Journal of Urban Management & Environmental Engineering

Journal homepage: https://jumee.kgut.ac.ir
Vol.1, No.1; 2023.pp: 57-68

Research paper

(Received May 8, 2023 Accepted July 5, 2023)

Technical and economic study of the use of combined solar photovoltaic/waste incinerator/Rankin cycle power plant system to produce electricity in Kerman

Saber Sadeghi*[1], Eghbal BaniAsad Asgari[2], Somayeh Farsizadeh Zarandi[3]

[1] *Associate Professor, Faculty of Mechanical and Materials Engineering, Kerman Graduate University of Industrial and Advanced Technology, Kerman, Iran*
[2] *Associate Professor, Technical and Engineering Faculty, Zabol University, Zabol, Iran*
[3] *Waste Management Organization, Kerman Municipality, Kerman, Iran*

Abstract

In this research, the technical, economic and environmental feasibility for three different scenarios, including the combined system of waste incinerator/steam power plant/solar photovoltaic power plant in waste separation mode, the combined system of waste incinerator/steam power plant/solar photovoltaic power plant in the state without waste separation and the combined digester/steam power plant/solar power plant system has been investigated for the city of Kerman. Also, the effect of changing different parameters on their technical, economic and environmental performance has been studied. The results showed that the highest return on capital and cost of electricity production is 12 years and 1.17 dollars per kilowatt respectively for the combined waste incinerator system with segregation. The mentioned values were equal to 8 years and 0.78 dollars per kilowatt and 7.8 years and 0.77 dollars per kilowatt for combined systems without separation/solar and solar digester, respectively. An increase in the initial cost of solar panels by 45% causes an increase in the price of electricity and the period of return on investment by 26%, 20% and 35%. It was digested in mixed systems with separation, without separation and digestion. Also, the increase in the initial cost of the waste incinerator by 90% caused an increase in the price of electricity and the investment return period of combined systems with separation and without separation by 37% and 39%.

Keywords: Tehran Municipality, Infectious Diseases, Smart City, Policy Making, AHP

* *Corresponding Author: Saber Sadeghi*
Email: s.sadeghi@kgut.ac.ir
Phone: 09133982711

Doi: 10.48306/jumee.2023.396486.1004

نشریه علمی مدیریت شهری و مهندسی محیط زیست

آدرس نشریه:https://jumee.kgut.ac.ir

سال اول/شماره اول/بهار ۱۴۰۲/صفحه ۵۷-۶۸

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:۱۴۰۲/۲/۱۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۴/۱۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۴/۱۴

بررسی فنی و اقتصادی استفاده از سیستم ترکیبی فوتوولتاییک خورشیدی/زباله‌سوز/سیکل رانکین نیروگاهی برای تولید الکتریسیته در کرمان

صابر صادقی*[۱]، اقبال بنی اسد عسکری[۲]، سمیه فارسی زاده زرندی[۳]

۱- دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک و مواد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان، کرمان، ایران

۲- دانشیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زابل، زابل، ایران

۳- کارشناس، شهرداری کرمان، کرمان، ایران

چکیده

بشر امروز با مشکلات خطرناک زیست‌محیطی مواجه است و برای غلبه بر آن‌ها نیازمند یافتن راه‌های جدید تأمین انرژی است. از اساسی‌ترین روش‌های موردتوجه برای تأمین انرژی، به‌کارگیری انرژی‌های تجدید پذیر می‌باشد. در تحقیق حاضر امکان‌سنجی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی برای سه سناریو متفاوت شامل سیستم ترکیبی زباله‌سوز/نیروگاه بخار/نیروگاه فوتوولتاییک خورشیدی در حالت تفکیک زباله، سیستم ترکیبی زباله‌سوز/نیروگاه بخار/نیروگاه فوتوولتاییک خورشیدی در حالت بدون تفکیک زباله و سیستم ترکیبی هاضم/نیروگاه بخار/نیروگاه فوتوولتاییک خورشیدی برای شهر کرمان موردبررسی قرارگرفته است. همچنین اثر تغییر پارامترهای مختلف بر عملکرد فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی آن‌ها موردمطالعه قرارگرفته است. نتایج نشان داد که بالاترین دوره بازگشت سرمایه و هزینه تولید برق به ترتیب برابر با ۱۲ سال و ۱/۱۷ دلار به ازای هر کیلووات مربوط به سیستم ترکیبی زباله‌سوز با تفکیک می‌باشد. مقادیر مذکور به ترتیب برابر با ۸ سال و ۰/۷۸ دلار به ازای هر کیلووات و ۷/۸ سال و ۰/۷۷ دلار به ازای هر کیلووات برای سیستم‌های ترکیبی بدون تفکیک/خورشیدی و هاضم خورشیدی به دست آمد. افزایش هزینه اولیه پانل‌های خورشیدی به‌اندازه ٪۴۵ باعث افزایش قیمت برق و دوره بازگشت سرمایه به‌اندازه ٪۲۶، ٪۲۰ و ٪۳۵ در سیستم‌های ترکیبی با تفکیک، بدون تفکیک و هاضم شد. همچنین افزایش هزینه اولیه زباله‌سوز به‌اندازه ٪۹۰، باعث افزایش قیمت برق و دوره بازگشت سرمایه سیستم‌های ترکیبی با تفکیک و بدون تفکیک به‌اندازه ٪۳۷ و ٪۳۹ شد.

کلمات کلیدی: پانل‌های فتوولتاییک، سیستم زباله‌سوز، تولید الکتریسیته، آنالیز فنی و اقتصادی

* نویسنده مسئول: صابر صادقی

ایمیل: s.sadeghi@kgut.ac.ir

شماره تماس:۰۹۱۳۳۹۸۲۷۱۱

Doi: 10.48306/jumee.2023.396486.1004

۱- مقدمه

فناپذیری سوخت‌های فسیلی، تنوع‌بخشی به منابع انرژی، توسعه پایدار، ایجاد امنیت انرژی، مشکلات زیست‌محیطی ناشی از مصارف انرژی فسیلی ازیک‌طرف و منابع پاک و ناتمام انرژی‌های نو نظیر باد، زیست‌توده، خورشید و ... از طرف دیگر باعث توجه جدی جهانیان به توسعه و گسترش استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و افزایش سهم این منابع در سبد انرژی جهانی شده است. ازجمله انرژی‌های جدید و پاک، بیوگاز است که از تخمیر بی‌هوازی زیست‌توده تولید می‌شود. درواقع فرایند زباله‌سوزی دارای مزایای کلی زیر می‌باشد: ۱- این روش مؤثرترین روش دفع زباله است که در مقایسه با سایر روش‌های دفع به زمین کمتری نیاز دارد. ۲- خاکستر باقیمانده به علت عاری بودن از مواد آلی و باکتری‌ها ازنظر بهداشتی مخاطره‌آمیز نبوده و قابل دفن است. ۳- آب‌وهوا و تغییرات جوی تقریباً تأثیر مهمی در این روش ندارد. سوزاندن پسماند در دستگاه‌های زباله‌سوز منافع جنبی نظیر استفاده از حرارت ایجادشده برای گرم کردن بویلرها و درنتیجه تولید انرژی بهره دارد. ۴- کاهش بسیار زیاد حجم پسماند، دفع مواد پلاستیکی، جدا کردن فلزات جهت استفاده مجدد.

زباله‌سوزها بازده الکتریکی بین ۱۴ تا ۲۸ درصد دارند، لذا به‌منظور جلوگیری از اتلاف بقیه انرژی، می‌توان از آن به‌عنوان منبع حرارت مرکزی به کار گرفت. از طرفی دیگر در مناطقی از کشور نظیر شهر کرمان که دارای تشعشع خورشیدی نسبتاً بالا است می‌توان از انرژی خورشیدی برای تولید الکتریسیته و کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و آلودگی‌های حاصل از آن استفاده نمود. ترکیب دو انرژی زیست‌گاز و انرژی خورشیدی می‌تواند الکتریسیته مصرفی و حرارت موردنیاز در ساختمان‌های اداری و مسکونی شهری را تأمین نماید. درواقع می‌توان کمبود الکتریسیته خورشیدی در طول ساعات بدون آفتاب در شبانه‌روز را با استفاده از بویلر زیست‌گاز جبران نمود و مشکل ناپیوستگی در تولید الکتریسیته خورشیدی را مرتفع نمود.

در حال حاضر ۵ نیروگاه زباله‌سوز با ظرفیت تولید ۱۰.۵ مگاوات الکتریسیته در کشور احداث‌شده که کمتر از ۱۰ درصد زباله‌های کشور را می‌سوزاند. بر اساس داده‌های در دسترس دو نیروگاه زباله‌سوز کشور (تهران و نوشهر) به ازای هر تن زباله می‌توان حدوداً ۱.۵ کیلووات الکتریسیته تولید نمود. فیضی و همکاران [۱] مطالعه‌ای بر روی مکان مناسب برای احداث نیروگاه زباله‌سوز انجام دادند و نشان دادند که تأسیسات زباله‌سوزی می‌بایست در یک‌فاصله معقول از منطقه جمع‌آوری زباله، بازارهای فروش انرژی و امکانات زیربنایی موردنیاز (مانند الکتریسیته، آب، گاز طبیعی و محل دفن) واقع شوند؛ به‌عبارت‌دیگر، موقعیت ایدئال برای یک تأسیسات زباله‌سوزی، محلی نزدیک به مرکز ثقل تولید زباله، خریداران انرژی تولیدی و محل دفنی برای خاکستر برجای‌مانده و زباله پذیرفته‌نشده است که در مناطق با دسترسی به امکانات زیربنایی واقع باشد.

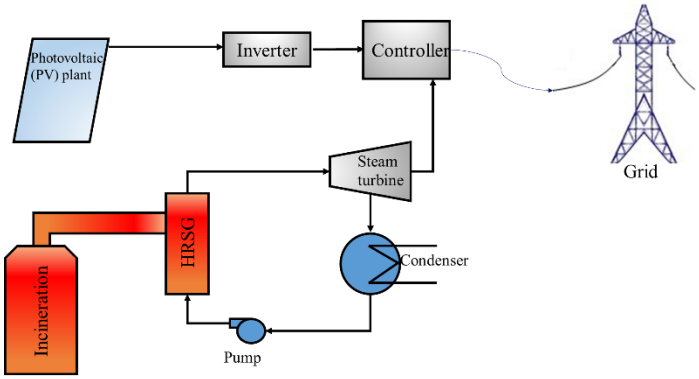
رستمی و همکاران [۲] امکان‌سنجی فنی و اقتصادی استفاده از دو سیستم ترکیبی زباله‌سوز/زیست‌گاز و کلکتورخورشیدی/زیست‌گاز را برای تولید الکتریسیته و آب شیرین در جزیره ابوموسی موردبررسی قراردادند. بر اساس نتایج آن تحقیق، اثرات زیست‌محیطی سیستم زباله‌سوز/زیست‌گاز بسیار بیشتر از سیستم کلکتور خورشیدی/زیست‌گاز است. هرچند که دوره بازگشت سرمایه سیستم زباله‌سوز/زیست‌گاز ۵ ماه کمتر از سیستم دیگر است. فرج پور باصر [۳] مطالعه‌ای بر روی اثرات زیست‌محیطی و میزان تولید انرژی یک سیستم زباله‌سوز برای شهر تهران انجام دادند. بر اساس نتایج، سیستم زباله‌سوز با حجم زباله رودی ۳۰۰ تن بر روز می‌تواند حدود ۲ مگاوات ساعت الکتریسیته تولید کند. همچنین، این نیروگاه ۲ مگاواتی از انتشار ۲۳۰۰۰ مترمکعب بیوگاز دارای ۷۰ درصد متان و ۳۰ درصد دی‌اکسید کربن و همچنین از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌کند. رضایی و همکاران [۴] امکان‌سنجی فنی و اقتصادی دو سیستم تولید گاز و زباله‌سوز شهری را با توجه به سناریوهای مختلف از خرید برق تضمینی موردبررسی قراردادند. نتیجه آن تحقیق نشان داد که سیستم تولید گاز از زباله راندمان بیشتری نسبت به سیستم زباله‌سوز داشته و نرخ بازگشت سرمایه‌ای برابر با ۴.۱۷ سال در نرخ خرید تضمینی ۰.۲۷ دلار به ازای هر کیلووات دارد.

مقمومی و همکاران [۵] سناریوهای مختلفی برای دفع زباله‌های شهری به روش‌های تولید مستقیم انرژی از زباله، سیستم محل دفن و بازیافت را ازنظر اقتصادی و زیست‌محیطی موردبررسی قراردادند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سیستم با ۵۰ درصد زباله‌سوز،

۳۰ درصد لندفیل و ۲۰ درصد بازیافت بهترین وضعیت را ازنظر زیست‌محیطی دارند. هرچند که سیستم ترکیبی لندفیل و بازیافت ازنظر اقتصادی نسبت به سایر سناریوهای بررسی‌شده بهینه‌تر است. همچنین سیستم ترکیبی زباله‌سوز و کلکتور حرارتی خورشیدی ازنظر فنی و اقتصادی موردبررسی قرار گرفت و نتایج حاصل را با سیستم زباله‌سوز تکی مقایسه شد. نتایج نشان داد که ترکیب سیستم زباله‌سوز و کلکتور خورشیدی راندمان سیستم را به ۳۲٪ افزایش می‌دهد که نسبت به سیستم زباله‌سوز تکی (۲۸٪) حدود ۱۲.۵٪ افزایش راندمان را به همراه خواهد داشت.

۲- مواد و روش‌ها

شکل ۱ شماتیک سیستم ترکیبی را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، سیستم ترکیبی شامل نیروگاه فوتوولتاییک خورشیدی، کوره زباله‌سوز، اینورتر، کنترولر، سیکل تورین بخار رانکین است. الکتریسیته تولیدی نیروگاه فوتوولتاییک خورشیدی در طول ساعات آفتابی به شبکه تزریق می‌شود. در کار حاضر سناریوی تحویل توان ثابت به شبکه در نظر گرفته‌شده است که در ساعاتی که توان خروجی نیروگاه خورشیدی کمتر از مقدار موردنظر باشد، سیستم زباله‌سوز حرارت موردنیاز سیکل نیروگاه بخار را برای تأمین الکتریسیته بیشتر و تحویل به شبکه بعد تأمین می‌کند. سه حالت مختلف برای نحوه استفاده از زباله شهری بررسی شد: الف) تمامی زباله شهری به‌صورت تفکیک نشده در دستگاه زباله‌سوز استفاده شود، ب) زباله شهری تفکیک شود و پس از جداسازی مواد پلاستیکی و فلزات در دستگاه زباله‌سوز بسوزد و ج) بجای از زباله‌سوز از هاضم استفاده‌شده و بیوگاز تولیدی (متان) به‌عنوان سوخت استفاده شود.



شکل ۱ - شکل شماتیک سیستم ترکیبی فوتوولتاییک و نیروگاه حرارتی با حرارت زباله‌سوز

در شهر کرمان هرروز به‌طور متوسط حدود ۴۰۰ تن پسماند تولید می‌شود. با توجه به اطلاعات دریافتی از سازمان مدیریت پسماند شهرداری کرمان، میزان تولید کل پسماندهای شهر کرمان طی سالهای ۹۵ تا ۹۹ به‌صورت میانگین روزانه بین ۳۰۰ الی ۳۵۰ تن در روز اعلام گردیده است (جدول ۱). مشخصات فنی و اقتصادی سیستم ترکیبی مطالعه شده در تحقیق حاضر در جدول ۲ مشخص‌شده است.

جدول ۱- کیفیت تولید کل پسماندهای شهر کرمان

ردیف	ماده	درصد
۱	نان	۱/۱۷
۲	انواع پلاستیک	۲/۷۹
۳	پت	۱/۰۵
۴	مشمع	۱/۵۹
۵	تلق	۰/۷
۶	فوم	۰/۴۹
۷	کاغذ	۳/۷۳
۸	مقوا	۳/۴۰
۹	فلزات آهن	۱/۶۲
۱۰	فلزات غیر آهنی	۰/۸۳
۱۱	پارچه	۲/۴۷
۱۲	شیشه	۲/۸۹
۱۳	چوب	۰/۹۳
۱۴	لاستیک	۰/۵۴
۱۵	چرم	۰/۴۹
۱۶	خاک و نخاله	۲/۷۵
۱۷	تتراپک	۱/۰۵
۱۸	ضایعات ویژه	۲/۳۳
۱۹	پسماند آلی	۶۹/۱۸
	مجموع کل مواد	۱۰۰
	چگالی پسماند کل (کیلوگرم بر مترمکعب)	۳۰۸/۷۷
	سرانه (کیلوگرم به ازای هر نفر در روز)	۰/۶۴

جدول ۲- پارامترهای فنی و اقتصادی استفاده شده در سیستم

تعداد پانل‌های خورشیدی	قیمت دلار (تومان)	قیمت فروش تضمینی برق (تومان بر کیلووات)	قیمت پانل خورشیدی (دلار بر کیلووات)	قیمت توربین بخار (دلار بر کیلووات)	قیمت زباله‌سوز (دلار بر کیلوگرم)	قیمت هاضم (دلار بر کیلوگرم در روز)
۴۰۰۰۰	۵۰۰۰۰	۴۹۰۰	۲۹۵۰	۱۵۰۰	۹۰	۵۰

۳- روابط حاکم

ارزش حرارتی سوخت زباله با استفاده از ترکیبات جزئی زباله محاسبه می‌شود [۶].

$$HHV = 350{,}26C + 1241.74H - 146.13O\ kJ/kg \quad (۱)$$

در رابطه فوق C، H و O به ترتیب درصد وزنی اجزا اصلی زباله است.
مقدار متان تولیدی سیستم هاضم بی‌هوازی برحسب مترمکعب در سال از رابطه زیر محاسبه‌شده است [۷]:

$$Q_{CH4} = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=0.1}^{1} k.L_0.\left(\frac{M_i}{10}\right).e^{-k.t_{ij}} \quad (۲)$$

که در رابطه بالا i افزایش سالانه، n سال انجام محاسبات (اولین سال پذیرش زباله در محل دفن،j یک‌دهم زمان افزایش سالانه، K نرخ تولید متان برحسب معکوس سال، L_0 ظرفیت تولید متان (Mg/m3) و t_{ij} *سن بخش* j/م وزن M_i زباله پذیرفته‌شده در سال iام است.
مدل زیر برای به دست آوردن مقدار توان پانل‌های فوتوولتاییک استفاده شد:

$$P_{DC} = I_t \times A_{PV} \times \eta_{PV} \times F_{T,corr} \quad (۳)$$

که I_t، A_{PV}، η_{PV} و $F_{T,corr}$ به ترتیب شدت تشعشع خورشیدی برخوردی به سطح پانل، راندمان پانل، مساحت پانل و ضریب تصحیح درجه حرارت می‌باشند.
فاصله بهینه بین هر دو ردیف پانل‌های خورشیدی[۸]:

$$d_{opt} = \frac{(h+h_f)}{\sin\alpha_p}\sin(180 - \alpha_p - \beta) \quad (۴)$$

$$\alpha_p = \tan^{-1}\left[\frac{(\tan\alpha_s)}{\cos(\gamma_s - \gamma)}\right] \quad (۵)$$

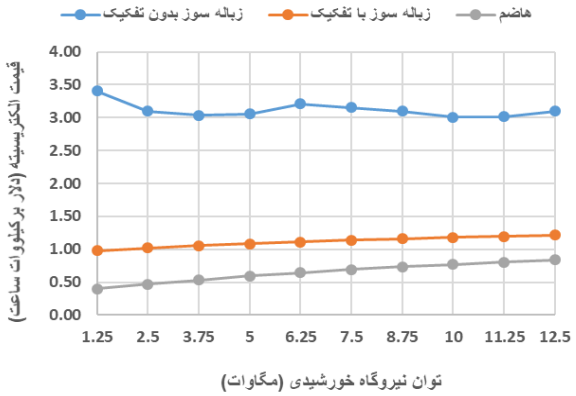
α_p در رابطه بالا،α_p و β به ترتیب زاویه ارتفاع خورشیدی و مقدار بیشینه زاویه شیب در آخرین ساعات روز در ماه دسامبر می‌باشند. همچنینγ_s و γ به ترتیب زاویه سمت خورشید و سمت پانل خورشیدی می‌باشد.

۴- بحث و نتایج

در تحقیق حاضر، نرخ بهره و تورم به ترتیب برابر با ۲۵٪ و ۴۵٪ در نشر گرفته‌شده است. نتایج به‌صورت نتایج مربوط به سیستم‌های ترکیبی زباله‌سوز/خورشیدی و هاضم/خورشیدی و سیستم زباله‌سوز تکی ارائه گردیده است. همچنین در قسمت دوم تحقیق تأثیر هزینه‌های اولیه زباله‌سوز، پانل‌های خورشیدی و سیستم هاضم بر هزینه تمام‌شده الکتریسیته، توان تولیدی و تعداد سال بازگشت سرمایه موردبررسی قرارگرفته است.

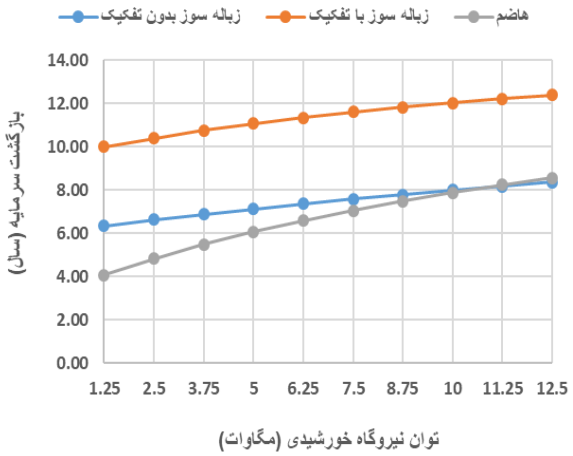
۴-۱- سیستم‌های ترکیبی زباله‌سوز/خورشیدی و هاضم/خورشیدی

لازم به ذکر است که میزان تولید در اکسید کربن برای سیستم‌های ترکیبی زباله‌سوز بدون تفکیک/خورشیدی، با تفکیک/خورشیدی و هاضم/خورشیدی به ترتیب برابر با ۴۱۴.۳۲، ۳۰۲.۸۶ و ۱۰۱.۵۳ تن در سال برآورد شد. همچنین مقدار متان تولیدی سیستم هاضم به‌اندازه ۳۰۱۹۶ مترمکعب در روز برآورد شد. شکل ۲ تأثیر افزایش توان نامی نیروگاه فوتوولتاییک بر مقدار الکتریسیته تولیدی سیستم‌های ترکیبی را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج این شکل، افزایش توان نامی نیروگاه فوتوولتاییک از ۱.۲۵ تا ۱۲.۵ مگاوات باعث افزایش الکتریسیته تولیدی سیستم‌های بدون تفکیک/خورشیدی، با تفکیک/خورشیدی و هاضم خورشیدی به ترتیب به‌اندازه ۲۰٪، ۳۸٪ و ۳۶٪ می‌شود. شکل ۲ هزینه تمام‌شده الکتریسیته را به ازای توان نیروگاه فوتوولتاییک نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، بالاترین و کمترین هزینه تولید الکتریسیته به ترتیب مربوط به سیستم‌های ترکیبی بدون تفکیکی/خورشیدی و هاضم است. افزایش توان نیروگاه فوتوولتاییک از ۱.۲۵ مگاوات تا ۱۲.۵ مگاوات باعث افزایش هزینه تولید الکتریسیته به‌اندازه ۱۹٪ و ۵۲٪ به ترتیب در سیستم‌های ترکیبی با تفکیک/خورشیدی و هاضم/خورشیدی می‌شود.



شکل ۲- توان تولیدی سیستم ترکیبی

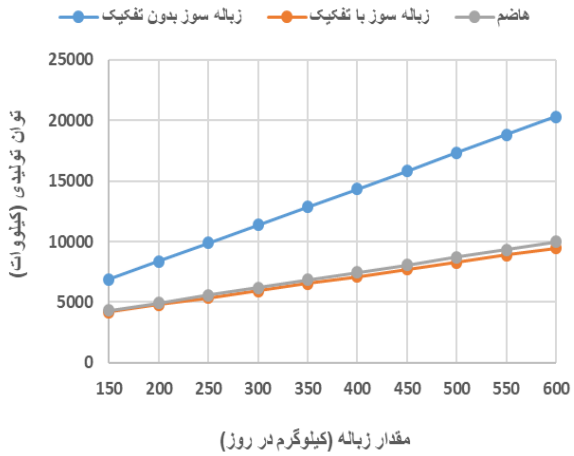
همان‌گونه که از شکل ۳ مشخص است، دوره بازگشت سرمایه تحت تأثیر افزایش توان نیروگاه فوتوولتاییک از ۱.۲۵ مگاوات تا ۱۲/۵ مگاوات به‌اندازه ۲۴٪، ۱۹٪ و ۵۲٪ به ترتیب برای سیستم‌های با تفکیک/خورشیدی، بدون تفکیک/خورشیدی و هاضم خورشیدی افزایش می‌یابد.



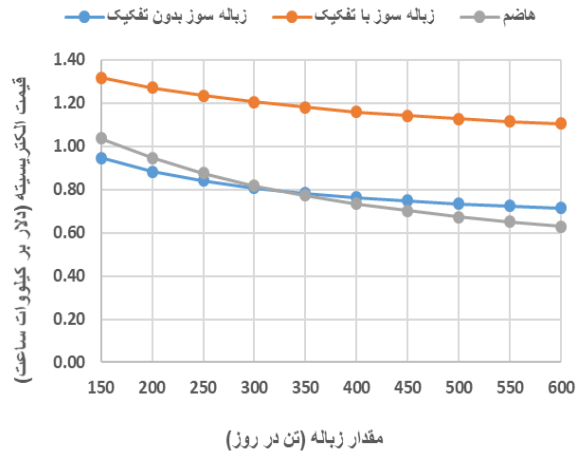
شکل ۳- تعداد سال بازگشت سرمایه سیستم ترکیبی

۴-۲- سیستم زباله‌سوز

شکل ۴ مقدار الکتریسیته تولیدی را به ازای مقدار زباله در روز نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص است، مقدار توان تولیدی برای سیستم زباله‌سوز بدون تفکیک زباله به دلیل ارزش حرارتی بیشتر سوخت، به‌اندازه ۵۳٪-۳۹٪ از سیستم زباله‌سوز با تفکیک و ۵۰٪-۳۷٪ از سیستم هاضم بیشتر است. با افزایش مقدار زباله اختلاف توان بین سیستم زباله‌سوز بدون تفکیک با دو سیستم دیگر افزایش می‌یابد. افزایش میزان تولید الکتریسیته که با افزایش مقدار زباله مصرفی حاصل می‌شود، باعث کاهش هزینه تولید الکتریسیته می‌گردد (شکل ۵). بر اساس شکل ۵ هزینه تولید الکتریسیته در کمترین و مقدار زباله بیشترین (۶۰۰-۱۵۰ تن در روز) برای سیستم زباله‌سوز بدون تفکیک و هاضم به ترتیب به‌اندازه (۵۴٪-۳۹٪) و (۷۴٪-۲۷٪) از سیستم زباله‌سوز با تفکیک کمتر است. همچنین به دلیل سرمایه اولیه کمتر و تولید توان بیشتر سیستم هاضم در مقدار زباله بالا، افزایش میزان زباله به بیشتر از ۳۵ تن در روز باعث کاهش قیمت تمام‌شده الکتریسیته سیستم هاضم نسبت به زباله‌سوز بدون تفکیک خواهد شد.

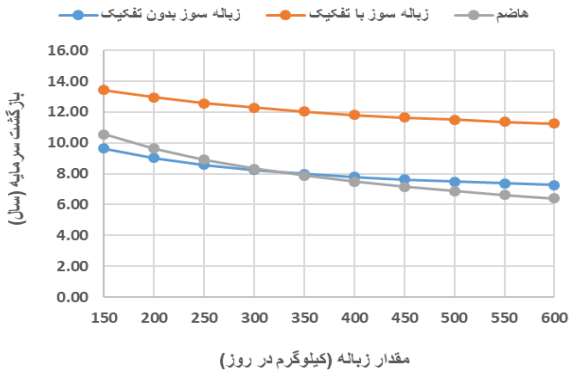


شکل ۴ - توان تولیدی زباله‌سوز



شکل ۵- هزینه تولید برق زباله‌سوز

شکل ۶ تعداد سال بازگشت سرمایه را برای سه سیستم موردبررسی نشان می‌دهد. بر اساس این شکل، روند تغییرات بازگشت سرمایه مشابه روند تغییرات هزینه تمام‌شده الکتریسیته در شکل ۵ است. کمترین بازگشت سرمایه برای سیستم هاضم (۶ سال) و برای مقدار زباله ۶۰۰ تن در روز است. اگرچه در مقادیر زباله کمتر (۳۰۰-۱۵۰ تن در روز)، سیستم زباله‌سوز بدون تفکیک با تعداد سال بازگشت سرمایه ۸-۱۰ سال کمترین دوره بازگشت سرمایه را دارد. بالاترین دوره بازگشت سرمایه‌بر اساس شکل ۶ مربوط به سیستم زباله‌سوز با تفکیک است که برابر با ۱۱-۱۳ سال به ترتیب برای مقدار زباله مصرفی ۶۰۰-۱۵۰ تن در روز محاسبه‌شده است.



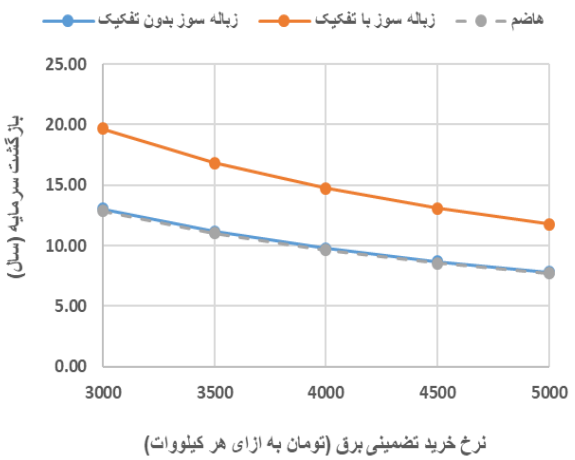
شکل ۶- تعداد سال بازگشت سرمایه سیستم زباله‌سوز

۴-۳- آنالیز حساسیت قیمت الکتریسیته و بازگشت سرمایه

در این قیمت از تحقیق تأثیر پارامترهای مختلف نظیر نرخ خرید برق تضمینی، قیمت دلار، هزینه اولیه پانل‌های خورشیدی، هزینه اولیه سیستم زباله‌سوز و سیستم هاضم بر دوره بازگشت سرمایه و هزینه تمام‌شده الکتریسیته سیستم‌های مختلف موردبررسی قرار گرفت.

۴-۳-۱- تأثیر نرخ دلار، قیمت تضمینی خرید برق و هزینه اولیه پانل خورشیدی

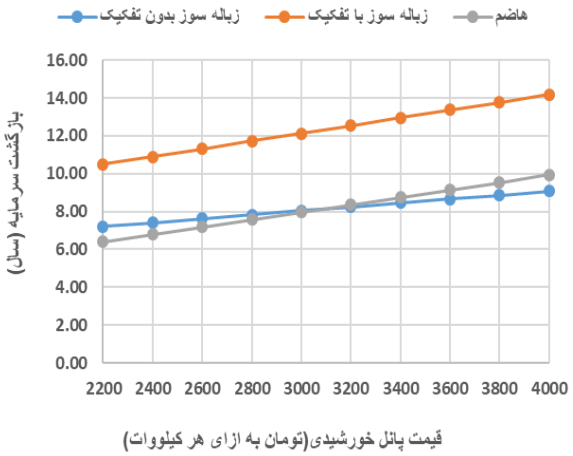
شکل ۷ تأثیر قیمت خرید تضمینی برق روی دوره بازگشت سرمایه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است، با افزایش نرخ خرید تضمینی برق از ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ تومان به ازای هر کیلووات، بازگشت سرمایه سیستم‌های موردبررسی به‌اندازه ۶۰٪ کاهش می‌یابد. همچنین بر اساس نتایج شکل ۸، با افزایش نرخ دلار از ۱۰۰۰۰ تا ۵۵۰۰۰ تومان به ازای هر دلار آمریکا، هزینه تولید الکتریسیته سیستم‌های به‌اندازه ۴۵۰٪ افزایش می‌یابد که نشان‌دهنده این است که با افزایش تورم دلاری استفاده از سیستم ترکیبی مذکور مقرون‌به‌صرفه نیست.



شکل ۷- دوره بازگشت سرمایه سیستم ترکیبی بر اساس نرخ خرید برق

شکل ۸- دوره بازگشت سرمایه سیستم ترکیبی بر اساس نرخ دلار

تأثیر قیمت پانل‌های خورشیدی روی دوره بازگشت سرمایه و هزینه تمام‌شده سیستم‌های ترکیبی موردمطالعه به ترتیب در شکل‌های ۹ و ۱۰ نشان داده‌شده است. بر اساس این شکل‌ها افزایش هزینه خرید پانل خورشیدی از ۲۲۰۰ تا ۴۰۰۰ دلار به ازای هر کیلووات باعث افزایش دوره بازگشت سرمایه و هزینه تمام‌شده الکتریسیته سیستم‌های ترکیبی زباله‌سوز با تفکیک/پانل خورشیدی، زباله‌سوز بدون تفکیک/پانل خورشیدی و سیستم هاضم/پانل خورشیدی به ترتیب به‌اندازه ۲۶٪، ۲۰٪ و ۳۵٪ خواهد شد.



شکل ۹- دوره بازگشت سرمایه سیستم ترکیبی بر اساس قیمت پانل خورشیدی

شکل ۱۰- قیمت برق سیستم ترکیبی بر اساس قیمت پانل خورشیدی

۴-۳-۲- تأثیر هزینه اولیه زباله‌سوز

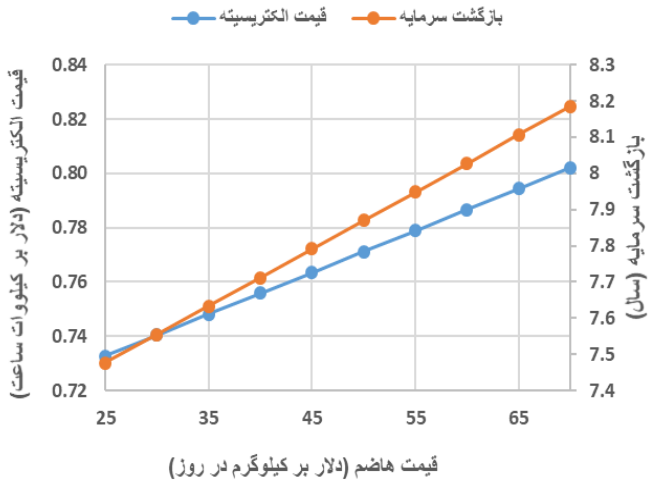
تأثیر افزایش هزینه اولیه سیسم زباله‌سوز بر قیمت الکتریسیته و دوره بازگشت سرمایه به ترتیب در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشخص‌شده است. همان‌گونه که در این شکل‌ها مشخص‌شده است، با افزایش هزینه اولیه زباله‌سوز از ۱۰ تا ۱۰۰ دلار به ازای هر کیلوگرم زباله در روز، قیمت تمام‌شده الکتریسیته و دوره بازگشت سرمایه سیستم‌های ترکیبی زباله‌سوز بدون تفکیک/ فتوولتاییک و زباله‌سوز بدون تفکیک/فتوولتاییک به ترتیب به‌اندازه ۳۹٪ و ۳۷٪ افزایش می‌یابد.

شکل ۱۱- قیمت برق سیستم ترکیبی بر اساس قیمت اولیه زباله‌سوز

شکل ۱۲- دوره بازگشت سرمایه سیستم ترکیبی بر اساس قیمت اولیه زباله‌سوز

۴-۳-۳- تأثیر هزینه اولیه هاضم

شکل ۱۳ تأثیر افزایش هزینه اولیه سیستم هاضم بر قیمت تمام‌شده الکتریسیته و دوره بازگشت سیستم ترکیبی هاضم/فوتوولتاییک نشان می‌دهد. با توجه به این شکل هزینه تمام‌شده الکتریسیته و دوره بازگشت سرمایه سیستم ترکیبی هاضم/فوتوولتاییک با افزایش هزینه اولیه هاضم از ۲۵ تا ۷۰ دلار به ازای هر کیلوگرم در روز به‌اندازه ۸.۶۶٪ افزایش می‌یابد.



شکل ۱۳- دوره بازگشت سرمایه و قیمت الکتریسیته سیستم ترکیبی هاضم/فوتوولتاییک بر اساس قیمت اولیه هاضم

۵- نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، مشخصات فنی و اقتصادی ترکیب نیروگاه فوتوولتاییک خورشیدی با سه سیستم زباله‌سوز با تفکیک، بدون تفکیک و هاضم موردبررسی و مطالعه قرار گرفت. بر اساس نتایج، در مقدار زباله کمتر (۳۰۰-۱۵۰ تن در روز)، سیستم زباله‌سوز بدون تفکیک/خورشیدی دارای کمترین هزینه تولید الکتریسیته (۰.۸۸-۰.۹۵ دلار بر کیلووات ساعت) و دوره بازگشت سرمایه (۱۰-۸ سال) است. اگرچه با افزایش میزان زباله تا ۶۰۰ تن در روز سیستم هاضم/خورشیدی کمترین قیمت تولید الکتریسیته (۰.۶۵ دلار بر کیلووات ساعت) و دوره بازگشت سرمایه (۶ سال) را دارد. با افزایش نرخ خرید تضمینی برق از ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰ تومان به ازای هر کیلووات، بازگشت سرمایه سیستم‌های موردبررسی به‌اندازه ۶۰٪ کاهش می‌یابد. افزایش هزینه اولیه پانل فتوولتاییک از ۲۲۰۰ تا ۴۰۰۰ دلار به ازای هر کیلووات دوره بازگشت سرمایه و هزینه تمام‌شده الکتریسیته سیستم‌های ترکیبی زباله‌سوز/فوتوولتاییک را از ۲۰٪ تا افزایش ٪۳۵ داد. هزینه تمام‌شده الکتریسیته و دوره بازگشت سرمایه سیستم ترکیبی هاضم/فوتوولتاییک با افزایش هزینه اولیه هاضم از ۲۵ تا ۷۰ دلار به ازای هر کیلوگرم در روز به‌اندازه ۸.۶۶٪ افزایش می‌یابد. همچنین، با افزایش هزینه اولیه زباله‌سوز از ۱۰ تا ۱۰۰ دلار به ازای هر کیلوگرم زباله در روز، قیمت تمام‌شده الکتریسیته و دوره بازگشت سرمایه سیستم‌های ترکیبی زباله‌سوز بدون تفکیک/ فتوولتاییک و زباله‌سوز بدون تفکیک/فوتوولتاییک به ترتیب به‌اندازه ۳۹٪ و ۳۷٪ افزایش می‌یابد.

۶-تشکر و قدردانی

تحقیق حاضر در قالب پروژه تحقیقاتی زیر نظر شهرداری کرمان صورت گرفت. نویسندگان این تحقیق مراتب قدردانی و تشکر از مساعدت و همکاری کارشناسان و مسئولین محترم شهرداری کرمان را دارند.

۷-مراجع

۱. فیضی، صدف و همکاران، معیارهای انتخاب مکان نیروگاه زباله‌سوز. سومین کنفرانس بین المللی مهندسی کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۹۹.

۲. رستمی، محسن و ولی زاده، زهرا، طراحی، شبیه سازی و مقایسه دو سیستم تجدیدپذیر به کمک انرژیهای خورشیدی، سوخت زیستی و زباله‌سوز جهت تولید توان و آب شیرین در جزیره ابوموسی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۴۰۰ ۲۳(۱۰)، ۱۴۰۰ صفحه ۴۶-۳۱.

۳. فرج پور باصر، سویل و همکاران، پتانسیل سنجی امکان تولید انرژی از پسماندهای خانگی نمونه مطالعاتی شهر تهران. مطالعات علوم محیط زیست، ۱۳۹۸، ۴(۳)، صفحه ۱۶۴۴-۱۶۵۲.

4. Rezaei, M., Ghobadian, B., Samadi, S. H., and Karimi, S., Electric power generation from municipal solid waste: A techno-economical assessment under different scenarios in Iran. Energy, 2018. 152, p:46-56. DOI: https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.109.

5. Maghmoumi, A., Marashi, F., and Houshfar, E., Environmental and economic assessment of sustainable municipal solid waste management strategies in Iran. Sustainable Cities and Society, 2020. 59, p:102-161. DOI: https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102161.

6. Sajid Khan, M., Huan, Q., Lin, J., Zheng, R., Gao, Z., and Yan, M., Exergoeconomic analysis and optimization of an innovative municipal solid waste to energy plant integrated with solar thermal system. Energy Conversion and Management, 2022. 258, p:115-506. DOI: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115506.

۷. طلایی خوارزمی، امیر رضا، آموزش بسته نرم افزاری ۳/۰۲ لندجم، مهر ۱۳۹۴.

8. Palenzuela, P., Zaragoza, G., Alarcon-Padilla, D.C., Characterisation of the coupling of multi-effect distillation plants to concentrating solar power plants. Energy, 2015. 82, p:986-95.