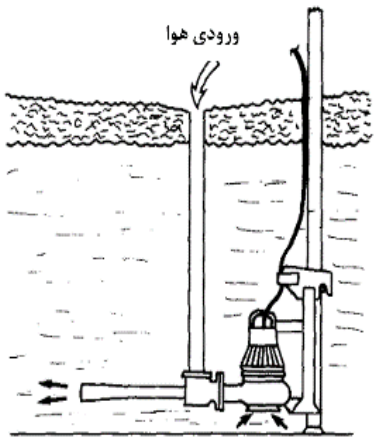
شکل ۱۶. هواده ایجکتور
مأخذ:(Cumby,1987)

طرح‌های متنوع گوناگونی وجود دارد؛ ازجمله تخلیه شعاعی، عمودی و افقی (Zlokarnik,1983). برخی از آن‌ها شامل یک لوله‌ی دهانه زنگوله‌ای بزرگ‌تر هم‌مرکز با ونتوری هستند، به منظور بهبود انتقال حرکت بین جت با سرعت بالا و مایع اطراف. یک طرح اجکتور عمومی توسط کینگ و همکاران توسعه داده‌شده است: هوا به درون یک جت حلقوی برش بالای آب تزریق می‌شود که باعث ایجاد یک الگوی اختلاط ۳۶۰ درجه‌ای در مایع اطراف می‌شود (شکل ۱۷). (King et al.,1980)



شکل۱۷.هواده جت حلقوی «Fixed-Head»
مأخذ:(Cumby,1987)

یک طرح جایگزین، سیستم ویتوکس[1]، به منظور تصفیه اکسیژن خالص از لجن فاضلاب دارای یک ونتوری خارج از مجرای هوادهی و یک لوله برای بازگشت جریان لجن و اکسیژن ترکیب‌شده به درون مجرا است. طول لوله برای اینکه یک مقدار قابل‌توجه از انتقال اکسیژن در لوله رخ دهد، کافی است (شکل ۱۸). (Connor,1980)؛ (Booth et al.,1983)



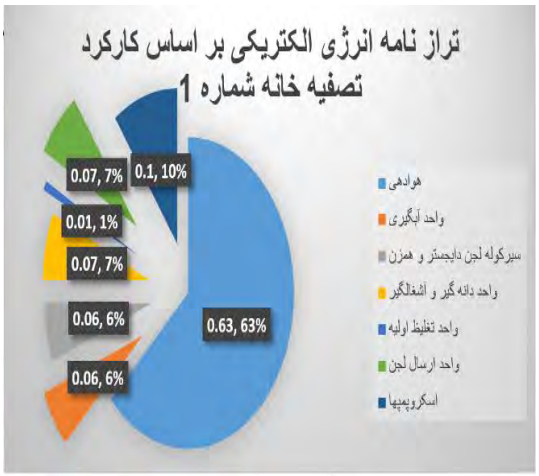
شکل ۱۸. هواده «ویتوکس»
مأخذ:(Cumby,1987)

از ترکیبی از فشار هیدرواستاتیک و جریان برشی آشفته در لوله‌های افقی برای تشدید انحلال اکسیژن استفاده می‌کند. کارایی آن وابسته به انرژی مورد استفاده برای کاهش حجم حباب است (Cumby,1987).

۶. نمونه‌هایی عملی از عملکرد هواده‌های عمقی به عنوان جایگزین هواده‌های سطحی در ایران کدامند؟

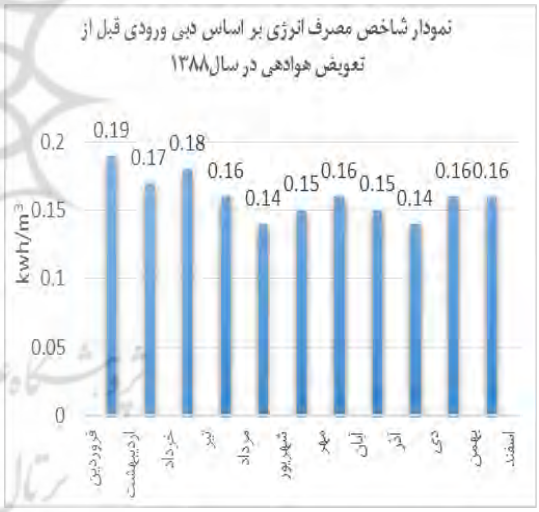
الف. (Sadeghi et al., 2011)در پژوهشی به بررسی دو تصفیه‌خانه‌ی بزرگ در اصفهان هر کدام با ظرفیت ۸۰۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰۰۰ نفر، پرداختند. در این طرح از همه تجهیزات انرژی بر تصفیه‌خانه‌های موردبررسی، اندازه‌گیری به عمل آمد که با توجه به نمودار شماره ۱ مشخص شد که بیشترین سهم مصرف انرژی با سهم ۶۳ درصدی مربوط به بخش هوادهی است. این سهم مصرف انرژی سالیانه ۶۱۱۵۵۶۰ کیلووات ساعت از کل مصرف تصفیه‌خانه را به خود اختصاص می‌داد که پس از اجرای طرح تعویض هواده‌های عمقی به عنوان جایگزین هواده‌های سطحی، انرژی مصرفی سالیانه به مقدار ۴۹۰۵۶۰۰ کیلووات ساعت کاهش یافت که این مقدار معادل ۱۲۰۹۹۶۰ کیلووات ساعت صرفه‌جویی انرژی سالیانه است.

1. Vitox



نمودار ۱. ترازنامه انرژی الکتریکی بر اساس کارکرد

مأخذ:(Sadeghi et al., 2011)

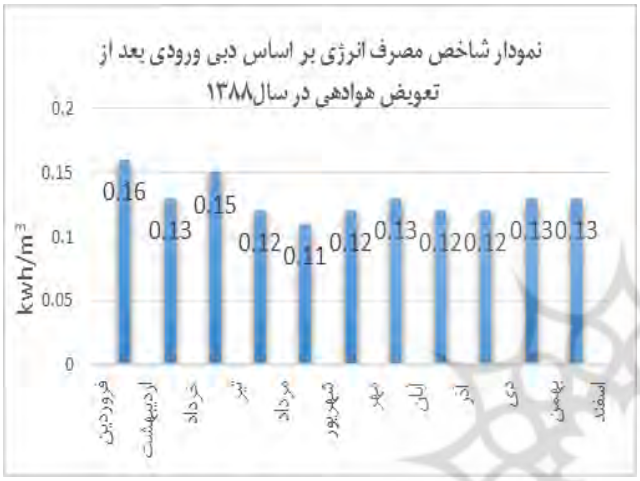


نمودار ۲. نمودار شاخص مصرف انرژی بر اساس دبی ورودی قبل از تعویض هوادهی در سال ۱۳۸۸

مأخذ:(Sadeghi et al., 2011)

با طرح تعویض سیستم هوادهی انرژی مصرفی معادل ۱۹/۷۸ درصد کاهش خواهد داشت که چنانکه این مقدار کاهش را در نمودارهای شاخص مصرف انرژی در سال ۸۸ موردبررسی قرار دهیم با داشتن میزان انرژی الکتریکی مصرف ماهیانه و دبی ورودی فاضلاب پمپاژشده می‌توان مصرف ویژه انرژی الکتریکی بر حسب کیلووات ساعت بر مترمکعب را به دست آورد که نمودارهای آن برای سال ۸۸ رسم شده است.

با مشاهده‌ی نمودار ۲ ملاحظه می‌گردد که متوسط مصرف ویژه انرژی الکتریکی در سال ۸۸ برابر ۰.۱۶ کیلووات ساعت بر مترمکعب فاضلاب پمپاژ شده است. با توجه به این‌که فرآیند تصفیه فاضلاب ورودی یک فرآیند پیوسته می باشد و میزان فاضلاب پمپاژ شده در هرماه مقداری مشخص می باشد و میزان افزایش یا کاهش آن غیرقابل‌کنترل است از این جهت می‌توان نوع فرآیند را در جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی تغییر داد تا درنهایت شاخص مصرف انرژی کاهش یابد.



نمودار ۳. نمودار شاخص مصرف انرژی بر اساس دبی ورودی بعد از تعویض هوادهی در سال ۱۳۸۸

مأخذ:(Sadeghi et al., 2011)

با طرح تعویض سیستم هوادهی و مقایسه‌ی نمودار ۳ با نمودار قبل از طرح تعویض هوادهی یعنی نمودار ۲ کاملاً مشخص است که سطح شاخص موردنظر کاهش داشته است به طوری که مقدار متوسط شاخص مصرف انرژی بر اساس دبی در سال ۸۸ برابر ۰.۱۳ کیلووات بر مترمکعب می‌باشد و نسبت به قبل از اجرای طرح ۰/۳ کاهش داشته است.

ب.(Akbari et al.,2015) با انجام آزمایش‌ها و نمونه‌برداری پیوسته از پساب خروجی در سه فصل مختلف به تحقیق در خصوص نحوه کاهش مقادیر BOD و COD پرداختند به‌گونه‌ای که در پایان و پس از جایگزینی سیستم هوادهی عمقی به جای هوادهای سطحی، کاهش اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی به میزان $\frac{mg}{litr}$ ۲۴و همچنین کاهش اکسیژن موردنیاز بیوشیمیایی به میزان $\frac{mg}{litr}$ ۳۹در پساب خروجی این تصفیه‌خانه فاضلاب را شاهدیم. در ادامه ارقام به‌دست‌آمده از آزمایش‌های روزانه که به صورت جداگانه در ماه‌های مختلف تدوین‌شده است در قالب جدول و نمودارهای مربوطه ترسیم و روند کاهش متغیرهای موردبحث به نمایش در آمده است.

جدول ۱. بررسی تغییرات BOD و COD در تابستان ۱۳۹۲ قبل از راه‌اندازی سیستم هوادهی عمقی (Akbari et al.,2015)

بررسی تغییرات BOD و COD در تابستان ۱۳۹۳ بعد از راه‌اندازی سیستم هوادهی عمقی					
ماه	مقدار mg/l ورودی COD		مقدار mg/l خروجی COD		کلی فرم پساب خروجی
	تعداد نمونه	مقدار	تعداد نمونه	مقدار	NPN/100mm
تیر	۲۰	۴۰۷	۲۰	۷۱	Normal
مرداد	۲۰	۴۰۳	۲۰	۵۳	Acceptable
شهریور	۱۹	۴۲۸	۱۹	۳۹	Upper Limit

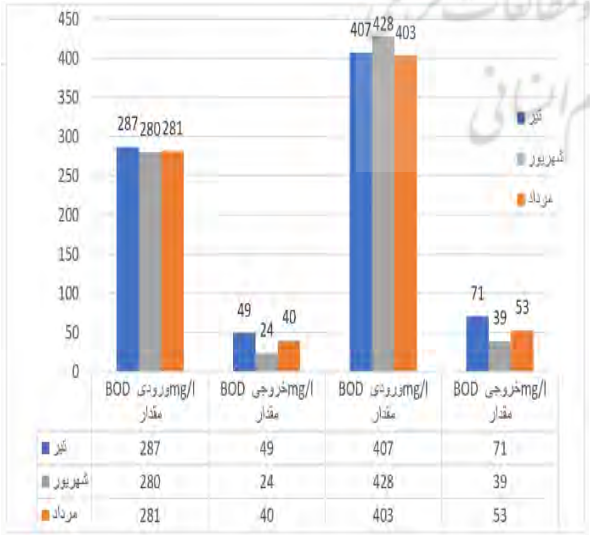
بررسی تغییرات BOD و COD در تابستان ۱۳۹۳ بعد از راه‌اندازی سیستم هوادهی عمقی					
ماه	مقدار mg/l ورودی BOD		مقدار mg/l خروجی BOD		کلی فرم پساب خروجی
	تعداد نمونه	مقدار	تعداد نمونه	مقدار	NPN/100mm
تیر	۶	۲۸۷	۶	۴۹	Normal
مرداد	۷	۲۸۱	۷	۴۰	Acceptable
شهریور	۸	۲۸۰	۸	۲۴	Upper Limit

نمودار ۴. ارقام به‌دست‌آمده در تابستان ۱۳۹۲
مأخذ:(Akbari et al.,2015)

جدول ۲. بررسی تغییرات BOD و COD در تابستان ۱۳۹۳ قبل از راه‌اندازی سیستم هوادهی عمقی(Akbari et al.,2015)

بررسی تغییرات BOD و COD در تابستان ۱۳۹۲ بعد از راه‌اندازی سیستم هوادهی عمقی					
ماه	مقدار mg/l ورودی BOD		مقدار mg/l خروجی BOD		کلی فرم پساب خروجی
	تعداد نمونه	مقدار	تعداد نمونه	مقدار	NPN/100mm
تیر	۷	۲۸۷	۷	۴۹	Normal
مرداد	۸	۲۸۳	۸	۴۷	Acceptable
شهریور	۸	۲۸۲	۸	۴۶	Upper Limit

بررسی تغییرات BOD و COD در تابستان ۱۳۹۲ بعد از راه‌اندازی سیستم هوادهی عمقی					
ماه	مقدار mg/l ورودی COD		مقدار mg/l خروجی COD		کلی فرم پساب خروجی
	تعداد نمونه	مقدار	تعداد نمونه	مقدار	NPN/100mm
تیر	۱۹	۴۱۱	۱۹	۸۴	Normal
مرداد	۲۰	۴۱۹	۲۰	۸۷	Acceptable
شهریور	۲۰	۴۱۳	۲۰	۸۵	Upper Limit



نمود ار ۵. نمایش ارقام به‌دست‌آمده در تابستان ۱۳۹۳(Akbari et al.,2015)**مأخذ:**

با بررسی نتیجه‌ی آزمایش‌ها، می‌توان به کاهش محسوس BOD و COD نهایی در پساب خروجی پی برد، به‌گونه‌ای که در میانگین سه‌ماهه تابستان ۱۳۹۳ بعد از راه‌اندازی سیستم هوادهی عمقی شاهدBOD_{avg} =37 و COD_{avg} =54خواهیم بود.

ج. (Mehravaran et al.,2014)با انجام پژوهشی کمی – آزمایشگاهی سیستم هوادهی عمقی را تأمین‌کننده نرخ هوادهی موردنیاز در طول حوض هوادهی از طریق شیرهای کنترل مربوطه می‌داند که این امر موجب بهره‌برداری بهتر و همچنین جلوگیری از اتلاف انرژی می‌شود. عبور فاضلاب از داخل حوض هوادهی منجر به کاهش بار آلی فاضلاب و کاهش تقاضای اکسیژن شده و کاهش میزان لجن مازاد تولیدی و تولید لجن تثبیت‌شده‌تر کاهش ساعت کارکرد پمپ کاهش مصرف انرژی در کل فرآیند را در پی دارد.

د.(Eyvaz zadeh et al., 2013) با بررسی راندمان تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک اکباتان بر اثر ارتقاء به سیستم A_2/O و تغییر نوع هواده‌ها از میکسر های هوادهی سطحی به دیفیوزر های دیسکی از نوع Fine Bubble که در کف تانک کارگذاری شده بود شاهد افزایش راندمان ۵۵ درصدی در کاهش شاخص حجمی لجن SVI بودند.

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر که با تحلیل سؤالات صورت‌بندی شده در جهت آشناسازی نیروی انسانی شاغل در صنعت آب کشور با عملکرد هواده‌های عمقی به عنوان جایگزین هواده‌های سطحی در فرآیند لاگون هوادهی، انجام‌گرفته با معرفی انواع سیستم‌های هوادهی و فرایندهای تصفیه پساب و همچنین مزایای بین هوادهی عمقی نسبت به سطحی، با توجه به نتایج حاصل از پژوهش‌های پژوهشگران در این راستا به بررسی کارایی و عملکرد این دو نوع هوادهی پرداخته‌شده است. از جمع بندی نتایج مذکور می‌توان مزایای زیر را برای هواده‌های عمقی نسبت به هواده‌های سطحی برشمرد:

- .بهینه‌سازی مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب
- .کاهش شاخص حجمی لجن (SVI)
- .ارتقاء کیفیت پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب با سیستم هوادهی عمقی
- .کاهش بوی تولیدی توسط واحدهای فرآیند تصفیه‌خانه
- .امکان تبدیل فرآیند لجن فعال با هوادهی گسترده یا لجن فعال متعارف به سیستم یا فرآیند لجن فعال تنزلی[1]
- .امکان کاهش لجن مازاد تولیدی و تولید لجن تثبیت‌شده‌تر نسبت به لجن تولیدشده در هوادهی سطحی
- .بهینه‌سازی و افزایش کارایی تصفیه‌خانه در حذف و رساندن پارامترهای آلودگی فاضلاب به حد استاندارد (کاهش مقدار میزان اکسیژن مصرفی در واحد هوادهی (BOD[2]) و اکسیژن خواهی شیمیایی (COD[3]) در تصفیه فاضلاب)
- .افزایش بهداشت محیط درنتیجه عدم اسپری فاضلاب در هوا
- .عدم کاهش راندمان فرآیند لجن فعال در فصول سرد سال

این جمع بندی با نتایج پژوهش صادقی و همکاران (۲۰۱۱) نیز هم‌خوانی داشته است. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان اثرگذاری روش‌های عمقی هوادهی در فرایند لاگون‌های هوادهی را در افزایش راندمان شاخص‌های گوناگون سنجش آلودگی پساب شاهد بود و در همین راستا مزایای دیگری ازجمله کاهش هزینه‌های تصفیه و نیز مصرف انرژی به‌وضوح مشاهده نمود.

1. Tapered
2 .Biological Oxygen Demand
3 .Chemical Oxygen Demand

References

Ahmed, A. (1974). Aeration by plunging liquid jet. Ph.D. Thesis, University of Loughborough, (unpubl).

Akbari,M., Azizi, M. & Hanteh,M.(2016). Improve the quality of effluent of waste water treatment plant by deep aeration system.*Conference on Environmental Science, Engineering & Technologies*. [In Persian]

Asgari,G,.Rahmani,A,.Dehghanian,A. & Soltanian,A.(2014). Choose the optimal process waste water treatment in dairy products factories by using Analytical Hierarchy process,*Iranian journal of Health and Environmental*, (7)1,43-54. [In Persian]

Ashegh Moalla, M., Mohammadi Fazel, A. & Homami, M. (2014). The role of Assimilative capacity of the river in determination of limit parameters of Effluent quality, *Journal of Environmental Science and Engineering*, 1(4), 37-49. [In Persian].

Baroot Koob,M. & Morovati Sharif Abadi,.A. (2015). The role of employee empowerment in Increase Productivity. The case study of Yazd University Staff. *Journal of management development of human resources and support*, 33, 77-98. [In Persian]

Booth, M. G. & Tramontini, E. (1983) thermophilic sludge digestion using oxygen and air. Paper 15, Conference on Stabilization and Disinfection of Sewage Sludge, University of Manchester Institute of Science and Technology, April 1983.

Bruxelmane, M. (1981) Aeration and agitation of biochemical reactors. Translation 523, *National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe, of: Revue des Fermentations ET des Industries Aliment Aire*s, 36(2), 35-53.

Burgess, J. M., Molloy, N. A. (1973). Gas absorption in the plunging liquid jet reactor. Chemical Engineering Science, 28(1), 183-190.

Connor, P. (1980). Latest developments in oxygenation. Symposium on the Profitable Aeration of Waste Water, London, British Hydromechanics Research Association, Cranfield.

Cumby, T. R. (1983). Studies on a horizontal pipeline aerator for the treatment of piggery wastes. Dissertation for the Certificate of Postgraduate Study, Trinity College, University of Cambridge, June 1983 (unpubl.)

Cumby, T.R., (1987). A review of slurry aeration 3. Performance of aerators. *J. Agric. Eng. Res*., 36, 175-206.

Doustar, M., Malek Akhlagh, E. & Aref Eshghi, H. (2014). The effect of Social capital on human performance (Case Study: Bank of Industry and Mine, Tehran Province) , the first National Conference of futures research, management and development, New Education Development Center of Iran (METANA).

Doyle, M. L.; Boyle, W. C., Rooney, T. & Huibregtse, G. L. (1983). Pilot plant determination of oxygen transfer in fine bubble aeration. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 55(12), 1435.

Eckenfelder, W. W. Jr. & Ford, D. L. (1968). New concepts in oxygen transfer and aeration. In: Advances in Water Quality Improvement (Gloyna, E. F.; Eckenfelder, W. W. Jr, eds). University of Texas Press, P. 215

Eyvaz Zadeh,E., Ehteshami,S.M. & Vaziri Lehagh,K. (2014). Evaluation of efficiency of the EKBATAN waste water treatment plant by improving treatment to A2/O system. The first Conference and Exhibition on Environmental,Energy & Clean Industry. [In Persian]

Fardanesh,H and Karami,M. (2009). Identify appropriate instructional design models for industrial training.*Periodical Curriculum studies* 2(8), 106-131. [In Persian]

Ghasemi,S.A. & Danesh,S.(2013). Waste Stabilization Ponds and Aerated Lagoons Performance in Removal of Wastewater Indicator Microorganisms, *Journal of Water and Wastewater,* 2, 53-61. [In Persian]

Hashemi, S. H. & Aminzad, S.(2012). The challenges facing human resources development and solution to overcome it, *Business and Society*,136, 4-21. [In Persian]

Hauxwell, G. D. (1972). Pool absorption of gas entrained by a plunging liquid jet. Ph.D. Dissertation, Oregon State University, Corvallis.

Heduit, A. & Racault, T. (1983). Essais d'aerateurs: enseignements tires de 500 essais en eau claire effectues dans 200 stations d'epuration differentes-11 Resultats. [Tests on aerators: conclusions drawn from 500 clean water tests conducted in 200 different sewage treatment plants-II Data interpretation.] *Water Research*, 17(3), 289.

Hobson, P. N. & Robertson, A. M. (1977). Waste Treatment in Agriculture. Barking: Applied Science Publishers.

Huang, J. Y. C. & Mandt, M. G. (1972). Jet aeration theory and application. 27th Industrial Waste Conference, Part I, Purdue University, 604-610.

Imhoff, K. (1969). Taschenbuch der Stadten Wasserung. [Pocket book of municipal drainage.] 22nd Edition, Munich.

King, R., Yeung, H. C., Norris, P. E. E. & Rendell, M. J. (1980). The development and site testing of an aerator. Paper 4, Symposium on the Profitable Aeration of Waste Water, London, April 1980, British Hydromechanic Research Association, Cranfield.

Knop, E., Kalbskopf, K. H. (1969), Energy and hydraulic tests on mechanical aeration systems. In: Advances in Water Pollution Research, Proceedings of the Fourth International Conference, Prague, 1969 (Jenkins, S. H., ed.). Oxford: Pergamon Press, P. 497.

Li, X., W. Zheng and W. R. Kelly (2013). Occurrence and removal of pharmaceutical and hormone contaminants in rural wastewater treatment lagoons. *Science of The Total Environment,* 445–446 (0),22-28.

Mehravaran,B. & Esmaili,K. (2014). A New Approach to Reducing Water Odor and Taste in Kardeh Dam Using a hybrid ultrasonic, super aerator and absorption system Case study: Mashhad Water Treatment Plant, 1(1), *Journal of Water & Sustainable Development*, (2)1, 23-28. [In Persian]

Pasveer, A. (1953). Research on activated sludge. II Experiments with brush aeration. *Sewage and Industrial Wastes*, 25(12), 1397.

Pasveer, A. (1960). New developments on the application of Kessener brushes in activated sludge treatment. In: Treatment of Trade Waste Waters. Oxford: Pergamon Press.

Rashidirad, H. (2012), Determining organizational requirements for enabling commanders and managers of police, *Journal of Inspection,* 6(20), 81-108. [In Persian]

Raoufi,N. & Taleb Bidokhti,A. (2013). The role of human resource empowerment in organizational change.The First National Conference on Management, Accounting and Industrial Engineering in Organizations. [In Persian]

Sadeghi,A., Sadeghi,N., Sayyad Zadeh,M.E. & Taheri Asl,M.T. (2012). Optimization of energy consumption In waste water treatment plant.8th National Conference of energy,Tehran,The National Committee of energy Islamic Republic of Iran. [In Persian]

Simons, D. I.; Jones, D. D.; Dale, A. C. (1974) Oxidation ditch system analysis and field evaluation of the Aerob-A-Jet. Proceedings of the Cornell Agriculture Waste Management Conference. Publisher: Cornell University, P. 436.

Sittig, W. (1982) The present state of fermentation reactors. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 32(1), 47.

Stenstrom, M. K.; Gilbert, R. G. (1981) Effects of alpha, beta and theta factor upon the design, *specification and operation of aeration systems. Water Research*, lS(6), 643.

Sub-surface aerator/mixing units. (1982). *Water Services*, 86(1041), 549.

Thaer, R., Ahlers, R., Grabbe, K. (1973). Investigation of the process and exchanges in the fermentation of liquid cattle manure at high temperatures. Translation 364, *National Institute of Agricultural Engineering, Silsoe. of: Landboauforschung Volkenrode*, 23(2), 117-126.

Thaer, R. (1978). Problems of the aerobic treatment of animal waste in the liquid phase. *Grundlagen der Landtechnik*, 28(2): 36-47

Van de Sande, E. (1974) Air entrainment by plunging water jets. Ph.D. Dissertation, Technische Hogeschool Delft.

Vasseur, J.; Laigneau, E. (1975) Desodorisation du lisier-etude comparative de trois mtthodes de stockage a&e. [Abating slurry odours-comparative study of three methods of aerated tt rr gg].] Cnntre Ntt iolll d‘ttt sss et d‘CxCGrii ttt tt inn de Maiii niss e Agrilll e, May 1975, Etude no. 403

Von der Emde, W. (1968) Aeration developments in Europe. In: Advances in Water Quality Improvement (Gloyna, E. F.; Eckenfelder, W. W. Jr, eds). University of Texas Press, P. 237

Wheatland, A. B., Borne, B. J. (1970). Treatment, use and disposal of wastes from modern agriculture. *Water Pollution and Control*, 69(2), 195-208.

Wong-Chong, G. M., Anthonisen, A. C., Loehr, R. C. (1973). Comparison of the conventional cage rotor and Jet-Aero-Mix systems in oxidation ditch operations, 28th Industrial Waste Conference, West Lafayette, Indiana.

Zlokarnik, M. (1983). Bioengineering aspects of aerobic waste water purification developments and trends. *German Chemical Engineering*, 6, 183-197.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی