محیط‌شناسی، دورهٔ ۴۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۵، صفحهٔ ۳۱-۱۹

تعیین انرژی الکتریکی مصرفی در فرایندهای مختلف تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیرآباد با رویکرد مقدارحذف COD

سحر ثقفی [۱]، ناصر مهردادی [۲]*، غلامرضا نبی بیدهندی [۳]، حسن امینی راد [٤]

۱. دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران saghafi320@yahoo.com

۲. استاد دانشکده مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۳. استاد دانشکده مهندسی محیط‌زیست، دانشگاه تهران ghhendi@ut.ac.ir

٤. استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل h.a.rad@nit.ac.ir

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۳/۷/۲۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹٤/۱۱/۲۰

چکیده

در این تحقیق تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد از لحاظ مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار گرفت، این تصفیه خانه با ترکیب سیستم بی هوازی UABR و هوازیIFAS فعالیت می کند، 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 سال ها 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 سال های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ محاسبه گردید که به ترتیب Kwh ۲/۶۸ وKwh ۲/۵ 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

در صنعت فاضلاب توجه عمومی بیشتر بر استاندارد کیفیت پساب خروجی معطوف شده است تصفیه خانه ها 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 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، به‌گونه‌ای که ۴۰-۲۵٪ درصد از هزینه بهره‌برداری و راهبری فرآیند تصفیه فاضلاب در تصفیه‌خانه‌ها مربوط به بخش تأمین انرژی است بنابراین انرژی به‌عنوان یک فاکتور مهم در بخش

* نویسنده مسئول: Email:Mehrdadi@ut.ac.ir

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 در صد 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 ذکرشده باعث افزایش مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌شوند. درنتیجه بهینه‌سازی مصرف انرژی و کارا بودن طرح تصفیه خانه و تجهیزات و تکنولوژی های مورد بهره‌برداری امری ضروری به نظر می رسد 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 بهره وری انرژی در تصفیه خانه های فاضلاب به معنی مصرف انرژی کمتر، تولید گازهای گلخانه ای 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 در صد از الکتریسیته کل در جامعه در تصفیه خانه های فاضلاب مصرف می شود، با توجه به نیازهای زیست محیطی و افزایش جمعیت در سال های آینده نیاز به انرژی الکتریکی افزایش می یابد بنابراین باید برنامه‌ای برای ذخیره انرژی در نظر گرفته شود(Kusiak, et al.,2013). با توجه به موارد ذکرشده به نظر می رسد که میزان مصرف انرژی الکتریکی یک پارامتر مهم در تعیین کارایی مطلوب تصفیه خانه ها باشد، همچنین با توجّه به حذف یارانه انرژی در صنعت و گران شدن تعرفه انرژی الکتریکی بحث مدیریت مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه‌خانه‌ها بیشتر موردتوجه قرارگرفته 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 درنتیجه 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-Sancho, et al.,2011) . در پژوهشی که توسط دیسکوینز 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

آمد و برگشت آمونیاک از هاضم بی هوازی به لجن فعال به‌عنوان یک عامل محدود کننده برای کارایی مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه خانه 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 قسمت های اصلی انرژی بر در تصفیه‌خانه های فاضلاب ایستگاه های 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 قیمت ها و کاهش منابع تولید انرژی باید اقدامات مدیریتی مؤثری جهت کاهش مصرف انرژی الکتریکی در تصفیه خانه های فاضلاب صورت پذیرد(Molinos-Senante, et al., 2013). بنابراین باید بحث اهمیت هوادهی درست و بهینه کردن فعالیت پمپ‌ها و بلوئر ها در حوضچه‌های هوادهی و مدیریت و کاهش لجن تولیدی بیشترمورد 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 می کند (مهردادی و همکاران، ۱۳۹۱)، به این ترتیب می توان به میزان زیادی در هوادهی و مصرف انرژی الکتریکی صرفه جویی نمود. همچنین با استفاده از این امواج می توان به مقدار زیادی میزان لجن مازاد را کاهش داد(مهردادی و همکاران، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱) و در نتیجه در تصفیه خانه از انرژی الکتریکی کمتری جهت تأسیسات لجن استفاده نمود. اگر تصفیه‌خانه ها به‌گونه‌ای عمل کنند که از انرژی تولیدی در بخش بی هوازی و تصفیه لجن بهره‌برداری شود و از آن انرژی الکتریکی استخراج شود تصفیه خانه ها تا اندازه زیادی در بحث انرژی مستقل می‌شوند(Ylmaz, et al., 2013).

در این تحقیق تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد با ۲۲۰ واحد صنعتی فعال مورد بررسی قرار گرفت، این تصفیه خانه با ترکیب سیستم بی‌هوازی UABR و هوازی IFAS فعالیت می کند. سیستم UABR شامل راکتورهایی است که در آن‌ها ردیف‌هایی از بافل ها قرارگرفته‌اند، این بافل ها سبب حرکت جریان فاضلاب ا ز 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 سیستم های IFAS توده‌های زیستی معلق و متصل، به‌صورت مؤثری هم‌زمان به کارگرفته می‌شوند. سیستم‌های IFAS مزایای گسترده‌تری را نسبت به فرایندهای متداول لجن فعال دارا هستند، این دستگاه ها نسبت به شوک بارگذاری آلی وهیدرولیکی 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 تصفیه خانه فاضلاب صنعتی است به این ترتیب گزینه های انرژی بر تصفیه خانه مشخص شد و میزان انرژی الکتریکی مصرفی برای حذف یک کیلوگرم COD محاسبه گردید. بحث مصرف انرژی الکتریکی برای اولین بار در تصفیه‌خانه های 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 تصفیه‌خانه های شهرک‌های صنعتی توسط نویسنده مقاله صورت گرفته است می توان در طراحی تصفیه خانه ها عامل انرژی الکتریکی مصرفی را به عنوان یک فاکتور موثر در نظر گرفت و با صرفه جویی در مصرف

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

مواد و روش بررسی

این مطالعه با روش آماری و جمع آوری داده ها از طریق مشاهدات و بررسی میدانی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهرک های صنعتی نصیر آباد تهران انجام شد. طرح شماتیک تصفیه خانه 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 هوازیIFAS می‌شود، مرحله اول حوضچه‌های هوازی رشد چسبیده و مرحله دوم رشد معلق است، جریان فاضلاب پس از عبور از واحد ته نشینی در نهایت از واحد کلرزنی عبور کرده و وارد محیط پذیرنده می شود. کلیه عملیات نمونه‌برداری و آزمایش‌ها بر اساس رهنمودهای موجود در کتاب روش های استاندارد برای آزمایش‌های آب و فاضلاب انجام گرفت (Eaton, et al., 2005)، تجزیه وتحلیل داده ها از طریق رسم نمودارها و جداول در نرم افزار Excel انجام پذیرفت، به منظور بررسی مصرف انرژی الکتریکی درتصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد قبض برق تصفیه خانه در ماه های مختلف سال های 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 می شوند، 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 می شود که در فصل های مختلف سال ساعات شروع و پایان هر گروه از آن ها متفاوت است. انرژی الکتریکی مصرفی مربوط به هر گروه(اوج باری، میان باری،کم باری) در ساعات مربوطه ضرب شد و حاصل جمع آن به‌عنوان انرژی الکتریکی مصرفی دوره مربوطه محسوب گردید، انرژی الکتریکی مصرفی هر دوره در سال های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ در جدول ۱ و۲ آمده است. با توجه به متفاوت بودن دوره های اندازه گیری برای به دست آوردن انرژی متوسط مصرفی ماهانه از میانگین وزنی داده‌ها که در معادله ۱ نشان داده‌شده، استفاده‌شده است.

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

E_m انرژی الکتریکی متوسط ماهانه است و Ei انرژی الکتریکی مربوط به یک دوره و Ti تعداد روزهای دوره است. نتایج در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است. انرژی الکتریکی که از طریق قبض مصرفی به دست می آید شامل انرژی الکتریکی مورداستفاده در واحدهای تصفیه خانه، روشنایی، اتاق کنترل، آزمایشگاه و بخش اداری است در این تحقیق انرژی که در واحدهای تصفیه خانه استفاده می شود انرژی مؤثر و آن قسمت از انرژی که در خارج از واحدهای تصفیه خانه استفاده می‌شود انرژی غیر مؤثر می نامیم، برای مشخص شدن دقیق انرژی مصرفی در واحدهای تصفیه خانه یعنی همان انرژی مؤثر و تعیین انرژی غیر مؤثر نیاز به این داریم که تجهیزات الکترومکانیکی واحدهای تصفیه خانه را مورد بررسی قرار دهیم؛ بنابراین بررسی میدانی از تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد صورت پذیرفت و فرایندهای مختلف تصفیه بررسی شد، تصفیه خانه شامل آشغال‌گیر، ایستگاه پمپاژ، دانه گیر وچربی گیر، متعادل ساز، واحد بی هوازی، واحد هوازی، واحد گندزدایی، فیلتر شنی تحت فشار، واحد ذخیره لجن و فیلتر پرس می باشد، هر کدام از واحدهای تصفیه خانه از ایستگاه پمپاژ تا واحد فیلتر پرس با اعدد 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 پمپ ها و موتورهایی که در واحدهای مختلف استفاده شده و قدرت و ساعات کاری آن ها، به دست آمد. انرژی الکتریکی مصرفی توسط

تجهیزات هر بخش با معادله ۲ تخمین زده می شود؛ که نتایج در شکل۲ آمده است.

$$E = \frac{P * T}{Q} \qquad (۲)$$

E انرژی الکتریکی برحسب Kwh/m3 است و توان الکتریکی پمپ یا موتور برحسب KW و زمان بهره‌برداری از پمپ یا موتور برحسب h/day و مقدار کل فاضلاب ورودی برحسب m3/day محاسبه می‌شود (Singh, et al., 2012). برای تعیین میزان انرژی الکتریکی مورد استفاده در تصفیه خانه برای حذف یک کیلوگرم COD، COD ورودی و خروجی تصفیه خانه بر حسب mg/lit اندازه گیری شد، دبی متوسط ورودی برحسب m3/day درنظر گرفته شد و میزان COD حذفی برحسب Kg/day به دست آمد و با توجه به این که انرژی مؤثر تصفیه خانه برحسب Kwh/m3 است در نهایت میزان انرژی برای حذف ۱ کیلوگرم COD برحسب Kwh محاسبه شد.

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 مصرفیkwh
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 مصرفیkwh
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

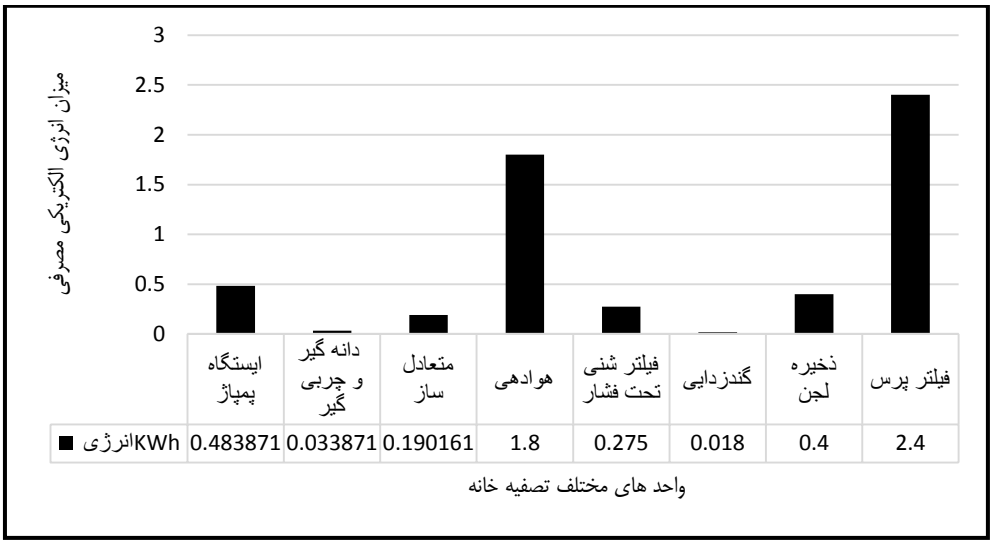
جدول۳- تجهیزات الکترومکانیکی موجود در تصفیه خانه نصیر آباد

نام واحد	تعداد واحد	نوع تجهیزات	تعداد تجهیزات	قدرتKW	ساعت کارh/day
۱-ایستگاه پمپاژ	۱	پمپ	۲	۱۰	۱۲
۲-دانه گیر وچربی 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 تحت‌فشار	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

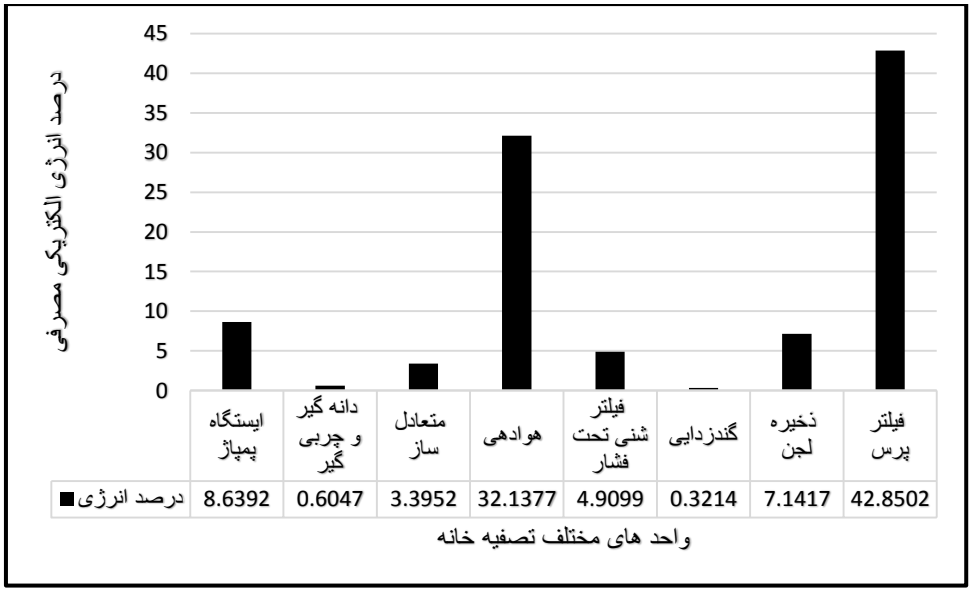
نتایج

تخمین انرژی الکتریکی مصرفی واحدهای تصفیه خانه

در تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد میزان متوسط ماهانه فاضلاب ورودی در سال ۱۳۹۲ برابر با ۶۲۰ m^3/day هست و در سال ۱۳۹۱ برابر با ۶۳۰ m^3/day است، راندمان پمپ یا موتور نیز ۸۰٪ فرض شده است. البته به دلیل نزدیک شدن اعداد به یکدیگر محاسبه انرژی الکتریکی برای دبی ۶۲۰ m^3/day انجام شد، انرژی الکتریکی هر واحد بر اساس معادله ۲ محاسبه شده و در شکل۲ 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.



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

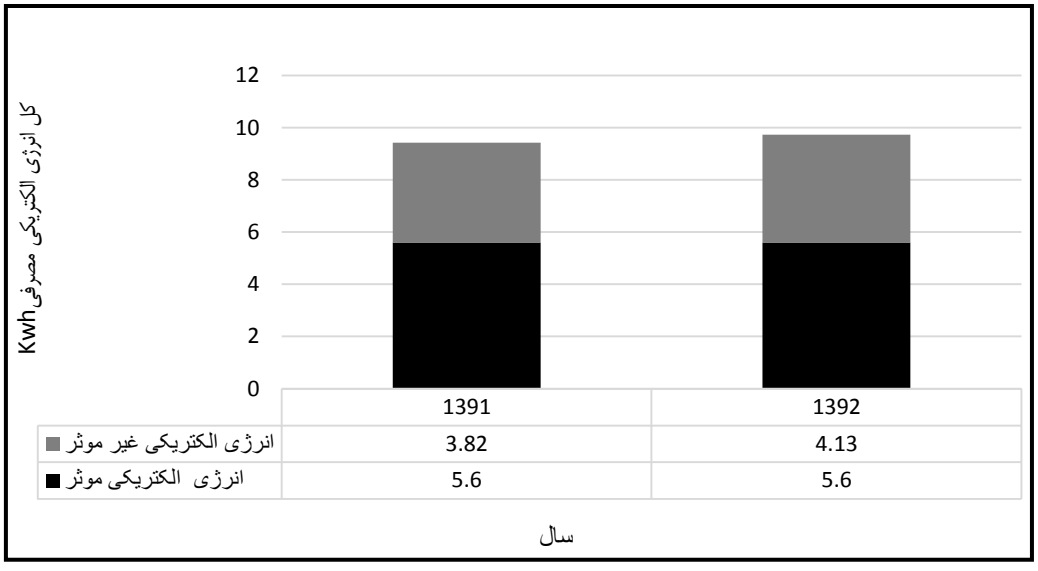


شکل۳. درصد انرژی الکتریکی مصرفی درواحدهای تصفیه خانه

با توجه به اعداد به دست آمده در شکل ۲ میزان کل انرژی الکتریکی که در واحدهای مختلف تصفیه خانه مصرف می‌شود معادل ۵/۶Kwh هست. همان‌طور که در شکل مشاهده می شود 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 می دهند. در شکل ۳ درصد مصرف انرژی الکتریکی این واحدها آمده است. همان طور که درشکل۳ مشاهده می‌شود تقریباً ۳۲٪ از انرژی الکتریکی مصرفی تصفیه خانه به هوادهی اختصاص داده شده است و حدود ۴۳٪ از انرژی الکتریکی در تأسیسات تصفیه لجن به کار می روند و حدود ۲۵٪ 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.

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 Kwh ۹/۴۳ و۹/۷۳ می باشد 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 Kwh ۵/۶ 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 کارمی رود قابل محاسبه است و در شکل ۴ نشان داده‌شده است.



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

همان طور که در شکل۴ مشخص شده است، میزان انرژی غیر مؤثر در سال های ۱۳۹۱ و ۱۳۹۲ به ازای یک مترمکعب فاضلاب ورودی روزانه ۳/۸۲ و ۴/۱۳ Kwh بوده است، با توجه به انرژی الکتریکی کل مصرفی و میزان انرژی الکتریکی مؤثر مصرفی و غیر مؤثر می‌توان نتیجه گیری کرد که در سال ۱۳۹۱ حدود ۴۰٪ و در سال

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 می‌شود، بنابراین با استفاده بهینه از انرژی الکتریکی اتاق کنترل، آزمایشگاه، روشنایی وبخش اداری می توان تا حد زیادی هزینه‌های انرژی الکتریکی را کاهش داد.

تعیین میزان انرژی مؤثر به ازای COD حذفی

میزان متوسط COD ماهانه ورودی به تصفیه خانه شهرک صنعتی نصیر آباد در سال ۱۳۹۱ ۲۲۴۳ mg/lit بوده است و متوسط COD ماهانه خروجی ۱۵۷ mg/lit است، انرژی الکتریکی مؤثر مصرفی در تصفیه خانه مشخص و دبی متوسط ورودی ۶۳۰ m^3/day بوده است، در سال ۱۳۹۲ متوسط COD ماهانه ورودی ۲۴۰۷ mg/lit و خروجی ۱۷۰ mg/lit است، با توجه به انرژی الکتریکی مؤثر در سال و دبی متوسط ورودی که ۶۲۰ m^3/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.

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

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 ۲/۶۸ وKw ۲/۵ 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 درتعدادی از تصفیه‌خانه‌های شهرک‌های صنعتی مشخص شده است که در جدول ۴ نشان داده شده است (مردان و همکاران، ۱۳۸۶).

اعداد به‌دست‌آمده 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 تصفیه‌خانه‌ها انرژی بیشتری مصرف می‌شود.

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 بی هوازی فعالیت می کرد 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 به‌دست‌آمده 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 می دهد 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 می کنند می توان میزان انرژی الکتریکی مصرفی واحدهای هوادهی مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد و از نتایج آن برای تقریب انرژی الکتریکی مصرفی درطراحی 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

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 تصفیه خانه 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 تصفیه خانه شهرک صنعتی آمل که با سیستم تلفیقی UAFB و IFAS همراه با برگشت خودبه‌خودی لجن عمل تصفیه را انجام می‌دهد نسبت به تصفیه خانه 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 ته نشینی در کلیه فرایندهای رایج تصفیه به روش لجن فعال به مخازن هوادهی از انواع پمپ‌های مکانیکی یا برقی استفاده می گردد که این موضوع از لحاظ مصرف انرژی، اپراتوری و هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری یکی از فاکتورهای مهم تصفیه پساب می باشد لذا جهت برون رفت از مشکل و کاهش هزینه های فوق روش نوین و ابتکاری برگشت خودبه‌خودی صرفاً بر اساس تفاوت غلظت میان دو مخزن هوادهی و ته شینی استفاده گردید، با اندک تغییری در ساختمان حوض ته نشینی 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 خودبه خودی لجن میان حوض هوادهی و ته‌نشینی بر قرار می‌گردد و در صورت لزوم و افزایش غلظت MLSS در حوض هوادهی عمل تخلیه لجن از کف حوض هوادهی با خاموش نمودن 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 قیمت ها 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 می توان انرژی الکتریکی را به‌عنوان 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 بلوئر ها در حوضچه‌های هوادهی و مدیریت و کاهش لجن تولیدی بیشتر مورد توجه قرار گیرد، مصرف انرژی الکتریکی در پمپ ها و بلوئر ها ارتباط مستقیم با میزان هوادهی در حوضچه های 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 تصفیه خانه از انرژی الکتریکی کمتری جهت تأسیسات لجن استفاده نمود. اگر تصفیه‌خانه‌ها به‌گونه‌ای عمل کنند که از انرژی تولیدی در بخش بی‌هوازی و تصفیه لجن بهره‌برداری شود و از آن انرژی الکتریکی استخراج شود تصفیه‌خانه‌ها تا اندازه زیادی در بحث انرژی مستقل می‌شوند.

تشکر و قدردانی

از همکاری های جناب آقای مهندس محمودی در شهرک صنعتی نصیرآباد و جناب آقای مهندس مردان در شرکت شهرک های صنعتی کشور که در جمع آوری اطلاعات به بنده یاری رساندند کمال تشکر و قدردانی می‌گردد.

یادداشت‌ها

1. Up flow Anaerobic Baffled Reactor
2. Intergraded 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 فاضلاب های صنعتی (با ارائه تجربیات کاربردی در شهرک‌های صنعتی) ، چاپ اول، انتشارات سازمان صنایع کوچک و شرکت شهرک های صنعتی ایران، ۱۹-۴

مردان، س.، توفیقی، ه.۱۳۸۶. طراحی و بهره برداری اقتصادی از تاسیسات تصفیه فاضلاب های صنعتی، چاپ اول ، انتشارات سازمان صنایع کوچک و شرکت شهرک های صنعتی ایران،۱۶-۵.

مهردادی ناصر، محمدی احمدرضا، ترابیان علی، " کاهش لجن مازاد با استفاده از روش های مختلف در تصفیه بیولوژیکی فاضلاب به روش SBR(تاکیدی بر استفاده از امواج فراصوت)" محیط شناسی، سال سی و هشتم، شماره ۶۱،(۱۳۹۱)، ۶۰-۴۹.

مهردادی ناصر، نبی بید هندی غلامرضا، زاهدی علی، محمدی اقدم علیرضا، آقاجانی یاسینی آزاده " کاربرد امواج مافوق صوت بر محلول سازی(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.

مهردادی ناصر، 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 ، ۱۱۲-۷۸.

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 saveoperational 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.