

مطالعه امکان‌سنجی استفاده از سیستم‌های تولید همزمان توان و حرارت در واحدهای تصفیه‌خانه فاضلاب

مهدی شکوری^{۱*}، محمد جعفری^۲، لیلا صیدآبادی^۲

*^۱- دانشکده محیط زیست، پردیس فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲- پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه مواد و انرژی، تهران، ایران

* ایمیل نویسنده مسئول: mahdi.shakouri@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۲۰

چکیده

استفاده از سیستم‌ها و فناوری‌های نوین در عرصه بهینه‌سازی انرژی و صرفه‌جویی انرژی برای مقابله با پدیده گرمایش سراسری ضرورت دارد. در این راستا، استفاده از فناوری‌های تولید همزمان برق و حرارت در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب متداول شده است. در این تحقیق هر یک از فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب از منظر مقدار برق مصرفی بررسی شده است و مبتنی بر آن روش‌های صرفه‌جویی انرژی متداول قابل کاربرد با رویکرد سیستم‌های تولید همزمان برق و حرارت مورد بررسی قرار گرفته است. سپس کاربرد این نوع فناوری‌ها متناسب با ظرفیت‌های متداول تصفیه‌خانه‌های فاضلاب براساس سناریوهای مصرف داخلی و فروش برق به شبکه مبتنی بر شرایط کشور ایران بررسی شده است. براساس نتایج، استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت در تصفیه‌خانه فاضلاب با این رویکرد که تمام برق برای مصارف داخلی در نظر گرفته شود، مردود و در عوض، در صورتی که برق تولید شده به شبکه فروخته شود، استفاده از این سیستم دارای توجیه مناسبی خواهد بود. بررسی سناریوهای مختلف نشان دهنده آن است بهترین وضعیت در حالتی اتفاق می‌افتد که ظرفیت سیستم تصفیه بالاتر باشد و امکان فروش تمام برق به شبکه سراسری فراهم شود.

کلمات کلیدی

"فناوری تولید همزمان برق و حرارت"، "تصفیه فاضلاب"، "صرفه‌جویی انرژی"، "زمان بازگشت سرمایه"

Feasibility Study of Using Combined Heat and Power (CHP) Systems in Wastewater Treatment Plants

Mahdi Shakouri^{1*}, Mohammad Jafari², Leila Seidabadi²

1*. School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Department of Energy, Materials and Energy Research Center, Tehran, Iran

*Email Address: mahdi.shakouri@ut.ac.ir

Abstract

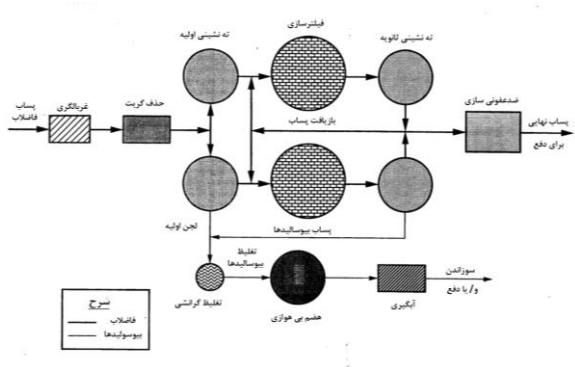
In order to combat against global warming effect, it would be mandatory to use new technologies and systems among energy efficiency and energy saving approaches. In line with these approaches, the application of combined heat and power (CHP) systems becomes a conventional within the wastewater treatment plants. In this research, conventional wastewater treatment plants have been reviewed with respect to the application of CHP systems. Thereafter, these systems have been analyzed considering two different scenarios including domestic usage of the electricity and export of the generated electricity for the case of Iran. According to the results of the study, application of the combined heat and power systems with respect to domestic usage of the electricity is not feasible. However, for the case with the export of the electricity these systems will be viable in wastewater treatment plant. In conclusion, application of the CHP systems would be much feasible with higher capacities and for the case of the export of generated electricity to the network.

Keywords

"Combined heat and power system", "Wastewater treatment plant", "Energy saving", "Payback time"

۱- مقدمه

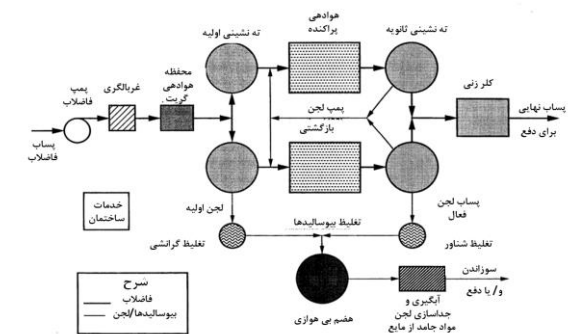
فاضلاب جدا می‌شود. در ادامه، جریان فاضلاب وارد مخزن ته‌نشینی می‌شود و در آن سایر ذرات قبل از تصفیه بیولوژیکی در سیستم صافی، حذف می‌شود. در صافی، فاضلاب آلی عبور داده می‌شود. در این صافی، باکتری‌های هوازی با تغذیه از مواد آلی، رشد می‌کنند. در مرحله ته‌نشینی ثانویه سایر ذرات نیز ته‌نشین می‌شوند. در ادامه فاضلاب تصفیه شده، به منظور گندزدایی، کلرزنی می‌شود. به منظور حذف مواد آلی لجن باقیمانده، از تصفیه بیولوژیکی و سپس تغلیظ استفاده می‌شود. به منظور حذف مواد آلی، مرحله بعدی هضم بی‌هوازی است و در ادامه، آب‌گیری از لجن به طور مکانیکی انجام شده و با استفاده از زباله‌سوز یا ارسال به لندفیل، دفع می‌شود. شمای تمام مراحل فوق در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- فرآیند تصفیه فاضلاب با استفاده از صافی (Goldstein & Smith, 2002)

۲-۲- تصفیه فاضلاب با استفاده از لجن فعال

مشابه فرآیند قبل، فاضلاب ورودی به فرآیند لجن فعال در ابتدا وارد آشغال‌گیر شده، سپس از سیستم حذف شنی عبور داده می‌شود. به منظور حذف ذرات کوچک‌تر، از مخزن ته‌نشینی اولیه استفاده می‌شود. سپس هضم هوازی مواد معلق و پساب در یک مخزن هوادهی انجام می‌شود. در ادامه به منظور حذف مواد هضم شده، جریان فاضلاب به مخزن ته‌نشینی ثانویه پمپ می‌شود. پس از ته‌نشینی ثانویه، فاضلاب تصفیه شده با استفاده از فرآیند کلرزنی گندزدایی می‌شود. به طور مشابه، لجن ته‌نشینی اولیه به صورت هوازی هضم شده و به منظور جداسازی مایع از جامدات، به مخزن ته‌نشینی پمپ می‌شود. در ادامه، جامدات باقیمانده تغلیظ شده و به منظور جداسازی باقیمانده مواد آلی، در معرض فرآیند هضم بی‌هوازی قرار داده می‌شود. سپس آب‌گیری از لجن باطله انجام شده و با استفاده از زباله‌سوز یا ارسال به لندفیل، دفع می‌گردد. در شکل ۲، شمای فرآیند مذکور نشان داده شده است.



شکل ۲- فرآیند تصفیه فاضلاب با استفاده از لجن فعال (Goldstein & Smith, 2002)

ذخایر جهانی سوخت‌های فسیلی جهانی در حال کاهش است. این در حالی است که میزان مصرف سوخت‌های فسیلی در دنیا همچنان در حال افزایش است. با توجه به نرخ فعلی مصرف، میزان سوخت مصرفی جهان ۳۵ میلیارد بشکه نفت در سال است. فراهم‌آوری این انرژی چالش‌های امنیتی و محیط‌زیستی را ایجاد ند. با کاهش ذخیره و افزایش مصرف، انتظار می‌رود قیمت حامل‌های انرژی افزایش یابد (Mehr et al., 2018). در این راستا، توسعه فن‌آوری‌های مبتنی بر تولید همزمان و بهره‌گیری از منابع انرژی تجدید پذیر می‌تواند به دولت‌ها اجازه دهد نیروگاه‌های قدیمی و با بهره‌وری پایین را جایگزین کنند (Cui et al., 2014). مولدهای ترکیبی تولید همزمان توان و حرارت (CHP)، که به عنوان یک نیروگاه تولید پراکنده نیز شناخته می‌شود، یکی از بهترین راه‌حل‌های تولید انرژی با راندمان بالا محسوب می‌شود (Facci et al., 2018). امروزه تولید گاز در فرآیند تصفیه فاضلاب به عنوان یک فن‌آوری تولید انرژی تجدیدپذیر می‌تواند نقش به‌سزایی را در کاهش استفاده از منابع فسیلی ایفا کند (Energy Efficiency in Water and Wastewater Facilities, 2013). از این‌رو تولید همزمان برق و حرارت با استفاده از بیوگاز مورد توجه محققان قرار گرفته و به بررسی فرصت‌ها و منافع حاصل از آن پرداخته‌اند (Eastern Research Group, 2006). از این‌رو هدف اصلی در این نوع سیستم ایجاد یک مولد کاملاً قابل تجدیدپذیر است که کمترین میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای ممکن را با حداقل هزینه چرخه عمر را برآورده می‌کند. اصل تعادل جرم بر روی اجزای زیست تخریب پذیر در فاضلاب برای ارزیابی حجم گاز هضم کننده تولید شده از لجن از طریق فرآیند هضم بی‌هوازی اعمال می‌شود (Helal et al., 2013). در تحقیق حاضر ابتدا فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب معرفی شده است. در ادامه به ارزیابی به میزان تولید برق در یک تصفیه‌خانه اشاره شده است. این موضوع با توجه به شرایط کشور در سناریوهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در پایان نیز میزان پتانسیل صرفه‌جویی انرژی با استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق این امکان را برای علاقه‌مندان و فعالان حوزه انرژی و محیط‌زیست فراهم می‌سازد تا با بررسی نتایج تحلیل، دید مناسبی برای سرمایه‌گذاری در این حوزه پیدا کنند.

۲- فرآیندهای تصفیه فاضلاب

در این تحقیق برخی فرآیندهای تصفیه فاضلاب متداول به شرح زیر مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

- تصفیه فاضلاب با استفاده از صافی؛
 - تصفیه فاضلاب با استفاده از لجن فعال؛
 - تصفیه فاضلاب پیشرفته با و بدون نیتروبیفیکاسیون.
- تمام این فرآیندها مبتنی بر تصفیه بیولوژیکی و شیمیایی فاضلاب است. در ادامه هر یک از فرآیندها به صورت اجمالی بررسی شده‌اند.

۱-۲- تصفیه فاضلاب با استفاده از صافی

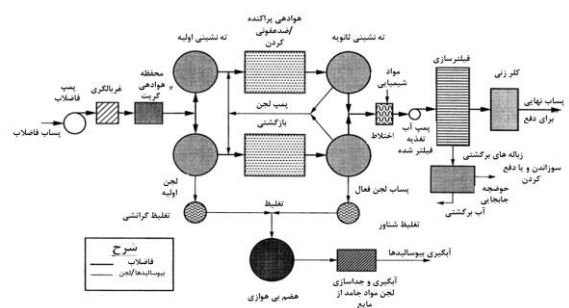
در ابتدای این نوع فرآیند، جریان پساب فاضلاب از آشغال‌گیر عبور داده می‌شود. سپس مواد کوچک‌تر با استفاده از سیستم حذف شن هوادهی از

با توجه به نوع فناوری، فرایندها، سیستمها و تجهیزات مورد استفاده در هر یک از انواع تصفیه خانههای فاضلاب، مهمترین راهکارهای صرفه-جویی انرژی مبتنی بر اصلاح ساختار، جایگزینی و تغییر فناوری به شرح زیر است:

- بهبود در سیستمهای روشنایی محوطه؛
- بهبود در سیستمهای سرمایش، گرمایش و تهویه مطبوع؛
- رفع نشتیها؛
- نصب سیستم نرمافزاری اسکادا؛
- بهبود بازدهی تجهیزات هوادهی و هضم بی هوازی؛
- استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت؛
- استفاده از انرژیهای تجدیدپذیر؛
- استفاده از سیستمهای پمپاژ همراه با درایو فرکانس متغیر.

در این تحقیق امکانسنجی استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت در تصفیه خانههای فاضلاب بررسی و تحلیل شده است. در این نوع فناوری، می توان سیستم انرژی را متناسب با نیاز انرژی مصرف کننده نهایی طراحی کرد. مزایای کلی این سیستمها به این شرح زیر است: (۱) مزیت بازدهی: نیاز سوخت این نوع فناوری، کمتر از نیاز سوخت سیستمهای جداگانه تولید برق و حرارت است. همچنین با استفاده از این سیستم می توان تا مقدار زیادی از تلفات انتقال و توزیع برق جلوگیری کرد؛ (۲) مزیت قابلیت اطمینان: با استفاده از این فناوری، امکان تولید برق با کیفیت بالا و انرژی حرارتی درون تصفیه خانه فراهم می شود و مهم تر آن که با نصب این فناوری، نگرانی از احتمالاتی که ممکن است برای شبکه سراسری رخ دهد، به حداقل می رسد؛ (۳) مزیت محیط زیستی: به واسطه مصرف سوخت کمتر به ازای واحد انرژی تولید شده در این فناوری، میزان انتشار گازهای گلخانه ای و سایر آلاینده ها کاهش می یابد؛ (۴) مزیت اقتصادی: به واسطه بازدهی بالای این نوع فناوری و در نتیجه آن کاهش مصرف سوخت، هزینه قبوض انرژی تصفیه خانه کاهش می یابد. یکی از مزایای مهم این گونه سیستمها در تصفیه خانههای فاضلاب این است که می توان از بیوگاز تولید شده در هاضم بی هوازی به عنوان سوخت استفاده کرد. در این تحقیق امکانسنجی استفاده از سیستمهای تولید همزمان با توجه به فرایندهای تصفیه فاضلاب براساس تعرفه های برق کشور در سال ۱۳۹۴ انجام پذیرفته است. در جدول ۱ تعرفه ها با فرض قیمت دلار برابر با ۰۰۰،۳۰ ریال برای تصفیه خانههای فاضلاب ارائه شده است. در سناریو اول این تحقیق، فرض بر آن است که تقاضای برق مورد نیاز برای تصفیه خانهها بالاتر از ۳۰ کیلووات باشد. در این سناریو، برق تولیدی توسط سیستم تولید همزمان برای مصارف داخلی تصفیه خانه استفاده خواهد شد. مصرف برق سالانه هر از فرایندها با فرض ضریب کارکرد سالانه ۰/۹۵ و با توجه به ظرفیتهای پیشنهادی محاسبه شده است. براساس بررسیهای انجام شده، قابلیت های فنی و هزینه های سیستمهای متداول به شرح جدول ۲ است. در جدول ۳ نتایج مصرف برق و هزینه سالانه هر یک از فرایندهای تصفیه فاضلاب براساس ظرفیت ارائه شده است. به منظور تأمین برق هر یک از تصفیه خانهها با فرض این که ضریب تأثیر میان باری، اوج بار و کم باری به ترتیب برابر با ۱۰ ساعت در روز، ۷ ساعت در روز و ۷ ساعت در روز باشد. در

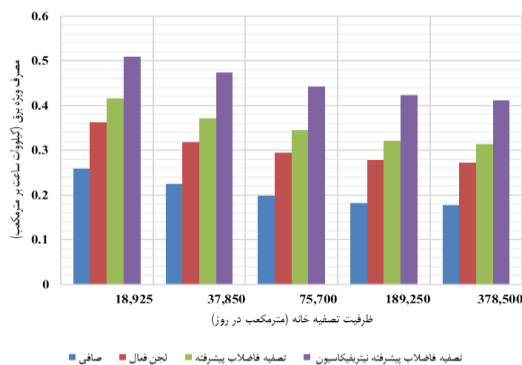
۲-۳- تصفیه فاضلاب پیشرفته با و بدون نیتروفیکاسیون
فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته مشابه فرآیند لجن فعال است با این تفاوت که در این فرآیند، قبل از تخلیه جریان فاضلاب تصفیه شده به صورت فیزیکی، یک تصفیه اضافی به شکل فیلتراسیون انجام می گیرد. این نوع فرآیندها در حذف نیتروژن، فسفر و جامدات معلق، بسیار مفیدتر هستند. در این نوع فرآیند، پساب ورودی وارد آشغال گیر شده و شن حذف می شود. پس از حذف مواد معلق در مخزن ته نشینی، هضم هوازی در فرآیند لجن فعال انجام می شود. در صورت نیاز به حذف نیتروژن، در این مرحله از باکتریهای مخصوص نیتروفیکاسیون استفاده می شود. پس از ته نشینی ثانویه، مواد شیمیایی به جریان فاضلاب تزریق می شود تا به توده جامدات باقیمانده اضافه شده و در مرحله فیلتراسیون بعدی حذف می شود. بعد از گندزدایی، آب تصفیه شده خارج می شود. لجن تغلیظ شده، پس از هضم بی هوازی و آب گیری، با استفاده از زباله سوز یا ارسال به لندفیل، دفع می شود. در شکل ۳، شمای فرآیند مذکور نشان داده شده است.



شکل ۳- فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته (Goldstein & Smith, 2002)

۳- مصرف برق در تصفیه خانههای فاضلاب و روشهای صرفه جویی انرژی در آن

در شکل ۴، مقادیر مصرف ویژه برق هر یک از فرایندهای مذکور براساس ظرفیت تأسیسات تصفیه فاضلاب بر حسب کیلووات ساعت بر مترمکعب نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، مقدار مصرف ویژه برق با توجه به افزایش ظرفیت تصفیه خانه کاهش می یابد. همچنین با توجه به افزایش سطح پیچیدگی فرایندها، مقدار مصرف ویژه برق افزایش می یابد. علت این موضوع، نیاز بیشتر به پمپاژ و در نتیجه مصرف برق بیشتر است.



شکل ۴: مصرف ویژه برق فرایندهای تصفیه فاضلاب

سناریو اول برابر با ۳۰/۷ سال است در حالی که برای همان فرآیند در سناریو دوم به ۸/۴ سال کاهش یافته است.

جدول ۱- تعرفه‌های برق برای تصفیه خانه‌های فاضلاب

۰	دیمانند قراردادی (\$/kW)	تقاضای کمتر یا برابر با ۳۰ کیلووات
۰/۰۰۴۴	هزینه مصرف در کم باری (\$/kWh)	
۰/۰۰۷۵	هزینه مصرف در میان باری (\$/kWh)	
۰/۰۱۷۷	هزینه مصرف در اوج بار (\$/kWh)	تقاضای بیشتر از ۳۰ کیلووات
۰/۵۴۵۶	دیمانند قراردادی (\$/kW)	
۰/۰۰۳۶	هزینه مصرف در کم باری (\$/kWh)	
۰/۰۰۷۱	هزینه مصرف در میان باری (\$/kWh)	
۰/۰۱۴۲	هزینه مصرف در اوج بار (\$/kWh)	

ادامه به منظور اولویت‌بندی هر یک از فناوری‌های در انطباق با میزان برق مورد نیاز هر یک از فرآیندهای تصفیه فاضلاب، توان تولیدی در هر فناوری بررسی شده است. براساس بررسی‌های انجام شده توسط تیم این تحقیق، فناوری پیشنهادی متناسب با نوع فرآیند تصفیه فاضلاب و ظرفیت آن با در نظر گرفتن کمترین نیاز به سرمایه گذاری در هر سناریو شناسایی شده و در جدول ۴ ارائه شده است. در سناریو دوم این تحقیق، فرض بر آن است که کل برق تولیدی سیستم تولید همزمان مستقر در تصفیه خانه به شبکه فروخته شود. قیمت پایه برای اتصال به شبکه فشار متوسط ۹۰۰ ریال (۰/۰۳ دلار) در نظر گرفته شده است. در این صورت مقدار برق تولید شده و درآمد حاصل از فروش برق در جدول ۵ ارائه شده است. زمان بازگشت سرمایه برای استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت براساس ظرفیت تصفیه هر یک از فرآیندهای تصفیه فاضلاب در سناریو اول و دوم در شکل ۵ نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که سرمایه گذاری برای سیستم تولید همزمان برق و حرارت در هر یک از فرآیندهای تصفیه فاضلاب در حالتی مقرون به صرفه است که ظرفیت تصفیه فاضلاب بالاتر باشد. همچنین مقایسه نتایج سناریو اول و دوم نشان می‌دهد که زمان بازگشت سرمایه در حالتی که امکان فروش تمام برق به شبکه سراسری فراهم شود، مقرون به صرفه خواهد بود. به عنوان نمونه زمان بازگشت در بالاترین ظرفیت مقایسه شده برای فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته نیتروفیکاسیون در

جدول ۲- قابلیت‌های فنی و هزینه‌های سیستم‌های تولید همزمان متداول

نوع سیستم	هزینه های نصب (\$/kW)	راندمان تولید توان (%)	راندمان تولید همزمان (%)
موتور Small Rich Burn با ظرفیت ۳۰ تا ۱۰۰ کیلووات	۴،۵۰۰	۲۸	۷۶
میکروتوربین با ظرفیت ۳۰ تا ۲۵۰ کیلووات	۴،۰۰۰	۲۶	۵۵
موتور Rich Burn با ظرفیت ۱۰۰ تا ۳۰۰ کیلووات	۳،۶۰۰	۲۹	۷۶
پیل سوختی با ظرفیت ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلووات	۵،۵۰۰	۴۲	۷۶
موتور Small Lean Burn با ظرفیت ۳۰۰ تا ۹۰۰ کیلووات	۳،۲۰۰	۳۲	۷۱
موتور Lean Burn با ظرفیت ۱ تا ۴/۸ مگاوات	۲،۵۰۰	۳۸	۷۵
توربین احتراقی با ظرفیت ۴ تا ۱۶ مگاوات	۲،۱۰۰	۳۵	۷۵

جدول ۳- مصرف و هزینه برق سالانه هر یک از فرآیندهای تصفیه فاضلاب براساس ظرفیت تصفیه

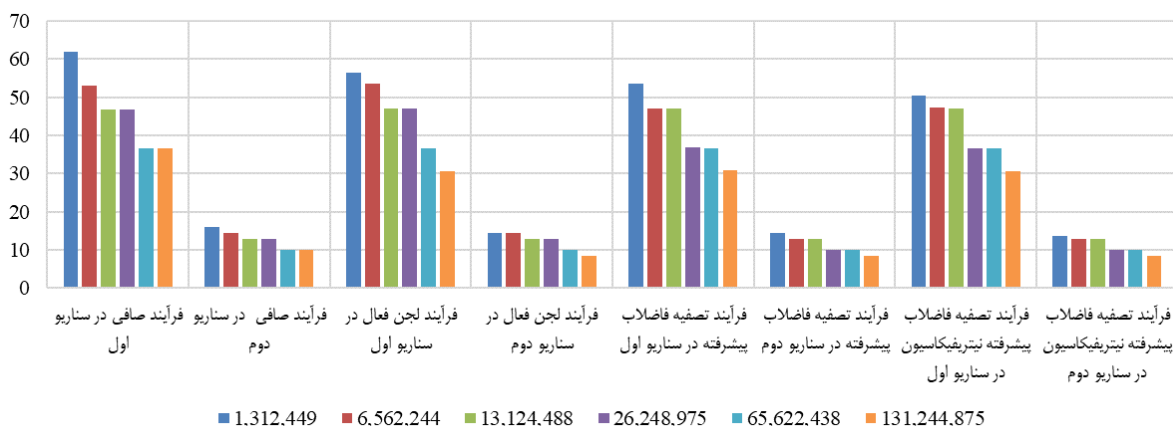
ظرفیت (مترمکعب در سال)	۱،۳۱۲،۴۴۹	۶،۵۶۲،۲۴۴	۱۳،۱۲۴،۴۸۸	۲۶،۲۴۸،۹۷۵	۶۵،۶۲۲،۴۳۸	۱۳۱،۲۴۴،۸۷۵
مصرف برق سالانه فرآیند صافی (MWh)	۶۲۹	۱،۶۹۳	۲،۹۵۳	۵،۱۹۷	۱۱،۹۴۳	۲۳،۲۳۰
مصرف برق سالانه فرآیند لجن فعال (MWh)	۷۷۵	۲،۳۷۵	۴،۱۷۳	۷،۷۱۷	۱۸،۲۴۳	۳۵،۶۹۸
مصرف برق سالانه فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته (MWh)	۹۰۰	۲،۷۲۹	۴،۸۸۲	۹،۰۲۹	۲۱،۰۶۴	۴۱،۲۱۰
مصرف برق سالانه فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته نیتروفیکاسیون (MWh)	۱،۰۲۳	۳،۳۴۰	۶،۲۰۷	۱۱،۶۲۸	۲۷،۷۵۸	۵۴،۰۷۲
هزینه برق سالانه فرآیند صافی (\$)	۵،۱۶۵	۱۳،۹۰۹	۲۴،۲۶۱	۴۲،۶۹۹	۹۵،۱۲۱	۱۹۰،۸۵۰
هزینه برق سالانه فرآیند لجن فعال (\$)	۶،۳۷۲	۱۹،۵۱۶	۳۴،۲۸۸	۶۳،۴۰۱	۱۴۹،۸۷۷	۲۹۳،۲۸۴
هزینه برق سالانه فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته (\$)	۷،۳۹۷	۲۲،۴۲۸	۴۰،۱۱۱	۷۴،۱۸۴	۱۷۳،۰۵۹	۳۳۸،۵۷۱
هزینه برق سالانه فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته نیتروفیکاسیون (\$)	۸،۴۱۰	۲۷،۴۴۱	۵۱،۰۰۱	۹۵،۵۳۳	۲۲۸،۰۵۰	۴۴۴،۲۳۹

جدول ۴- فناوری انتخابی با در نظر گرفتن کمترین نیاز به سرمایه گذاری در هر سناریو

ظرفیت (مترمکعب در سال)							نوع فناوری پیشنهادی برای سیستم تولید همزمان
۱۳۱،۲۴۴،۸۷۵	۶۵،۶۲۲،۴۳۸	۲۶،۲۴۸،۹۷۵	۱۳،۱۲۴،۴۸۸	۶،۵۶۲،۲۴۴	۱،۳۱۲،۴۴۹	فرآیند صافی	
Lean موتور Burn	Lean موتور Burn	Small موتور Lean Burn	Small موتور Lean Burn	Rich موتور Burn	میکروتوربین	فرآیند لجن فعال	
توربین احتراقی	Lean موتور Burn	Small موتور Lean Burn	Small موتور Lean Burn	Rich موتور Burn	Rich موتور Burn	فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته	
توربین احتراقی	Lean موتور Burn	Lean موتور Burn	Small موتور Lean Burn	Small موتور Lean Burn	Rich موتور Burn	فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته نیتروفیکاسیون	
۲،۷۹۵	۱،۴۴۰	۶۲۵	۳۵۵	۲۰۵	۸۰	فرآیند صافی	ظرفیت فناوری پیشنهادی برای سیستم تولید همزمان (kW)
۴،۲۹۰	۲،۱۹۵	۹۳۰	۵۰۵	۲۹۰	۱۰۰	فرآیند لجن فعال	
۴،۹۵۵	۲،۵۳۵	۱،۰۹۰	۵۹۰	۳۳۰	۱۱۰	فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته	
۶،۵۰۰	۳،۳۴۰	۱،۴۰۰	۷۵۰	۴۰۵	۱۲۵	فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته نیتروفیکاسیون	
۶،۹۸۷،۵۰۰	۳،۶۰۰،۰۰۰	۲،۰۰۰،۰۰۰	۱،۱۳۶،۰۰۰	۷۳۸،۰۰۰	۳۲۰،۰۰۰	فرآیند صافی	میزان سرمایه گذاری فناوری پیشنهادی برای سیستم تولید همزمان (\$)
۹،۰۰۹،۰۰۰	۵،۴۸۷،۵۰۰	۲،۹۷۶،۰۰۰	۱،۶۱۶،۰۰۰	۱،۰۴۴،۰۰۰	۳۶۰،۰۰۰	فرآیند لجن فعال	
۱۰،۴۰۵،۵۰۰	۶،۳۳۷،۵۰۰	۲،۷۲۵،۰۰۰	۱،۸۸۸،۰۰۰	۱،۰۵۶،۰۰۰	۳۹۶،۰۰۰	فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته	
۱۳،۶۵۰،۰۰۰	۸،۳۵۰،۰۰۰	۳،۵۰۰،۰۰۰	۲،۴۰۰،۰۰۰	۱،۲۹۶،۰۰۰	۴۲۵،۰۰۰	فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته نیتروفیکاسیون	

جدول ۵- مقدار برق تولید شده و درآمد حاصل از فروش برق سالانه هر یک از فرآیندهای تصفیه فاضلاب براساس ظرفیت تصفیه

ظرفیت (مترمکعب در سال)						
۱۳۱،۲۴۴،۸۷۵	۶۵،۶۲۲،۴۳۸	۲۶،۲۴۸،۹۷۵	۱۳،۱۲۴،۴۸۸	۶،۵۶۲،۲۴۴	۱،۳۱۲،۴۴۹	ظرفیت (مترمکعب در سال)
۲۳،۲۶۰	۱۱،۹۸۳	۵،۲۰۱	۲،۹۵۴	۱،۷۰۶	۶۶۵	برق تولید شده سالانه فرآیند صافی (MWh)
۳۵،۷۰۱	۱۸،۲۶۶	۷،۷۳۹	۴،۲۰۲	۲،۴۱۳	۸۳۲	برق تولید شده سالانه فرآیند لجن فعال (MWh)
۴۱،۲۳۵	۲۱،۰۹۶	۹،۰۷۱	۴،۹۱۰	۲،۷۴۶	۹۱۵	برق تولید شده سالانه فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته (MWh)
۵۴،۰۹۳	۲۷،۷۹۵	۱۱،۶۵۱	۶،۲۴۱	۳،۳۷۰	۱،۰۴۰	برق تولید شده سالانه فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته نیتروفیکاسیون (MWh)
۶۹۷،۷۹۹	۳۵۹،۵۱۰	۱۵۶،۰۳۷	۸۸،۶۲۹	۵۱،۱۸۰	۱۹،۹۷۳	درآمد فروش برق سالانه فرآیند صافی (\$)
۱،۰۷۱،۰۴۱	۵۴۸،۰۰۴	۲۳۲،۱۸۴	۱۲۶،۰۷۸	۷۲،۴۰۱	۲۴،۹۶۶	درآمد فروش برق سالانه فرآیند لجن فعال (\$)
۱،۲۳۷،۰۶۵	۶۳۲،۸۸۸	۲۷۲،۱۲۹	۱۴۷،۲۹۹	۸۲،۳۸۸	۲۷،۴۶۲	درآمد فروش برق سالانه فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته (\$)
۱،۶۲۲،۷۹۰	۸۳۳،۸۶۴	۳۴۹،۵۲۴	۱۸۷،۲۴۵	۱۰۱،۱۱۲	۳۱،۲۰۷	درآمد فروش برق سالانه فرآیند تصفیه فاضلاب پیشرفته نیتروفیکاسیون (\$)



شکل ۵- زمان بازگشت سرمایه استفاده از سیستم تولید همزمان برای هر یک از فرآیندهای تصفیه فاضلاب در ظرفیت‌های مختلف در دو سناریو

شبکه، مورد تحلیل قرار گرفت. براساس نتایج به دست آمده، استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت در تصفیه خانه فاضلاب با این رویکرد که تمام برق جهت مصارف داخلی در نظر گرفته شود، مردود و در عوض، در صورتی که برق تولید شده به شبکه فروخته شود، استفاده از این سیستم دارای توجیه مناسبی خواهد بود. نتایج کمی بررسی سناریوهای مختلف نشان می‌دهد بهترین وضعیت زمانی رخ می‌دهد که ظرفیت سیستم تصفیه بالاتر بوده و امکان فروش تمام برق به شبکه سراسری فراهم شود.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق هر یک از فرآیندهای متداول تصفیه فاضلاب از منظر مقدار برق مصرفی بررسی شد. در ادامه روش‌های صرفه‌جویی انرژی متداول مورد استفاده در تصفیه خانه‌های فاضلاب بررسی شد. سپس با توجه به اهمیت استفاده از سیستم تولید همزمان برق و حرارت در تصفیه خانه‌های فاضلاب، این فناوری در سناریوهای مختلف مبتنی بر شرایط کشور مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه استفاده از سیستم تولید همزمان برای دو رویکرد مصرف برق داخلی و فروش برق به

منابع

- Cui S-H, Li J-H, Jayakumar A, Luo J-L, Chuang KT, Hill JM. 2014. Effects of H₂S and H₂O on carbon deposition over La_{0.4}Sr_{0.5}Ba_{0.1}TiO₃/YSZ perovskite anodes in methane fueled SOFCs. Journal of Power Sources, Vol. 250, P. 134-42.
- Eastern Research Group, 2006, Opportunities for and Benefits of Combined Heat and Power at Wastewater Treatment Facilities, U.S. Environmental Protection Agency Combined Heat and Power Partnership.
- Energy Efficiency in Water and Wastewater Facilities: A Guide to Developing and Implementing Greenhouse Gas Reduction Programs, U.S. Environmental Protection Agency, 2013.
- Facci AL, Cigolotti V, Jannelli E, Ubertaini S. 2018. Technical and economic assessment of a SOFC-based energy system for combined cooling, heating and power. Applied Energy, Vol. 192, P. 563-74.
- Goldstein R., Smith W. 2002. Water & Sustainability (Volume 4): U.S. Electricity Consumption for Water Supply & Treatment - The Next Half Century, EPRI Project Managers.
- Helal A., Ghoneim W., Halaby A. 2013. Feasibility Study for Self-Sustained Wastewater Treatment Plants—Using Biogas CHP Fuel Cell, Micro-Turbine, PV and Wind Turbine Systems, Smart Grid and Renewable Energy, Vol. 4, P. 227-235.
- Mehr A.S., MosayebNezhad M., Lanzini A., Yari M., Mahmoudi S.M.S., Santarelli M. 2018. Thermodynamic assessment of a novel SOFC based CCHP system in a wastewater treatment plant, Energy, Vol. 150, P. 299-309.