

## تعیین انرژی الکتریکی مصرفی در فرایندهای مختلف تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیرآباد با رویکرد مقدار حذف COD

سحر ثقفی<sup>۱</sup>، ناصر مهرداد<sup>۲\*</sup>، غلامرضا نبی بیدهندی<sup>۳</sup>، حسن امینی راد<sup>۴</sup>

saghafi320@yahoo.com

۱. دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲. استاد دانشکده مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

ghhendi@ut.ac.ir

۳. استاد دانشکده مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

h.a.rad@nit.ac.ir

۴. استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۱۱/۲۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۷/۲۶

### چکیده

در این تحقیق تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد از لحاظ مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفت، این تصفیه خانه با ترکیب سیستم بی‌هوازی UABR و هوازی IFAS فعالیت می‌کند، به منظور ارزیابی میزان انرژی الکتریکی تصفیه خانه، قبض برق مصرفی در ماه‌های مختلف سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ مورد بررسی قرار گرفت و متوسط انرژی الکتریکی مصرفی روزانه به ازای یک متر مکعب فاضلاب ورودی در این سال‌ها محاسبه شد که به ترتیب ۹/۴۲ و ۹/۷۳ بوده است، از طرفی تجهیزات الکترومکانیکی تصفیه خانه در هر واحد به صورت مجزا ارزیابی شد و انرژی الکتریکی روزانه مؤثر یعنی انرژی که در عمل تصفیه بهره‌برداری می‌شد Kwh ۵/۶ به دست آمد، میزان انرژی غیر مؤثر در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ازای یک متر مکعب فاضلاب ورودی روزانه ۳/۸۲ و ۴/۱۳ بوده است، میزان انرژی الکتریکی به ازای یک کیلوگرم COD حذفی برای سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ محاسبه گردید که به ترتیب ۲/۶۸ Kwh و ۲/۵ Kwh به دست آمد. در نهایت این نتیجه حاصل شد که مدیریت مصرف انرژی در تصفیه خانه نصیرآباد به درستی صورت نمی‌گیرد، با توجه به اهمیت بحث انرژی و افزایش قیمت‌ها و کاهش منابع تولید انرژی باید اقدامات مدیریتی مؤثری جهت کاهش مصرف انرژی در تصفیه خانه‌های فاضلاب صورت پذیرد همچنین متخصصان و طراحان تصفیه خانه‌های آب و فاضلاب باید در طرح‌های پیشنهادی خود برای اجرای تصفیه خانه‌ها به انرژی بر بودن فرایندها همراه با کارایی مناسب بیشتر توجه نمایند.

### کلیدواژه

فاضلاب صنعتی، مصرف انرژی الکتریکی، COD

### ۱. سرآغاز

فاضلاب جزء دسته تجهیزات انرژی بر محسوب می‌شوند، اکثر سیستم‌های تصفیه فاضلاب از انرژی الکتریکی بهره‌مند می‌شوند و الکتریسیته یکی از بزرگ‌ترین هزینه‌ها در بهره‌برداری تصفیه‌خانه‌ها است، به گونه‌ای که ۴۰-۲۵٪ درصد از هزینه بهره‌برداری و راهبری فرآیند تصفیه فاضلاب در تصفیه‌خانه‌ها مربوط به بخش تأمین انرژی است بنابراین انرژی به عنوان یک فاکتور مهم در بخش

در صنعت فاضلاب توجه عمومی بیشتر بر استاندارد کیفیت پساب خروجی معطوف شده است تصفیه‌خانه‌ها بدون توجه به مصرف انرژی طراحی می‌شوند و طراحی آن‌ها بیشتر بر پایه تجربه و انتقال مطالب صورت می‌پذیرد تا بر اساس روش‌های بهینه و آخرین و جدیدترین یافته‌های علمی (Metcalf, et al., 2003). تصفیه‌خانه‌های

تعرفه انرژی الکتریکی بحث مدیریت مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه‌خانه‌ها بیشتر مورد توجه قرار گرفته است بنابراین طراحی سیستم های تصفیه فاضلاب باید با رویکرد مصرف انرژی الکتریکی کمتر همراه با راندمان مناسب صورت پذیرد. تحقیقی در سال ۲۰۱۲ در کشور سوئد توسط آماند و همکاران انجام شد که در آن کنترل هوادهی به منظور به حداقل رساندن انرژی الکتریکی مصرفی در تصفیه خانه فاضلاب با روش لجن فعال بررسی گردید و این نتیجه حاصل شد که میزان اکسیژن محلول کارایی فرایند هوادهی و به همان اندازه نتایج حاصل از تصفیه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه خانه های فاضلاب وابسته به میزان مصرف هوا و در نتیجه میزان مصرف اکسیژن است، میزان مصرف اکسیژن در سیستم لجن فعال با تغییر غلظت آمونیوم یا آمونیاک در فاضلاب ورودی تغییر یافت به طوری که با کاهش آمونیوم در فاضلاب ورودی نرخ جریان هوا و در نتیجه نرخ مصرف اکسیژن و میزان انرژی الکتریکی کاهش یافت (Amand, et al., 2012). مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۱ در کشور اسپانیا توسط هرناندز سانچو و همکاران انجام پذیرفت و عوامل تأثیرگذار در میزان انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه‌خانه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که مقدار متوسط انرژی الکتریکی مصرفی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به پارامترهای کیفی ورودی، تکنولوژی تصفیه، کیفیت پساب خروجی و سایز تصفیه خانه وابسته است، میزان انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه‌خانه‌های کوچک‌تر نسبت به تصفیه‌خانه‌های بزرگ‌تر به ازای واحد سطح بیشتر بوده است (Hernandez, et al., 2011) در پژوهشی که توسط دیسکویینز و همکاران در سال ۲۰۱۲ انجام پذیرفت مصرف انرژی الکتریکی به صورت مجزا برای واحدهای تصفیه خانه ای بررسی شد و یک رابطه کامل بین فعالیت بیولوژیکی و تقاضای الکتریسیته ایجاد گردید، همچنین تأثیر راندمان ته نشینی اولیه بر روی انرژی الکتریکی مصرفی به دست

هزینه‌های تصفیه خانه مطرح است (Rojas, et al., 2012). این امر سبب گردیده است که طراحان روش های نوین تصفیه فاضلاب، هدف اصلی خود را در طراحی کاهش مصرف انرژی قرار دهند (Zhang, et al., 2012). در مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۰ توسط مالکوم و همکاران انجام شد، نشان داده شده است که ۵۰ تا ۶۰ درصد از انرژی مصرفی در تصفیه خانه‌های فاضلاب مربوط به فرایند هوادهی می‌باشد. امروزه با توجه به افزایش جمعیت و افزایش تکنولوژی و صنایع، میزان آلودگی هایی که باید مورد تصفیه قرار گیرد بیشتر شده و از طرفی استانداردهای زیست محیطی برای کیفیت پساب خروجی و استفاده مجدد پساب برای کاربری های مختلف سخت گیرانه تر شده است، موارد ذکر شده باعث افزایش مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌شوند. در نتیجه بهینه‌سازی مصرف انرژی و کارا بودن طرح تصفیه خانه و تجهیزات و تکنولوژی های مورد بهره‌برداری امری ضروری به نظر می‌رسد و فرایندهای بازیافت انرژی و مدیریت درست هزینه‌های انرژی مصرفی در زمینه آب و فاضلاب باید بیشتر مورد توجه قرار گیرد، زیرا بالارفتن کارایی و بهره‌وری انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به معنی مصرف انرژی کمتر، تولید گازهای گلخانه‌ای کمتر و کمتر شدن هزینه‌های بهره‌برداری در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است ((Malcolm, et al., 2010). بر اساس مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۳ توسط کوسیاک و همکاران انجام شد، مشخص شده است که حدود ۲ تا ۴ درصد از الکتریسیته کل در جامعه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مصرف می‌شود، با توجه به نیازهای زیست محیطی و افزایش جمعیت در سال‌های آینده نیاز به انرژی الکتریکی افزایش می‌یابد بنابراین باید برنامه‌ای برای ذخیره انرژی در نظر گرفته شود (Kusiak, et al., 2013). با توجه به موارد ذکر شده به نظر می‌رسد که میزان مصرف انرژی الکتریکی یک پارامتر مهم در تعیین کارایی مطلوب تصفیه‌خانه‌ها باشد، همچنین با توجه به حذف یارانه انرژی در صنعت و گران شدن

و تصفیه لجن بهره‌بردار می‌شود و از آن انرژی الکتریکی استخراج شود تصفیه‌خانه‌ها تا اندازه زیادی در بحث انرژی مستقل می‌شوند (Ylmaz, et al., 2013).

در این تحقیق تصفیه‌خانه شهرک صنعتی نصیر آباد با ۲۲۰ واحد صنعتی فعال مورد بررسی قرار گرفت، این تصفیه‌خانه با ترکیب سیستم بی‌هوازی UABR و هوازی IFAS فعالیت می‌کند. سیستم UABR شامل راکتورهای است که در آن‌ها ردیف‌هایی از بافل‌ها قرار گرفته‌اند، این بافل‌ها سبب حرکت جریان فاضلاب از بالا و پایین می‌گردند باکتری‌های موجود در راکتورها بر اساس خصوصیات رفتاری جریان ممکن است معلق مانده یا ته‌نشین شوند (Wang, et al., 2004). IFAS سیستم ترکیبی لجن فعال با رشد چسبیده ثابت همراه با برگشت لجن است، در سیستم‌های IFAS توده‌های زیستی معلق و متصل، به صورت مؤثری هم‌زمان به کار گرفته می‌شوند. سیستم‌های IFAS مزایای گسترده‌تری را نسبت به فرایندهای متداول لجن فعال دارا هستند، این دستگاه‌ها نسبت به شوک بارگذاری آلی و هیدرولیکی مقاومت بیشتری را دارند که به دلیل تعبیه مدیاهای رشد چسبیده در درون حوضچه هوادهی می‌باشد (مردان و همکاران، ۱۳۸۶).

هدف از این پژوهش تعیین انرژی الکتریکی مصرفی در فرایندهای مختلف تصفیه‌خانه فاضلاب صنعتی است به این ترتیب گزینه‌های انرژی بر تصفیه‌خانه مشخص شد و میزان انرژی الکتریکی مصرفی برای حذف یک کیلوگرم COD محاسبه گردید. بحث مصرف انرژی الکتریکی برای اولین بار در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهرک‌های صنعتی ایران مطرح شده است و با توجه به نتایج حاصل از این تحقیق و نتایج حاصل از تحقیقات دیگری که در زمینه مصرف انرژی الکتریکی و شاخص بهره‌وری انرژی الکتریکی در تصفیه‌خانه‌های شهرک‌های صنعتی توسط نویسنده مقاله صورت گرفته است می‌توان در طراحی تصفیه‌خانه‌ها عامل انرژی الکتریکی مصرفی را به عنوان یک فاکتور مؤثر در نظر گرفت و با صرفه جویی در مصرف

آمد و برگشت آمونیاک از هاضم بی‌هوازی به لجن فعال به‌عنوان یک عامل محدود کننده برای کارایی مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه‌خانه معرفی شد (Descoins, et al., 2012). در مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۳ توسط چا و همکاران برای بهینه کردن پمپ‌ها و هوادهی در تصفیه‌خانه‌ها انجام شده است و این نتیجه حاصل شد که قسمت‌های اصلی انرژی بر در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ایستگاه‌های پمپاژ و فرایند هوادهی هستند که حدود ۲۲٪ انرژی الکتریکی توسط ایستگاه پمپاژ مصرف شد و هوادهی در فرایند لجن فعال حدود ۴۲٪ از انرژی الکتریکی را به خود اختصاص داد، بنابراین برای کاهش مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بهبود فعالیت پمپ‌ها و بهینه‌سازی فرایند هوادهی بسیار حائز اهمیت است (Chae, et al., 2013). با توجه به اهمیت بحث انرژی و افزایش قیمت‌ها و کاهش منابع تولید انرژی باید اقدامات مدیریتی مؤثری جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صورت پذیرد (Molinis-Senante, et al., 2013). بنابراین باید بحث اهمیت هوادهی درست و بهینه کردن فعالیت پمپ‌ها و بلوئر‌ها در حوضچه‌های هوادهی و مدیریت و کاهش لجن تولیدی بیشتر مورد توجه قرار گیرد، با بهره‌برداری درست از واحد هوادهی و مدیریت صحیح و بهره‌گیری از فرایندهایی همچون استفاده از امواج اولتراسونیک و پخش آن در فاضلاب می‌توان ساختار شیمیایی و اندازه ذرات مواد آلی موجود در آن را تغییر داد و این تغییر باعث افزایش سرعت فرایند تصفیه بیولوژیکی شده و درجه تصفیه فاضلاب را بیشتر می‌کند (مهردادی و همکاران، ۱۳۹۱)، به این ترتیب می‌توان به میزان زیادی در هوادهی و مصرف انرژی الکتریکی صرفه جویی نمود. همچنین با استفاده از این امواج می‌توان به مقدار زیادی میزان لجن مازاد را کاهش داد (مهردادی و همکاران، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) و در نتیجه در تصفیه‌خانه از انرژی الکتریکی کمتری جهت تأسیسات لجن استفاده نمود. اگر تصفیه‌خانه‌ها به گونه‌ای عمل کنند که از انرژی تولیدی در بخش بی‌هوازی

انرژی الکتریکی تا حد زیادی از لحاظ اقتصادی نیز صرفه‌جویی نمود.

### مواد و روش بررسی

این مطالعه با روش آماری و جمع‌آوری داده‌ها از طریق مشاهدات و بررسی میدانی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک های صنعتی نصیر آباد تهران انجام شد. طرح شماتیک تصفیه‌خانه نصیر آباد در شکل ۱ نشان داده شده است جریان فاضلاب بعد از عبور از واحد متعادل ساز در دو خط موازی وارد حوضچه‌های تصفیه بی‌هوازی UABR شده و خروجی حوضچه‌های بی‌هوازی وارد حوضچه‌های تصفیه هوازی IFAS می‌شود، مرحله اول حوضچه‌های هوازی رشد چسبیده و مرحله دوم رشد معلق است، جریان فاضلاب پس از عبور از واحد ته‌نشینی در نهایت از واحد کلرزنی عبور کرده و وارد محیط پذیرنده می‌شود. کلیه عملیات نمونه‌برداری و آزمایش‌ها بر اساس رهنمودهای موجود در کتاب روش‌های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام گرفت (Eaton, et al., 2005). تجزیه و تحلیل داده‌ها از طریق رسم نمودارها و جداول در نرم افزار Excel انجام پذیرفت، به منظور بررسی مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه‌خانه شهرک صنعتی نصیر آباد قبض برق تصفیه‌خانه در ماه‌های مختلف سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ تهیه و مورد ارزیابی قرار گرفت. مصرف انرژی در ساعات مختلف شبانه روز متفاوت است از طرفی انرژی الکتریکی در قبض برق مصرفی به سه گروه ساعات اوج باری و میان باری و کم باری تقسیم می‌شوند، بر اساس جدول ساعات پیک بار که توسط شرکت توزیع برق استان تهران تنظیم شده است، در شبانه روز ۱۲ ساعت جزء ساعات میان‌باری و ۶ ساعت جز کم باری و ۶ ساعت نیز جزء اوج باری محسوب می‌شود که در فصل‌های مختلف سال ساعات شروع و پایان هر گروه از آن‌ها متفاوت است. انرژی الکتریکی مصرفی مربوط به هر گروه (اوج باری، میان باری، کم باری) در ساعات

مربوطه ضرب شد و حاصل جمع آن به عنوان انرژی الکتریکی مصرفی دوره مربوطه محسوب گردید، انرژی الکتریکی مصرفی هر دوره در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در جدول ۱ و ۲ آمده است. با توجه به متفاوت بودن دوره‌های اندازه‌گیری برای به دست آوردن انرژی متوسط مصرفی ماهانه از میانگین وزنی داده‌ها که در معادله ۱ نشان داده شده، استفاده شده است.

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} E_i T_i}{\sum_{i=1}^{i=n} T_i} \quad (1)$$

$E_m$  انرژی الکتریکی متوسط ماهانه است و  $E_i$  انرژی الکتریکی مربوط به یک دوره و  $T_i$  تعداد روزهای دوره است. نتایج در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. انرژی الکتریکی که از طریق قبض مصرفی به دست می‌آید شامل انرژی الکتریکی مورد استفاده در واحدهای تصفیه‌خانه، روشنایی، اتاق کنترل، آزمایشگاه و بخش اداری است در این تحقیق انرژی که در واحدهای تصفیه‌خانه استفاده می‌شود انرژی مؤثر و آن قسمت از انرژی که در خارج از واحدهای تصفیه‌خانه استفاده می‌شود انرژی غیر مؤثر می‌نامیم، برای مشخص شدن دقیق انرژی مصرفی در واحدهای تصفیه‌خانه یعنی همان انرژی مؤثر و تعیین انرژی غیر مؤثر نیاز به این داریم که تجهیزات الکترومکانیکی واحدهای تصفیه‌خانه را مورد بررسی قرار دهیم؛ بنابراین بررسی میدانی از تصفیه‌خانه شهرک صنعتی نصیر آباد صورت پذیرفت و فرایندهای مختلف تصفیه بررسی شد، تصفیه‌خانه شامل آشغال‌گیر، ایستگاه پمپاژ، دانه‌گیر و چربی‌گیر، متعادل‌ساز، واحد بی‌هوازی، واحد هوازی، واحد گندزدایی، فیلتر شنی تحت فشار، واحد ذخیره لجن و فیلتر پرس می‌باشد، هر کدام از واحدهای تصفیه‌خانه از ایستگاه پمپاژ تا واحد فیلتر پرس با اعداد ۱ تا ۸ مشخص شده است که در جدول ۳ آمده است. از طریق بازدید صورت گرفته اطلاعات کامل از تجهیزات این واحدها که شامل تعداد پمپ‌ها و موتورهای که در واحدهای مختلف استفاده شده و قدرت و ساعات کاری آن‌ها، به دست آمد. انرژی الکتریکی مصرفی توسط

تصفیه خانه برای حذف یک کیلوگرم COD، COD ورودی و خروجی تصفیه خانه بر حسب mg/lit اندازه گیری شد، دبی متوسط ورودی بر حسب m<sup>3</sup>/day در نظر گرفته شد و میزان COD حذفی بر حسب Kg/day به دست آمد و با توجه به این که انرژی مؤثر تصفیه خانه بر حسب Kwh/m<sup>3</sup> است در نهایت میزان انرژی برای حذف ۱ کیلوگرم COD بر حسب Kwh محاسبه شد.

تجهیزات هر بخش با معادله ۲ تخمین زده می شود؛ که نتایج در شکل ۲ آمده است.

$$E = \frac{P * T}{Q} \quad (2)$$

E انرژی الکتریکی بر حسب Kwh/m<sup>3</sup> است و توان الکتریکی پمپ یا موتور بر حسب KW و زمان بهره برداری از پمپ یا موتور بر حسب h/day و مقدار کل فاضلاب ورودی بر حسب m<sup>3</sup>/day محاسبه می شود. (Singh, et al., 2012) برای تعیین میزان انرژی الکتریکی مورد استفاده در



شکل ۱. طرح شماتیک تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیرآباد

جدول ۱. میزان انرژی الکتریکی مصرفی در سال ۱۳۹۱

تاریخ	تعداد روزهای دوره	میزان انرژی الکتریکی مصرفی kwh
۱۳۹۱/۳	۳۰	۱۶۸۸۰۰
۱۳۹۱/۴	۳۰	۲۱۲۸۰
۱۳۹۱/۵	۲۹	۱۴۳۵۲۰
۱۳۹۱/۶	۳۴	۲۹۷۱۲۰
۱۳۹۱/۷	۳۲	۲۶۰۱۶۰
۱۳۹۱/۸	۲۷	۱۵۹۲۰۰
۱۳۹۱/۹	۲۳	۱۱۷۱۲۰
۱۳۹۱/۱۰	۳۵	۱۲۷۵۲۰
۱۳۹۱/۱۱	۲۶	۲۷۷۴۴۰
۱۳۹۱/۱۲	۲۵	۱۶۱۹۲۰
متوسط انرژی مصرفی روزانه		۵۸۴۹/۲
متوسط انرژی مصرفی روزانه به ازای یک مترمکعب فاضلاب ورودی		۹/۴۳

جدول ۲. میزان انرژی الکتریکی مصرفی در سال ۱۳۹۲

تاریخ	تعداد روزهای دوره	میزان انرژی الکتریکی مصرفی kwh
۱۳۹۲/۱	۲۴	۳۶۸۸۰۰
۱۳۹۲/۲	۲۵	۱۶۵۴۴۰
۱۳۹۲/۳	۲۶	۱۶۶۷۲۰
۱۳۹۲/۴	۲۸	۱۶۷۶۰۰
۱۳۹۲/۵	۲۷	۱۱۲۰۸۰
۱۳۹۲/۶	۳۰	۱۴۵۶۰۰
۱۳۹۲/۷	۲۹	۲۲۲۲۰۰
۱۳۹۲/۸	۲۸	۱۲۲۴۸۰
متوسط انرژی مصرفی روزانه		۶۰۳۴/۱
متوسط انرژی مصرفی روزانه به ازای یک مترمکعب فاضلاب ورودی		۹/۷۳

جدول ۳- تجهیزات الکترومکانیکی موجود در تصفیه خانه نصیر آباد

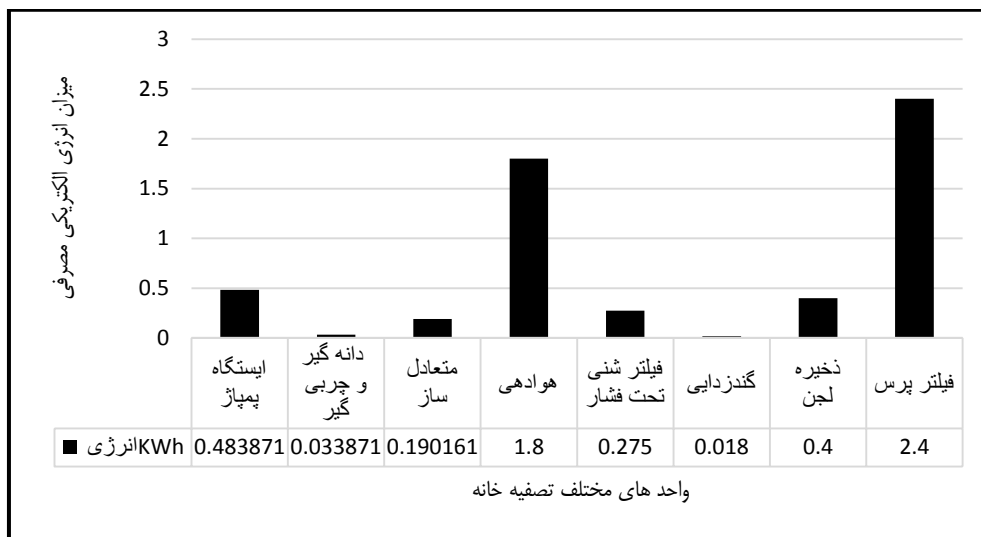
نام واحد	تعداد واحد	نوع تجهیزات	تعداد تجهیزات	قدرت KW	ساعت کار h/day
۱- ایستگاه پمپاژ	۱	پمپ	۲	۱۰	۱۲
۲- دانه گیر و چربی گیر	۱	پمپ	۱	۱/۲	۱۴
۳- متعادل ساز	۱	پمپ	۲	۳/۸	۱۲
		همزن تزریق	۱	۰/۱۸	۱۲
		پمپ تزریق	۱	۰/۱۲	۸
۴- هوادهی	۶	موتور بلوئر	۳	۴۵	۸
۵- فیلتر شنی تحت فشار	۲	پمپ	۲	۵/۵	۶
۶- گندزدایی	۲	پمپ تزریق	۱	۰/۱۸	۸
		همزن تزریق	۱	۰/۱۸	۸
۷- ذخیره لجن	۲	پمپ	۲	۲/۲	۸
۸- فیلتر پرس	۳	کمپرسور	۳	۴	۸

برای دبی  $620 \text{ m}^3/\text{day}$  انجام شد، انرژی الکتریکی هر واحد بر اساس معادله ۲ محاسبه شده و در شکل ۲ نشان داده شده است. انرژی مصرفی در هر واحد تصفیه خانه برحسب Kwh بیان شده و به ازای یک متر مکعب فاضلاب ورودی می باشد، همچنین در صد انرژی مصرفی واحدهای مختلف تصفیه خانه در شکل ۲ نشان داده شده است.

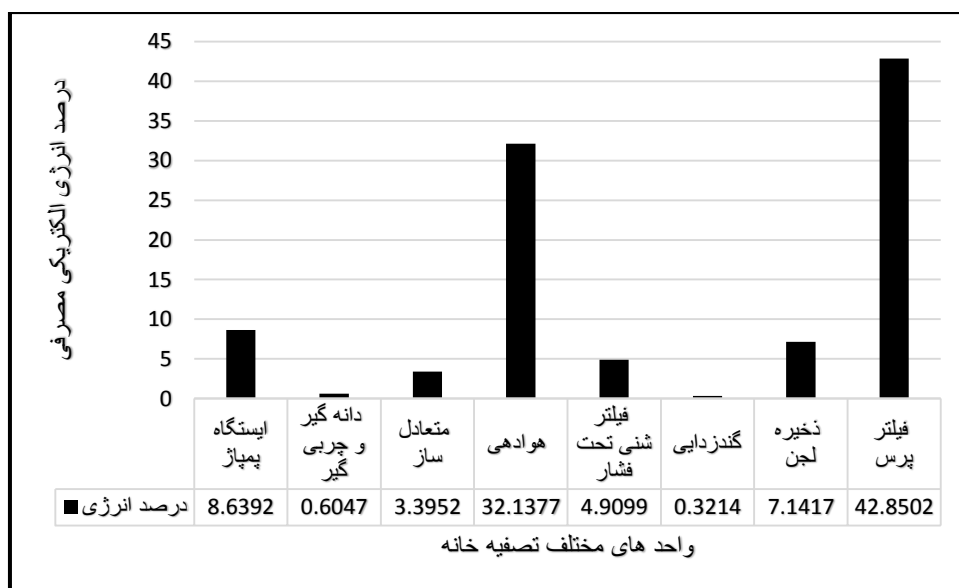
## نتایج

### تخمین انرژی الکتریکی مصرفی واحدهای تصفیه خانه

در تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد میزان متوسط ماهانه فاضلاب ورودی در سال ۱۳۹۲ برابر با  $620 \text{ m}^3/\text{day}$  هست و در سال ۱۳۹۱ برابر با  $630 \text{ m}^3/\text{day}$  است، راندمان پمپ یا موتور نیز ۸۰٪ فرض شده است. البته به دلیل نزدیک شدن اعداد به یکدیگر محاسبه انرژی الکتریکی



شکل ۲. انرژی الکتریکی مصرفی برحسب KWh در واحدهای تصفیه خانه

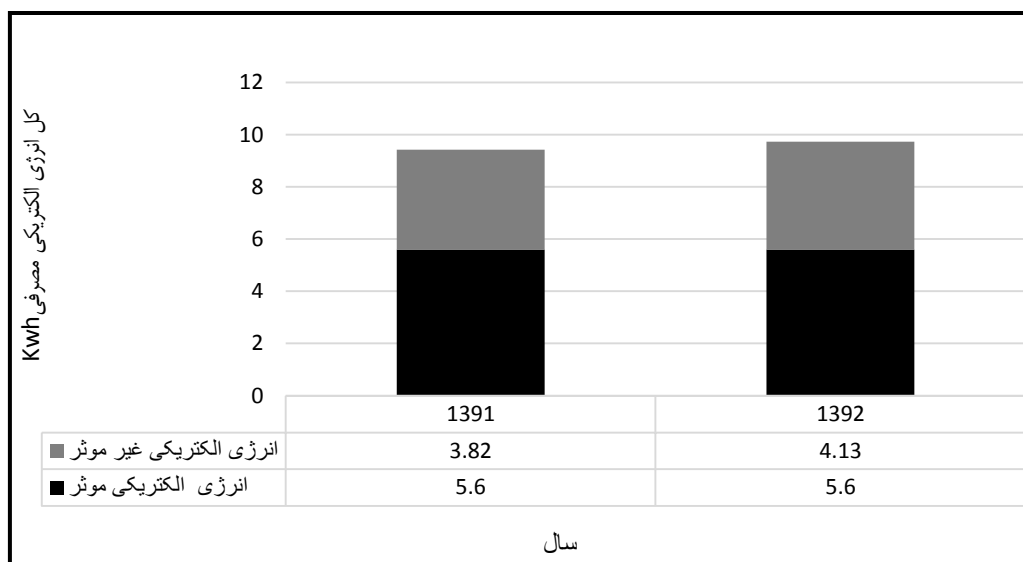


شکل ۳. درصد انرژی الکتریکی مصرفی در واحدهای تصفیه خانه

### تعیین انرژی الکتریکی مصرفی غیر مؤثر در تصفیه خانه

متوسط انرژی الکتریکی مصرفی روزانه به ازای یک مترمکعب فاضلاب ورودی بر اساس قبض برق در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ همان‌طور که در جدول ۱ نشان داده شده است، به ترتیب  $9/43$  و  $9/73$  Kwh می‌باشد و انرژی الکتریکی مصرفی در تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد بر اساس مصرف برق تجهیزات الکتریکی موجود در واحدهای مختلف تصفیه خانه که از طریق معادله ۲ محاسبه شده و در شکل ۱ نشان داده شده است  $5/6$  Kwh به دست آمد که انرژی الکتریکی مؤثر نامیده شد، با توجه به نتایج به دست آمده انرژی الکتریکی مصرفی غیر مؤثر که در واحدهای دیگر تصفیه خانه مثل آزمایشگاه و اتاق کنترل و بخش اداری به کار می‌رود قابل محاسبه است و در شکل ۴ نشان داده شده است.

با توجه به اعداد به دست آمده در شکل ۲ میزان کل انرژی الکتریکی که در واحدهای مختلف تصفیه خانه مصرف می‌شود معادل  $5/6$  Kwh است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود فیلتر پرس و بعد از آن واحد هوادهی که در این تصفیه خانه از تلفیق سیستم لجن فعال با رشد چسبیده (IFAS) استفاده شده است بیشترین سهم انرژی الکتریکی مصرفی را در بین واحدهای تصفیه خانه به خود اختصاص می‌دهند. در شکل ۳ درصد مصرف انرژی الکتریکی این واحدها آمده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود تقریباً  $32\%$  از انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه خانه به هوادهی اختصاص داده شده است و حدود  $43\%$  از انرژی الکتریکی در تأسیسات تصفیه لجن به کار می‌روند و حدود  $25\%$  از انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه خانه در پمپ‌های تصفیه مقدماتی و گندزدایی و سایر قسمت‌ها استفاده می‌شود؛ بنابراین تصفیه لجن و هوادهی به‌عنوان در عامل مهم در مصرف انرژی الکتریکی محسوب می‌شوند.



شکل ۴. انرژی الکتریکی مؤثر و غیر مؤثر در تصفیه خانه فاضلاب شهرک صنعتی نصیر آباد

بوده است، با توجه به انرژی الکتریکی کل مصرفی و میزان انرژی الکتریکی مؤثر مصرفی و غیر مؤثر می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در سال ۱۳۹۱ حدود  $40\%$  و در سال

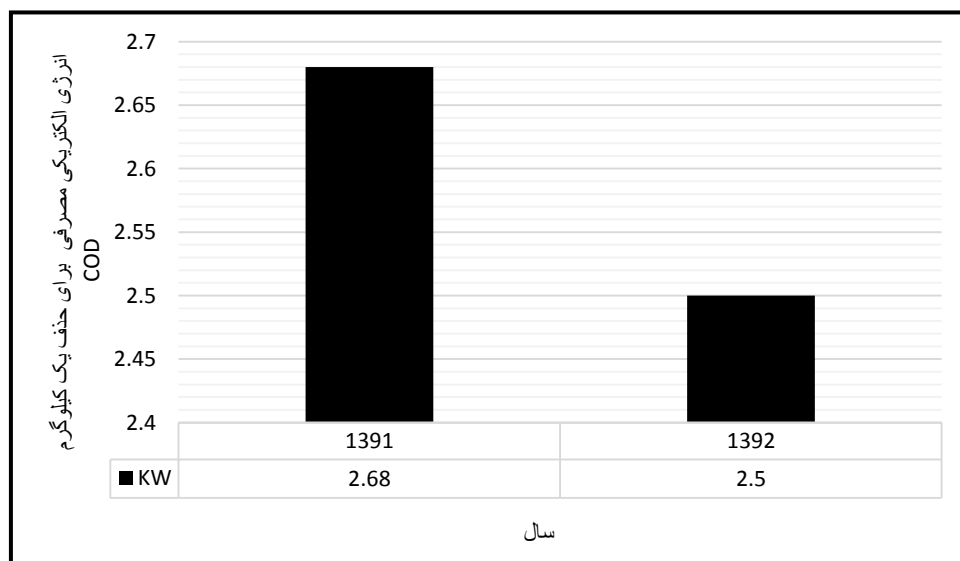
همان‌طور که در شکل ۴ مشخص شده است، میزان انرژی غیر مؤثر در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ازای یک مترمکعب فاضلاب ورودی روزانه  $3/82$  و  $4/13$  Kwh



### تعیین میزان انرژی مؤثر به ازای COD حذفی

میزان متوسط COD ماهانه ورودی به تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد در سال ۱۳۹۱  $2243 \text{ mg/lit}$  بوده است و متوسط COD ماهانه خروجی  $157 \text{ mg/lit}$  است، انرژی الکتریکی مؤثر مصرفی در تصفیه خانه مشخص و دبی متوسط ورودی  $630 \text{ m}^3/\text{day}$  بوده است، در سال ۱۳۹۲ متوسط COD ماهانه ورودی  $2407 \text{ mg/lit}$  و خروجی  $170 \text{ mg/lit}$  است، با توجه به انرژی الکتریکی مؤثر در سال و دبی متوسط ورودی که  $620 \text{ m}^3/\text{day}$  بوده است، میزان انرژی الکتریکی مصرفی برحسب کیلووات به ازای یک کیلوگرم COD حذفی قابل محاسبه است که در شکل ۵ نشان داده شده است.

۱۳۹۲ حدود ۴۲٪ از انرژی الکتریکی کل در تصفیه خانه صرف عوامل غیر از تصفیه در اتاق کنترل، آزمایشگاه، روشنایی و بخش اداری مصرف شده است که همان انرژی الکتریکی غیر مؤثر نام گرفته است، این به آن معنی است که کارایی انرژی الکتریکی در این تصفیه خانه پایین است و مدیریت مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه خانه نصیر آباد به درستی صورت نمی پذیرد. از لحاظ اقتصادی نیز این موضوع بسیار حائز اهمیت است چون هزینه انرژی الکتریکی غیر مؤثر نیز با تعرفه صنعتی حساب می شود، بنابراین با استفاده بهینه از انرژی الکتریکی اتاق کنترل، آزمایشگاه، روشنایی و بخش اداری می توان تا حد زیادی هزینه های انرژی الکتریکی را کاهش داد.



شکل ۵. انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه خانه به ازای کیلوگرم COD حذفی

شده است که در جدول ۴ نشان داده شده است (مردان و همکاران، ۱۳۸۶).

اعداد به دست آمده از تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد که در شکل ۴ نشان داده شده است در مقایسه با اعداد جدول ۴ بسیار بزرگ است که البته اعداد مربوط به جدول ۴ انرژی مصرفی در طراحی سیستم است و مطمئناً در بهره برداری این تصفیه خانه ها انرژی بیشتری مصرف می شود.

همان طور که در شکل ۵ نشان داده شده است میزان انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه خانه به ازای یک کیلوگرم COD حذفی در سال های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ترتیب Kw و  $2/68$  و  $2/5$  به دست آمد. طبق مطالعه ای که در سال ۱۳۸۶ در شرکت شهرک های صنعتی ایران صورت گرفته است انرژی مصرفی به ازای حذف یک کیلوگرم COD در تعدادی از تصفیه خانه های شهرک های صنعتی مشخص

جدول ۴. مقایسه میزان انرژی در تعدادی از تصفیه‌خانه‌های شهرک‌های صنعتی

تصفیه خانه	فرایند	انرژی برحسب وات برای حذف یک کیلوگرم COD
شهرک صنعتی آق قلا	لجن فعال هوادهی گسترده	۴۰
شهرک صنعتی عباس‌آباد	UAFB+IFAS	۱۵
شهرک صنعتی مشهد	UABR+UAFB+SBR	۱۰
شهرک صنعتی سمنان	لاگون های هوادهی	۴۰
شهرک صنعتی ساری	لجن فعال دومرحله‌ای (AB)	۴۲

### بحث و نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج حاصل از تحقیق واحدهای فیلتر پرس و هوادهی با استفاده ۲/۴ و ۱/۸ Kwh بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی را در بین واحدهای تصفیه خانه دارا هستند، واحد فیلتر پرس حدود ۴۳٪ و واحد هوادهی حدود ۳۲٪ از انرژی الکتریکی کل مصرفی در تصفیه خانه را به خود اختصاص می دهند و حدود ۲۵٪ از انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه خانه در پمپ های تصفیه مقدماتی و گندزدایی و سایر قسمت‌ها استفاده می‌شود، در پژوهشی‌ای در سال ۲۰۱۲ در کشور سوئیس شاخص انرژی در تصفیه‌خانه‌ای که با روش لجن فعال به همراه هاضم بی‌هوازی فعالیت می‌کرد مورد بررسی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که ۲۵٪ از کل انرژی در تصفیه خانه توسط پمپ ها و ۷۰٪ از آن توسط کمپرسورهایی که عمل هوادهی را انجام می‌دهند مصرف می‌شود (Descoins, et al., 2012). در پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۳ در کشور اسپانیا بر روی تصفیه خانه‌ای که با روش لجن فعال فعالیت می‌کرد صورت پذیرفت و این نتیجه به دست آمد که ۲۲٪ از انرژی در بخش پمپاژ و ۴۲٪ از کل انرژی در هوادهی مصرف می‌شود (Chae, et al., 2013)، با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق، در صد انرژی الکتریکی مصرفی در واحدهای تصفیه خانه نصیر آباد در مقایسه با تصفیه‌خانه‌های مورد مطالعه اعداد منطقی به نظر می‌رسد.

همچنین در پژوهش دیگری که توسط نویسنده این مقاله در تصفیه خانه آمل انجام پذیرفت واحدهای فیلتر پرس و هوادهی با استفاده ۲/۴ و ۱/۴ Kwh بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی را به خود اختصاص دادند و این مقادیر برابر ۴۹/۷٪ و ۲۹/۲٪ از کل انرژی الکتریکی مصرفی در تصفیه خانه آمل بوده است. تصفیه خانه آمل با تلفیق فرایندهای بی‌هوازی UAFB و هوازی IFAS فعالیت تصفیه را انجام می‌دهد بنابراین میزان انرژی الکتریکی که در واحد هوادهی این تصفیه‌خانه‌ها مصرف می‌شود با یکدیگر قابل مقایسه است. می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که با انجام پژوهش‌های مشابه در تصفیه‌خانه‌های شهرک‌های صنعتی که از سیستم‌های تلفیقی دیگر برای تصفیه فاضلاب استفاده می‌کنند می‌توان میزان انرژی الکتریکی مصرفی واحدهای هوادهی مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد و از نتایج آن برای تقریب انرژی الکتریکی مصرفی در طراحی واحدهای مختلف تصفیه خانه استفاده نمود. میزان انرژی الکتریکی غیر مؤثر که در تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ استفاده شده است به ترتیب ۳/۸۲ و ۴/۱۳ Kwh بوده است با توجه به اینکه این اعداد حدود ۴۰٪ از انرژی الکتریکی کل مصرفی تصفیه خانه به شمار می‌آیند می‌توان با مدیریت صحیح مصرف انرژی الکتریکی در اتاق کنترل و آزمایشگاه و بخش اداری تصفیه خانه و روشنایی تا جایی

هواده‌ها به مخزن تغلیظ انجام می‌گردد؛ بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که برگشت خودبه‌خودی لجن می‌تواند به عنوان یک روش بسیار مفید و موثر برای کاهش انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه‌خانه‌ها محسوب شود.

### پیشنهادات

با توجه به اهمیت بحث انرژی و افزایش قیمت‌ها و کاهش منابع تولید انرژی باید اقدامات مدیریتی مؤثری جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صورت پذیرد همچنین متخصصان و طراحان تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب باید در طرح‌های پیشنهادی خود برای اجرای تصفیه‌خانه‌ها به انرژی بر بودن فرایندها همراه با کارایی مناسب بیشتر توجه نمایند. با استفاده درست و بهینه از انرژی الکتریکی می‌توان انرژی الکتریکی را به عنوان سرمایه ملی حفظ نمود همچنین می‌توان تا اندازه زیادی از لحاظ اقتصادی صرفه جویی کرد. با توجه به نتایج به دست آمده باید بحث اهمیت هوادهی درست و بهینه کردن فعالیت پمپ‌ها و بلوئر‌ها در حوضچه‌های هوادهی و مدیریت و کاهش لجن تولیدی بیشتر مورد توجه قرار گیرد، مصرف انرژی الکتریکی در پمپ‌ها و بلوئر‌ها ارتباط مستقیم با میزان هوادهی در حوضچه‌های هوادهی و میزان افت فشار و... دارد، با بهره‌برداری درست از واحد هوادهی و مدیریت صحیح می‌توان به میزان زیادی در مصرف انرژی الکتریکی صرفه جویی نمود. همچنین با استفاده از امواج اولتراسونیک می‌توان به مقدار زیادی میزان لجن مازاد را کاهش داد و در نتیجه در تصفیه‌خانه از انرژی الکتریکی کمتری جهت تأسیسات لجن استفاده نمود. اگر تصفیه‌خانه‌ها به گونه‌ای عمل کنند که از انرژی تولیدی در بخش بی‌هوایی و تصفیه لجن بهره‌برداری شود و از آن انرژی الکتریکی استخراج شود تصفیه‌خانه‌ها تا اندازه زیادی در بحث انرژی مستقل می‌شوند.

که امکان دارد میزان مصرف این انرژی را کاهش داد، از طرفی در صورتی که از کنتورهای مجزا برای این بخش استفاده شود از آنجایی که نوع کاربری انرژی الکتریکی غیر مؤثر با انرژی الکتریکی مؤثر با یکدیگر متفاوت است و تعرفه برق آن‌ها نیز متفاوت می‌باشد از لحاظ اقتصادی نیز به مقدار زیادی صرفه جویی خواهد شد. میزان انرژی الکتریکی برای حذف یک کیلوگرم COD در سال‌های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ترتیب ۲/۵ و ۲/۶۸ Kw بوده است این در حالی است که میزان این انرژی در تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آمل که مورد پژوهش توسط نویسنده مقاله قرار گرفته است برابر با ۱/۳۷ و ۱/۴۱ Kw بوده است این مطلب نشان دهنده این است که تصفیه‌خانه شهرک صنعتی آمل که با سیستم تلفیقی UAFB و IFAS همراه با برگشت خودبه‌خودی لجن عمل تصفیه را انجام می‌دهد نسبت به تصفیه‌خانه نصی آباد که از سیستم تلفیقی UABR و IFAS با برگشت لجن متعارف توسط پمپ‌ها استفاده می‌کند انرژی الکتریکی کمتری مصرف می‌کند. جهت برگشت یا دفع لجن مازاد از مخازن ته‌نشینی در کلیه فرایندهای رایج تصفیه به روش لجن فعال به مخازن هوادهی از انواع پمپ‌های مکانیکی یا برقی استفاده می‌گردد که این موضوع از لحاظ مصرف انرژی، اپراتوری و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری یکی از فاکتورهای مهم تصفیه‌ساز می‌باشد لذا جهت برون رفت از مشکل و کاهش هزینه‌های فوق‌روشن نوین و ابتکاری برگشت خودبه‌خودی صرفاً بر اساس تفاوت غلظت میان دو مخزن هوادهی و ته‌نشینی استفاده گردید، با اندک تغییری در ساختمان حوض ته‌نشینی و تک شیب نمودن کف حوض ته‌نشینی به سمت دیواره مخزن هوادهی، بطوریکه در میانه این دیوار چندین سوراخ در یک امتداد و در یک ارتفاع با چندین بازشو در کف دیوار ارتباط خودبه‌خودی لجن میان حوض هوادهی و ته‌نشینی برقرار می‌گردد و در صورت لزوم و افزایش غلظت MLSS در حوض هوادهی عمل تخلیه لجن از کف حوض هوادهی با خاموش نمودن

## تشکر و قدردانی

از همکاری‌های جناب آقای مهندس محمودی در شهرک صنعتی نصیرآباد و جناب آقای مهندس مردان در شرکت شهرک‌های صنعتی کشور که در جمع‌آوری اطلاعات به بنده یاری رساندند کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

## یادداشت‌ها

1. Up flow Anaerobic Baffled Reactor
2. Intergrated Fixed/Film Activated Sludge
3. Rotating Biological Contactor
4. Up flow Anaerobic Fixed bed Reactor
5. Mixed liquid suspended solids

## منابع

- مردان، س.، توفیقی، ه. ۱۳۸۶. آشنایی با سیستم لجن فعال بارشد چسبیده ثابت در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی (با ارائه تجربیات کاربردی در شهرک‌های صنعتی)، چاپ اول، انتشارات سازمان صنایع کوچک و شرکت شهرک‌های صنعتی ایران، ۱۹-۴.
- مردان، س.، توفیقی، ه. ۱۳۸۶. طراحی و بهره‌برداری اقتصادی از تاسیسات تصفیه فاضلاب‌های صنعتی، چاپ اول، انتشارات سازمان صنایع کوچک و شرکت شهرک‌های صنعتی ایران، ۱۶-۵.
- مهرداد ناصری، محمدی احمدرضا، ترابیان علی، " کاهش لجن مازاد با استفاده از روش‌های مختلف در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به روش SBR (تاکیدی بر استفاده از امواج فراصوت) " محیط‌شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۶۱، (۱۳۹۱)، ۶۰-۴۹.
- مهرداد ناصری، نبی بید هندی غلامرضا، زاهدی علی، محمدی اقدم علیرضا، آقاجانی یاسینی آزاده " کاربرد امواج مافوق صوت بر محلول‌سازی (هیدرولیز) و بهبود قابلیت تجزیه بیولوژیکی ترکیبات آلی فاضلاب صنایع لبنی (مطالعه موردی صنایع لبنی پگاه تهران) " مجله آب و فاضلاب، دوره ۲۲، شماره ۲، (۱۳۹۰)، ۷۰-۶۴.
- مهرداد ناصری، نبی بید هندی غلامرضا، زاهدی علی، محمدی اقدم علیرضا، آقاجانی یاسینی آزاده " کاربرد سیستم انتشار امواج اولتراسونیک در تصفیه فاضلاب " انتشارات دانشگاه تهران، (۱۳۹۱)، چاپ ۱، ۷۸-۱۱۲.
- Åmand, L., Carlsson, B. 2012. Optimal aeration control in a nitrifying activated sludge process. J. Water research. 46(7), 2101-2110.
- Chae, K., Kang, J. 2013. Estimating the independence of a municipal wastewater treatment plant incorporating green energy resources. Energy conversion and Management. 75, 664-672.
- Descoins, N., Deleris, S., Lestienne, R., Trouvé, E., Maréchal, F. 2012. Energy efficiency in waste water treatments plants: Optimization of activated sludge process coupled with anaerobic digestion. J. Energy. 41(1), 153-164.
- Eaton, A. D., Franson, M. A. 2005. Standard methods for the examination of water & wastewater, 21st ed. American Public Health Association, Washington (DC).
- Hernández-Sancho, F., Molinos-Senante, M., Sala-Garrido, R. 2011. Energy efficiency in Spanish wastewater treatment plants: A non-radial DEA approach. Science of the Total Environment. 409(14), 2693-2699.
- Kusiak, A., Zeng Y., Zhang Z. 2013. Modeling and analysis of pumps in a wastewater treatment plant: a data-mining approach. J. Engineering Applications of Artificial Intelligence. 26(7), 1643-1651.
- Malcolm, B., Middleton, R., Wheale, G., Schulting, F. 2010. Energy efficiency in the water industry, a Global Research Project. J. Water Practice and Technology. 6(2), 208-215.
- Metcalf, L., Eddy, H. P. 2003. Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse. McGraw-Hill, New York.
- Molinos-Senante, M., Hernandez-Sancho, F., Sala-Garrido, R. (2013), " Benchmarking in wastewater treatment plants: a tool to save operational costs ", Clean Techn Environ Policy, 13, 0612-8
- Rojas, J., Zhelev, T., Graells, M. 2010. Energy Efficiency Optimization of Wastewater Treatment-Study of ATAD. J. Computer Aided Chemical Engineering. 28(3), 967-972.

Singh, P. carliell–Marquet,C., Kansal,A. 2012. Energy pattern analysis of a wastewater plant. J. Appl Water Sci. 6(2),221-229.

Wang, J., Huang, Y., Zhao, X. 2004. Performance and characteristics of an anaerobic baffled reactor. Bioresource Technology. 93(2), 205-208.

Ylmaz,S. Selim,H.(2013)," A review on the methods for biomass to energy conversionsystemsdesign", RenewableandSustainableEnergyReviews25,420–430.

Zhang, Z., Zeng, Y., Kusiak, A.2012. Minimizing pump energy in a wastewater processing plant. J. Energy. 47(1), 505-514.