

Study of Wastewater Treatment Efficiency by Trickling Filter Method Using Solar Power Energy

Fahime Ahmadian¹, Abolfazl Rahmani Sani^{* 2}, Sepehr Soltani³, Mohammad Hasan Kowsari⁴

- 1- Graduated of Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health, School of Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
- 2- Associate Professor of Environmental Engineering, Department of Environmental Health, School of Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran
- 3- Assistant Professor of Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering, school of Engineering, Islamic Azad University of Sabzevar, Sabzevar, Iran
- 4- Graduated of Environmental Health Engineering, Department of Environmental Health, School of Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

Received: 2021/03/13

Accepted: 2021/06/27

Abstract

Background: Increasing greenhouse gas emissions and limiting fossil fuel resources to supply energy is one of the most important challenges of the last century. The electricity sector is one of the most important sources of worldwide greenhouse gas emissions and due to the irregular growth of energy consumption, the use of clean and renewable energies is essential. One of these sources is the use of solar energy.

Methods: a solar trickling filter pilot was designed and studied at Sabzevar University of Medical Sciences. wastewater was provided from the fish pool effluent. Results of project were analyzed using Retscreen.

Results: The mean removal of BOD₅, COD, TC and TSS were 90%, 69%, 92% and 53%, respectively. The removal efficiency of BOD₅, COD and TSS decreased with increasing organic and hydraulic loading rate and cloudiness. According to the environmental model for the pilot, about 0.1 tons of CO₂ emissions per year are prevented. pilot was not economically feasible due to its small size.

Conclusion: solar trickling filter system is associated with problems such as cloudiness, dust accumulation on the plates, sudden interruption of the electric motor due to battery drain and so on, however, the achieved efficiency was optimal and it is expected to expand in industrial scale in Iran with high sunny days.

***Corresponding Author:** Abolfazl Rahmani Sani

Address: Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Sabzevar University of Medical Sciences, Sabzevar, Iran

Tel: 09151708204

E-mail: RahmaniSA@medsab.ac.ir

Keywords: body image, interpersonal psychotherapy, cognitive-behavioral therapy, cosmetic surgery center

How to cite this article: Ahmadian F., Rahmani Sani A., Soltani S., Kowsari M.H. Study of Wastewater Treatment Efficiency by Trickling Filter Method Using Solar Power Energy, Journal of Sabzevar University of Medical Sciences, 2022; 29(2):303-317.

Introduction

The trickling filter is a non-submerged fixed-film biological wastewater treatment reactor; which uses rock or plastic media and wastewater is continuously distributed on it. The advantages of this system are low installation and maintenance costs, simple operation and maintenance, resistance to organic and hydraulic loading, prevention of sludge bulking, and a high ability to recover from toxic load shocks. The rapid development of wastewater treatment plants has raised energy consumption and emissions concerns. Energy consumption is the main source of carbon emissions in wastewater treatment plants. The environmental impact of energy consumption in wastewater treatment plants can be reduced through various strategies such as the use of renewable energy sources., solar energy as a renewable energy source is clean and free, provided by nature from sunlight, and its operating costs are rapidly declining. Iran is located in the world's solar and is one of the best areas to use solar energy. Photovoltaic (PV) cells convert the sun's energy directly into electricity. The purpose of this study is to install and operate a wastewater treatment system using solar energy, investigate possible problems, and economic and environmental assessments. Since no study has been done on the application of photovoltaic devices in the operation of trickling filter systems, for the first time in this study, a pilot of trickling filter wastewater treatment using solar energy is designed and installed and studied.

Methodology

This study was performed at the hydraulic laboratory of Sabzevar University of Medical Sciences. The pilot consisted of a trickling filter wastewater treatment system powered by solar energy. The required sewage was supplied from the

fish pond effluent. Sewage is stored in a storage tank and enters the primary sedimentation tank. The motor is powered by a photovoltaic system to rotate the distribution system. Wastewater was distributed to the trickling filter media by the distribution system and was treated by passing through the media and finally entering the secondary sedimentation tank. The use of sedimentation tanks is the separation of suspended solids from wastewater. The specifications of the trickling filter pilot are presented in Table 1. A photovoltaic system was used to supply the pilot's required energy. The design criterion of the photovoltaic system was based on the power supply of the pilot independent of the municipal electricity network for all hours of the day. The fixed support structure of the panels was installed at an angle of 35 degrees in the southwest direction. After installing the panels on the roof, the electric current was transmitted to the system by cables. The cables transmitted current to the charger control, from the charger control to the battery, from the battery to the inverter, and then to the motor. Table 2 presents the specifications of the photovoltaic system. The required microorganisms (fish pond effluent) were injected into the system, after the formation of biofilm on the trickling filter media, the wastewater treatment process began. To evaluate The efficiency of the system, BOD₅, COD, TSS, TC, and pH tests were performed regularly. All experiments were performed according to the Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. the results were compared with existing standards. To evaluate the effective parameters in the system performance, the effect of organic and hydraulic load and air cloudiness on the removal efficiency of BOD₅, COD, and TSS were investigated. Finally, the project was modeled in Ret Screen software.

Table 1. Trickling filter pilot specifications

Title	Title
Number of reactors	1
Trickling filter tank height (cm)	100
Trickling filter tank diameter (cm)	40
Trickling filter tank volume (liters)	125.6
Reverse current ratio	0
primary sedimentation volume (liters)	10
Secondary sedimentation volume (liters)	28
Sewage storage tank volume (liters)	100

Table 2. Photovoltaic system specifications

parameter	number	model
Solar Panel	1	200 watts
Battery	1	12 volts-65 amps
Electric motor	1	90 watts
inverter	1	300 watts
charger control	1	10 amps

Results

The mean removal of BOD₅, COD, TC, and TSS were 90, 69, 92, and 53%, respectively. Also, the pH of the wastewater was in the neutral range (7.5-6.5). The optimal removal efficiency of BOD₅ for low load trickling is up to 90% which in this study was optimal system efficiency. The general results of the analysis of influent, effluent, and removal rate during the operation period of the system are presented in Table 3. The BOD₅ removal efficiency was 89-91, 87-88, and 82-86% in three organic loading rates of 0.09, 0.19, and 0.28 kg BOD₅/m³.day respectively. COD removal efficiency was 68-73, 64-67 and 58-60 in three organic loading rates of 0.09, 0.19 and 0.28 kg

BOD₅/m³.day respectively. TSS removal efficiency was 92-91, 90-88 and 85-87% in three organic loading rates of 0.09, 0.19 and 0.28 kg BOD₅/m³.day respectively. The BOD₅ removal efficiency was 90-91, 83-88, and 76-71% in three hydraulic loading rates of 0.95, 1.3, and 2 m³/m².day respectively. The COD removal efficiency was 68-73, 59-65, and 42-46% in three hydraulic loading rates of 0.95, 1.3, and 2 m³/m².day respectively. TSS removal efficiency was 92-91, 87-90, and 76-82% in three hydraulic loading rates of 0.95, 1.3, and 2 m³/m².day respectively. BOD₅, COD and TSS removal efficiencies were 86, 65 and 88% in 25% cloudiness, 79%, 56% and 83% in 50% cloudiness and 65%, 37% and 72% in 100% cloudiness, respectively.

Table 3. Results analysis of influent, effluent, and removal efficiency during the system operation

Parameter	Influent		Effluent		Elimination efficiency		Environmental standards	
	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Average	Standard deviation	Drain to surface water	Agriculture consumption
BOD ₅	95	9.39	9	3.77	90	3.1	30	100
COD	170	11.67	52	10	69	3.8	60	200
TSS	79	9.21	6	2.63	92	2.5	40	100
TC	149	24.22	71	23.87	53	8.9	1000	1000

Operation problems

- High investment cost of photovoltaic systems.
- panel should be cleaned regularly to increase its efficiency
- Any factor that reduces the amount of sun absorption on the panel reduces its efficiency, for example, high temperatures reduce the efficiency of the panel.
- Low reliability of the solar system.
- Panel efficiency decreases in cloudy, dusty, rainy, and snowy conditions; which reduces the battery charge. The system will fail when the charge is completely discharged.
- The efficiency of solar panels decreases over time.
- Due to the change in the angle of the sun during the day, the direction of the panels should change in the direction of the sun. As a result, it is better to use a moving structure that has an

engine whose cost and the possibility of engine failure are high. Therefore, a fixed structure was used, which reduces the efficiency of the panel.

Environmental analysis of the project with Ret screen software

- Annual reduction of greenhouse gas emissions in the pilot was 93%.
- pilot activity prevents 0.1 tons of CO₂ emissions every year, which is equivalent to:
 - 47.8 liters of unused gasoline
 - 0.3 barrels of unused crude oil
 - 0.1 people who reduce energy consumption up to 20%

Financial analysis of the project using Ret screen software

A solar trickling filter system was designed for the wastewater treatment of a population of 100 people and a flow rate of 20 m³/day and was

modeled in Ret screen software. Electricity consumption in this system was estimated at 5 kW/h with a construction cost of 45 million Tomans. The following scenario is described:

Scenario 1: Economic estimation of electricity generation by the photovoltaic system in comparison with electricity generated by the subsidized electrical grid.

Scenario 2: Economic estimation of electricity generation by the photovoltaic system in comparison with electricity from electrical grid with a real price.

3: Economic estimation of electricity generation by the photovoltaic system by considering credits and reducing environmental effects in comparison with electricity generated from the real price electrical grid. In this scenario, government assistance was considered as a credit equal to 50% of the system cost with an 8% bank rate and a 12-month repayment. The Clean Development Mechanism (CDM) is defined under the Kyoto Protocol and is allocated to green credits to reduce greenhouse gases; this scenario was based on a \$ 30 credit reduction per ton of greenhouse gas emissions.

In these scenarios the plan period was 20 years, the inflation rate was 27%, the dollar price was 130,000 Rials, the real electricity price was 7210 Rials and the subsidized electricity price was 2291 Rials

Discussion

System efficiency decreased slightly with increasing organic load, which is relevant to the results of other researchers. Most studies show that with increasing organic loading rate, the efficiency of the trickling filter decreases; As the concentration of BOD increases, it becomes more difficult for bacteria to break it down; Reverse flow can be used to solve this problem; Which dilutes the effluent and increases the efficiency of the trickling filter. In addition, with increasing loading rate, the contact time of wastewater with the biological thin layer for oxidation of organic matter is reduced and the development of biofilm will be non-uniform, which will reduce the efficiency of the system. The reduction in system efficiency is not as great as the increase in organic load; because the trickling filter is resistant to changes in organic and hydraulic flows; therefore, the rate of decrease in system efficiency was less than the rate of increase in organic load. In the study of Aslam et al. (2017) in a trickling filter system with cork media, the loading

rates of BOD and COD varied between 21-26 kg BOD/m³.day and 5-26 kg COD/m³.day, respectively. With increasing loading rate, the removal efficiency of BOD and COD decreased in the range of 70-80 .In the study of Miaoka et al. (2016) with increasing the organic loading rate from 1.05 to 1.97 kgCOD/m³.day, the rate of COD and nitrogen removal decreased. According to the results of other researchers for organic loads less than 2 kgBOD / m³.day, trickling filter efficiency is above 60. However, in Scholes' research on the organic load of 5.54 kgBOD /m³.day, an efficiency of more than 60% was observed, which was 5.5 m³/m².day due to the low hydraulic load used by Scholes. If the hydraulic load is 0.2 to 8 m³/m².day, the trickling filter will also have good efficiency at high organic loads. System efficiency also decreased with increasing hydraulic loading. There are two reasons for this: the first is the reduction in time, which causes microorganisms to have less time to oxidize organic matter; As a result, the amount of treatment decreases, and the latter is the washing of bacteria due to increased flow. The reduction in system efficiency is not as great as the increase in hydraulic load; Because the trickling filter is resistant to changes in organic and hydraulic flows; Therefore, the reduction in system efficiency was less than the increase in hydraulic loading. According to other studies, with increasing hydraulic load, the efficiency of the trickling filter decreases, and up to 8 m³/m².day, trickling filter efficiency is high. however, the trickling filter has high efficiency on low organic load between 0.4 to 2 kg BOD/m³.day and hydraulic load up to 17 m³/m².day. Lemji et al. (2015) reported that to achieve significant amounts of removal efficiency in trickling filter and effluent COD in the range of 15-120 mg/l, hydraulic and organic loading be 8.36 m³/m².day and 0.75 kg BOD/m³.day respectively. In the study of Wang et al. (2015) with increasing the hydraulic load from 1 to 3 m³/m².day, the concentration of nitrogen in the effluent reached from 0.2 to 0.5 mg/l. According to the study of Kanda et al. (2017) to increase the efficiency of nitrogen removal in the trickling filter at temperatures below 15 °C, the hydraulic load should be adjusted slightly. Pilot efficiency also decreased with increasing cloudiness; Because the panels received less solar energy; Therefore, the speed of the rotating distributor is reduced and the contact surface of the wastewater with the media is reduced.

The pilot was not economical compared to power plant electricity due to 1- Cheap power plant electricity 2- Small pilot dimensions 3- High inflation rate and high dollar price. The results of the economic analysis of the project designed for a community with a population of 100 people showed that in the first scenario, the return on project capital was not possible; Which indicates that the scenario is not cost-effective compared to electricity with a subsidized price. This is due to the higher cost of electricity for the photovoltaic system compared to electricity with a subsidized price. The second scenario was cost-effective in terms of economic feasibility. Because the increase in the price of energy carriers has had a very positive effect on reducing the payback time; And with the tripling of electricity prices compared to the first scenario, the return on investment reached about 9 years. In the third scenario, a credit of 30 dollars per ton of greenhouse gas reduction was considered. According to the environmental model of the project, about 3 tons of greenhouse gas emissions are prevented from operating each year, which increases to 56 tons during the 20 years of operation of the plant. This scenario was not economical compared to the second scenario; This is due to the

inflation rate above 27% compared to the 8% bank loan interest rate.

Conclusion

The results of this study show that the trickling filter system, despite having problems, has the desired efficiency and is expected to expand in Iran with a large number of sunny days on an industrial scale. Fortunately, in recent years, due to sanctions, solar panels have been produced domestically; Therefore, the costs of setting up solar systems are reduced. It is recommended to use the solar trickling filter method to treat wastewater of small populations that do not have access to electricity.

Acknowledgment

Many thanks to all those who contributed to this research.

Conflict of Interest

Hereby, the authors of this article declare and clarify that there is no conflict of interest regarding the present study.

بررسی کارایی تصفیه فاضلاب به روش صافی چکنده با تأمین برق خورشیدی

فهمیه احمدیان^۱، ابوالفضل رحمانی ثانی^{۲*}، سپهر سلطانی^۳، محمدحسن کوثری^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

۲. دانشیار مهندسی محیط‌زیست، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

۳. استادیار مهندسی برق، گروه برق، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی سبزوار، سبزوار، ایران

۴. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی بهداشت محیط، گروه بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی سبزوار، سبزوار، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

چکیده

زمینه و هدف: افزایش گازهای گلخانه‌ای و محدودیت منابع فسیلی برای تأمین انرژی یکی از مهم‌ترین معضلات قرن اخیر است. بخش برق، از مهم‌ترین منابع انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح جهان می‌باشد و با توجه به رشد بی‌رویه مصرف انرژی، به‌کارگیری انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر ضروری است. یکی از این منابع، استفاده از انرژی خورشیدی است.

مواد و روش‌ها: یک پایلوت تصفیه فاضلاب صافی چکنده که انرژی موردنیاز آن توسط سیستم فتولتائیک تأمین می‌گردد، در دانشگاه علوم پزشکی سبزوار طراحی، راه‌اندازی و مطالعه شد. فاضلاب ورودی به پایلوت از پساب خروجی از استخر ماهی تأمین گردید. پایلوت با استفاده از نرم‌افزار RET Screen تجزیه و تحلیل شد.

یافته‌ها: میانگین حذف COD، BOD₅، TC و TSS به ترتیب ۶۹، ۹۲ و ۵۳ درصد بود. با افزایش میزان بارگذاری آلی، هیدرولیکی و درجه ابری بودن هوا راندمان حذف COD، BOD₅ و TSS کاهش یافت. مطابق با تجزیه و تحلیل زیست محیطی و مالی پایلوت، فعالیت آن موجب کاهش ۰/۱ تن انتشار سالانه CO₂ می‌شود ولی به دلیل کوچک بودن ابعاد پایلوت، از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نبود.

نتیجه‌گیری: سیستم صافی چکنده خورشیدی با مشکلاتی مانند درجه ابری بودن هوا، گردوغبار جمع‌شده روی صفحات، قطع ناگهانی موتور الکتریکی در اثر تخلیه باتری همراه است ولی دارای راندمان مطلوب بود و انتظار می‌رود در کشور ایران با تعداد روزهای آفتابی بالا، در مقیاس صنعتی گسترش یابد.

* نویسنده مسئول: ابوالفضل

رحمانی ثانی

نشانی: سبزوار، دانشگاه علوم

پزشکی سبزوار، دانشکده

بهداشت، گروه بهداشت محیط

تلفن: ۰۹۱۵۱۷۰۸۲۰۴

راینامه:rahmaniSA@medsab.ac.ir

شناسه ORCID:

0000-0003-2085-8402

شناسه ORCID نویسنده اول:

0000-0002-6892-0407

کلیدواژه‌ها:

انرژی خورشیدی، صافی چکنده،

فاضلاب، گازهای گلخانه‌ای

۱. مقدمه

صافی چکنده، یک راکتور بیولوژیکی تصفیه فاضلاب از نوع فیلم ثابت غیرمستغرق است که از مدیای سنگی یا پلاستیکی استفاده می‌کند و فاضلاب به‌صورت مداوم روی آن توزیع می‌شود [۱]. از مزایای این سیستم هزینه نصب و نگهداری پایین، کنترل و بهره‌برداری آسان‌تر، مقاومت در برابر تغییرات جریان‌های آلی و هیدرولیکی، جلوگیری از حجیم شدن لجن و توانایی بالا در بازیابی

از شوک بارهای سمی است [۲]؛ همچنین این فرایند به‌عنوان یک تکنولوژی قدرتمند برای حذف مواد آلی و ازت به‌ویژه در شهرهای کوچک شناخته شده است [۳]. حمل‌ونقل و تخلیه فاضلاب و تصفیه آن نیازمند انرژی الکتریسیته قابل‌توجهی است. به‌طور معمول هزینه‌های انرژی ۵ تا ۳۰ درصد از کل هزینه‌های بهره‌برداری از تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب را شامل می‌شود [۴]. مصرف انرژی منبع اصلی انتشار کربن در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب است. تأثیرات

هیچ پژوهشی در خصوص کاربرد دستگاه‌های فتوولتائیک در راه-اندازی سیستم صافی چکنده در ایران و خارج کشور صورت نگرفته است، در این مطالعه برای نخستین بار یک پایلوت تصفیه فاضلاب صافی چکنده با کاربرد انرژی خورشیدی طراحی، راه‌اندازی و مطالعه شد.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. طراحی و ساخت پایلوت

این تحقیق در محل آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه علوم پزشکی سبزوار انجام گرفت. پایلوت مورد مطالعه، از یک سیستم تصفیه فاضلاب صافی چکنده تشکیل شده بود که انرژی مورد نیاز آن از برق خورشیدی تأمین می‌گردید (شکل ۱-۲). با توجه به دبی فاضلاب و میزان بارگذاری آلی و هیدرولیکی، پایلوت صافی چکنده از نوع کم‌بار طراحی شد. فاضلاب مورد نیاز سیستم، از پساب استخر ماهی تأمین شد. فاضلاب در مخزن ذخیره نگهداری و با دبی Lit/h ۵ وارد واحد ته‌نشینی اولیه می‌شد. ته‌نشینی اولیه در حالت عادی حدود ۶۰-۷۰ درصد جامدات معلق و ۲۰-۳۰ درصد از BOD فاضلاب را جدا می‌کند [۱۰]. از موتور برای چرخاندن سیستم توزیع استفاده شد که انرژی مورد نیاز آن را سیستم فتوولتائیک تأمین می‌کرد. فاضلاب پس از خروج از ته‌نشینی اولیه توسط سیستم توزیع به روی مدیای صافی چکنده، پخش و با عبور از مدیا تصفیه و در نهایت وارد مخزن ته‌نشینی ثانویه می‌گردید. عملکرد ته‌نشینی ثانویه که پس از صافی چکنده قرار می‌گیرد، تولید پساب زلال بود. مشخصات پایلوت صافی چکنده در جدول ۱-۲ ارائه شده است.

زیست‌محیطی مصرف انرژی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب را از طریق استراتژی‌های مختلف از قبیل استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توان کاهش داد [۵]. با افزایش جمعیت، انرژی بیشتری برای ایجاد محیط زندگی بهتر مورد نیاز است. با این حال، سوزاندن سوخت‌های فسیلی باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی مانند تغییرات آب و هوا، گرم شدن کره زمین، آلودگی هوا و باران‌های اسیدی می‌گردد [۶]. انرژی خورشیدی یکی از انرژی‌های تجدیدپذیر است. اگر فقط ۱/۰ درصد از انرژی خورشیدی رسیده به زمین بتواند با راندمان ۱۰ درصد به انرژی الکتریسیته تبدیل شود، ۳۰۰۰ GW انرژی تولید شده است که ۴ برابر بیشتر از انرژی مصرف شده سالانه در جهان می‌باشد [۷]. ایران با قرار گرفتن در کمربند خورشیدی جهان، از ۲۸۰۰ ساعت تابش آفتاب در سال برخوردار است و متوسط تابش خورشید ۲۰۰۰ kwh/m² در سال تخمین زده می‌شود؛ بنابراین ایران دارای موقعیت مناسبی برای استفاده از انرژی خورشیدی است [۸]. انرژی الکتریسیته می‌تواند از طریق سیستم‌های انرژی خورشیدی مانند فتوولتائیک^۱ (pv) تولید شود. سلول‌های pv انرژی تابشی خورشید را به‌طور مستقیم به الکتریسیته تبدیل می‌کنند. این سلول‌ها منبع قدرت قابل توجهی برای تأمین انرژی در کشورهای در حال توسعه به‌ویژه در مناطق روستایی و دورافتاده است بدون اینکه انتشار آلاینده‌ها به داخل اتمسفر داشته باشد. افزایش بازده و کاهش قیمت سیستم‌های فتوولتائیک حاکی از نقش مهم این سیستم‌ها در سال‌های آینده است [۹].

هدف از این مطالعه، راه‌اندازی و بهره‌برداری از یک سیستم تصفیه فاضلاب با کاربرد انرژی خورشیدی، بررسی مشکلات احتمالی و ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی آن است. از آنجا که تاکنون

جدول ۱-۲. مشخصات پایلوت صافی چکنده

عنوان	شرح مشخصات
تعداد راکتور	۱
ارتفاع مخزن صافی چکنده (cm)	۱۰۰
قطر مخزن صافی چکنده (cm)	۴۰
حجم مخزن صافی چکنده (لیتر)	۱۲۵/۶
نسبت جریان برگشتی	۰
حجم ته‌نشینی اولیه (لیتر)	۱۰
حجم ته‌نشینی ثانویه (لیتر)	۲۸
حجم مخزن ذخیره فاضلاب (لیتر)	۱۰۰
دبی ورودی (Lit/h)	۵
میزان بارگذاری آلی (kg BOD/m ³ .day)	۰/۰۹ (میزان بارگذاری آلی صافی چکنده کم‌بار kg BOD/m ³ .day)

۰/۰۷-۰/۲۲ ذکر شده)

۰/۹۵ (میزان بارگذاری هیدرولیکی صافی چکنده کم بار $m^3/m^2 \cdot day$ - ۱)	میزان بارگذاری هیدرولیکی ($m^3/m^2 \cdot day$)
۴ ذکر شده (۱۱)	بازده حذف BOD_5 (%)
۹۰	جنس بستر
پوکه معدنی	

جهت جنوب غربی نصب گردید. پس از نصب پنل‌ها روی پشت‌بام، به وسیله کابل‌ها جریان به سیستم منتقل گردید. کابل‌ها جریان را به کنترل شارژر و از کنترل شارژر به باتری و از باتری به اینورتر و سپس به موتور منتقل می‌کردند. در جدول ۲-۲ مشخصات سیستم فتوولتائیک ارائه شده است.

برای تأمین برق مورد نیاز پایلوت از سیستم فتوولتائیک استفاده شد. معیار طراحی سیستم فتوولتائیک براساس تأمین مصرف انرژی پایلوت صافی چکنده به صورت مستقل از شبکه برای کل ساعات شبانه‌روز در نظر گرفته شد. براساس تحقیقات صورت گرفته در شهر سبزوار و بررسی نحوه نصب پنل‌ها در این شهر، سازه نگهدارنده ثابت پان‌ها با زاویه ۳۵ درجه در

جدول ۲-۲. مشخصات سیستم فتوولتائیک

مدل	تعداد	پارامتر
۲۰۰ وات	۱	پنل خورشیدی
۱۲ ولت - ۶۵ آمپر	۱	باتری
۹۰ وات	۱	موتور الکتریکی
۳۰۰ وات	۱	اینورتر
۱۰ آمپر	۱	شارژ کنترلر



شکل ۲-۱. نمایی از تجهیزات مورد استفاده در پایلوت

۲.۲. بررسی عملکرد و کارایی سیستم

در مرحله دوم پس از طراحی و ساخت پایلوت میکروارگانسیم‌های موردنیاز (پساب استخر ماهی) به سیستم تزریق شد و پس از تشکیل بیوفیلم بر روی مدیای صافی چکنده، فرایند تصفیه فاضلاب با برق حاصل از انرژی خورشیدی شروع گردید. راندمان سیستم با تشکیل و تثبیت لایه بیولوژیک بر روی مدیا، بررسی شد. برای بررسی آن، آزمایش‌ها BOD_5^1 ، COD^2 ، TSS^3 و pH انجام شد. تمام آزمایش‌های انجام شده براساس کتاب استاندارد روش آزمایش‌های آب و فاضلاب بررسی شد [۱۲]. به منظور بررسی پارامترهای مؤثر در عملکرد سیستم و تغییر شرایط پایلوت طی دوره بهره‌برداری، تأثیر میزان بارگذاری آلی، هیدرولیکی و درجه ابری بودن هوا در راندمان حذف BOD_5 ، COD و TSS بررسی گردید.

۳.۲. مدل‌سازی پروژه در نرم‌افزار رت اسکرین

به کارگیری نرم‌افزار انرژی‌های تجدیدپذیر برای ارزیابی فنی، اقتصادی و زیست‌محیطی پروژه‌های مربوط به سیستم‌های فتوولتائیک یکی از اقدامات کلیدی در راستای کاهش هزینه‌ها و کاهش زمان بازگشت سرمایه می‌باشد. در این مورد، نرم‌افزار رت اسکرین یکی از قوی‌ترین ابزار و نرم‌افزارهای پیش‌تاز در زمینه انرژی‌های پاک است [۱۳].

جدول ۱-۳. نتایج کلی آنالیز فاضلاب ورودی، پساب خروجی و میزان حذف طی دوره بهره‌برداری از سیستم

پارامتر	فاضلاب ورودی		پساب خروجی		بازده حذف		استانداردهای سازمان محیط زیست
	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	انحراف معیار	میانگین	
BOD_5	۹۵	۹/۳۹	۳/۷۷	۹۰	۳/۱	۳۰	تخلیه به آب‌های کشاورزی
COD	۱۷۰	۱۱/۶۷	۱۰	۶۹	۳/۸	۶۰	تخلیه به آب‌های سطحی
TSS	۷۹	۹/۲۱	۲/۶۳	۹۲	۲/۵	۴۰	
TC	۱۴۹	۲۴/۲۲	۲۳/۸۷	۵۳	۸/۹	۱۰۰۰	

۲.۲. تعیین تأثیر میزان بارگذاری آلی در راندمان حذف BOD_5 ، COD و TSS

بازده حذف BOD_5 ، COD و TSS در سه بارگذاری آلی 0.09 ، 0.19 و 0.28 $kgBOD/m^3.day$ بررسی شد. در این

۴.۲. دریافت کد اخلاق

کد اخلاق: IR-MEDSAB.REC.1397.107

۳. یافته‌ها**۱.۳. تعیین میزان راندمان سیستم طی دوره بهره‌برداری**

به منظور بررسی عملکرد سیستم صافی چکنده در حذف آلاینده‌های اصلی فاضلاب، طی دوره بهره‌برداری، نمونه‌برداری از فاضلاب ورودی و پساب خروجی از واحد تصفیه ثانویه صورت گرفت و مقادیر BOD_5 ، COD ، TSS و pH به صورت منظم آزمایش شد. پس از تعیین میزان کارایی سیستم برای حذف هر آلاینده، نتایج به دست آمده با استانداردهای موجود مقایسه گردید. میانگین حذف BOD_5 ، COD ، TSS و TC به ترتیب ۹۰، ۶۹، ۹۲ و ۵۳ درصد بود. همچنین pH فاضلاب در محدوده خنثی (۶/۵-۷/۵) قرار داشت. راندمان حذف بهینه BOD_5 برای صافی چکنده کم‌بار ۹۰-۸۰ درصد ذکر گردیده است که در این پژوهش راندمان سیستم مطلوب بود. نتایج کلی آنالیز فاضلاب ورودی، پساب خروجی و میزان حذف طی دوره بهره‌برداری از سیستم در جدول (۱-۳) ارائه شده است.

مرحله سایر پارامترها ثابت و میزان بارگذاری هیدرولیکی $0.95 m^3/m^2.day$ بود. نتایج حاصل به شرح زیر است:
۱- راندمان حذف BOD_5 در سه بارگذاری آلی 0.09 ، 0.19 و 0.28 $kgBOD/m^3.day$ به ترتیب ۹۱-۸۹، ۸۷-۸۸ و ۸۶-۸۲ درصد بود.

4- Total coliform

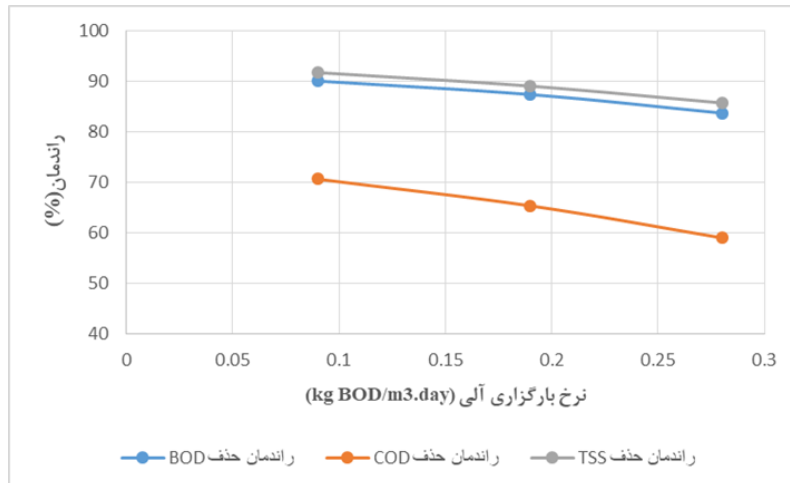
1 Biochemical oxygen demand

2- chemical oxygen demand

3- Total suspended solids

۳- راندمان حذف TSS در سه بارگذاری آلی kg BOD/m³.day ۰/۰۹، ۰/۱۹ و ۰/۲۸ به ترتیب ۸۵-۸۷، ۹۰-۹۲ و ۸۸-۹۰ درصد بود.

۲- راندمان حذف COD در سه بارگذاری آلی kg BOD/m³.day ۰/۰۹، ۰/۱۹ و ۰/۲۸ به ترتیب ۶۸-۷۳، ۶۷-۶۴ و ۵۸-۶۰ درصد بود.



نمودار ۳-۱. تأثیر میزان بارگذاری آلی در راندمان صافی چکنده

۱- راندمان حذف BOD₅ در سه بارگذاری هیدرولیکی m³/m².day ۰/۹۵، ۱/۳ و ۲ به ترتیب ۸۳-۸۸، ۷۶-۸۰ و ۷۱ درصد بود.

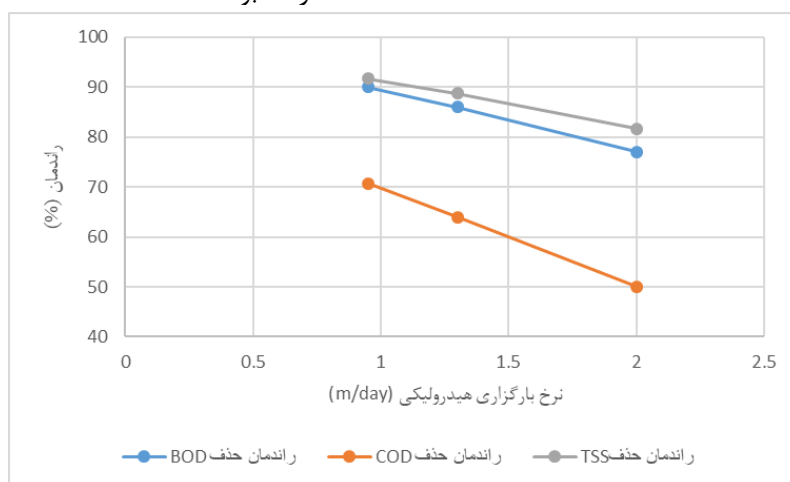
۳.۳. تعیین تأثیر میزان بارگذاری هیدرولیکی در راندمان

حذف BOD₅، COD و TSS

راندمان حذف BOD₅، COD و TSS در سه بارگذاری هیدرولیکی m³/m².day ۰/۹۵، ۱/۳ و ۲ بررسی گردید. در این مرحله سایر پارامترها ثابت و میزان بارگذاری آلی ۰/۰۹ kgBOD/m³.day بود. نتایج حاصل به شرح زیر است:

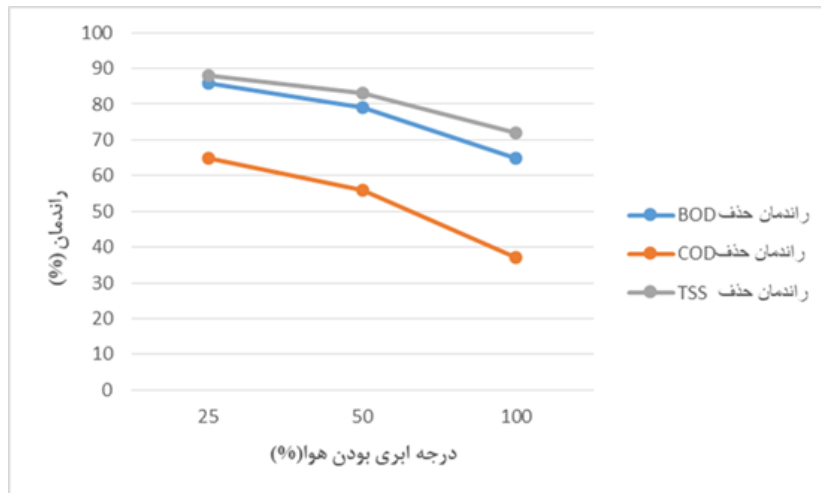
۲- راندمان حذف COD در سه بارگذاری هیدرولیکی m³/m².day ۰/۹۵، ۱/۳ و ۲ به ترتیب ۶۵-۶۸، ۴۶-۵۹ و ۴۲ درصد بود.

۳- راندمان حذف TSS در سه بارگذاری هیدرولیکی m³/m².day ۰/۹۵، ۱/۳ و ۲ به ترتیب ۸۷-۹۰، ۸۲-۸۷ و ۷۶ درصد بود.



نمودار ۳-۲. تأثیر میزان بارگذاری هیدرولیکی در راندمان صافی چکنده

موتور و سرعت توزیع کننده چرخان، میزان ابری بودن هوا شبیه سازی شد. راندمان حذف BOD_5 ، COD و TSS در درجه ابری ۲۵ درصد به ترتیب ۸۶، ۶۵ و ۸۸ درصد، در درجه ابری ۵۰ درصد به ترتیب ۷۹، ۵۶ و ۸۳ درصد و در درجه ابری ۱۰۰ درصد به ترتیب ۶۵، ۳۷ و ۷۲ درصد بود.



۴.۳. تأثیر درجه ابری بودن هوا در راندمان حذف BOD_5 و COD

در این دوره نیز به مدت ۱ هفته، پایلوت با دبی ثابت ۵ lit/h راهبری گردید. راندمان حذف BOD_5 ، COD و TSS در درجه ابری ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد بررسی گردید. با تغییر دور

نمودار ۳-۳. تأثیر درجه ابری بودن هوا در راندمان صافی چکنده

یکی از کاربردهای نرم افزار رت اسکرین تجزیه و تحلیل میزان انتشار آلاینده ها می باشد. این نرم افزار میزان انتشار گازهای گلخانه ای به خصوص CO_2^1 را به ازای میزان سوخت مصرفی محاسبه و تجزیه و تحلیل می کند و با کاهش میزان انتشار این گازها به ازای احداث نیروگاه های انرژی پاک مقایسه می نماید. در ادامه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل زیست محیطی ارائه شده است:

- کاهش سالیانه انتشار گازهای گلخانه ای در پایلوت ۹۳٪ گزارش شد.

- در هر سال از فعالیت پایلوت حدود ۰/۱ تن از انتشار CO_2 جلوگیری می شود که معادل است با:

- ۱- ۴۷/۸ لیتر بنزین مصرف نشده
- ۲- ۰/۳ عدد بشکه های نفت خام مصرف نشده
- ۳- ۰/۱ نفر از افرادی که مصرف انرژی را تا ۲۰٪ کاهش می دهند

۷.۳. تجزیه و تحلیل مالی پروژه با استفاده از نرم افزار Ret screen

یکی از قابلیت های نرم افزار رت اسکرین پیش بینی مقرون به صرفه بودن پروژه است. به منظور تجزیه و تحلیل بهتر به وسیله نرم افزار طرح های مختلف اقتصادی برای پایلوت و پروژه ای

۵.۳. مشکلات بهره برداری

- هزینه سرمایه گذاری سیستم فتوولتائیک بالا است.
- برای افزایش کارایی پنل، باید به صورت منظم تمیز شود.
- هر عاملی که باعث شود میزان جذب خورشید روی پنل کم شود موجب کاهش کارایی آن می شود برای مثال دمای زیاد سبب کاهش کارایی پنل می شود.
- قابلیت اطمینان سیستم خورشیدی پایین است.
- کارایی پنل در شرایط ابری، گردوغبار، بارندگی و برف کاهش می یابد که موجب کاهش شارژ شدن باتری توسط پنل می شود. باتری تا مدتی در این شرایط پاسخگوی نیاز سیستم خواهد بود و با تخلیه کامل شارژ آن سیستم از کار می افتد.
- راندمان صفحات خورشیدی به مرور زمان کاهش می یابد.
- به علت تغییر زاویه تابش خورشید در طول روز، باید جهت پنل ها در جهت تابش خورشید تغییر کند؛ در نتیجه بهتر است برای افزایش راندمان سیستم از استراکچر متحرک استفاده کرد که دارای موتور است پس هزینه آن بالا و احتمال خرابی موتور زیاد است؛ بنابراین از استراکچر ثابت استفاده شده که موجب کاهش راندمان پنل می شود.

۶.۳. تجزیه و تحلیل زیست محیطی پروژه با استفاده از نرم افزار Ret screen

طرح کمک دولتی به صورت وام برابر ۵۰ درصد هزینه سیستم با نرخ بهره وام ۸ درصد و بازپرداخت ۱۲ ماهه در نظر گرفته شد. امروزه با افزایش رویکرد جهان به مسائل زیست محیطی و اهمیت مقولاتی چون گرمایش جهانی، سازوکارهای متعددی نظیر سازوکار توسعه پاک^۱ (CDM) تحت پروتکل کیوتو تعریف شده است و برای کاهش گازهای گلخانه‌ای، اعتبارهای سبز تخصیص داده می‌شود؛ این طرح با فرض تخصیص اعتباری معادل ۳۰ دلار به ازاء یک تن گاز گلخانه‌ای در نظر گرفته شد.

در طرح‌های موردنظر دوره طرح ۲۰ ساله، نرخ تورم ۲۷ درصد، قیمت دلار ۱۳۰۰۰۰ ریال، قیمت واقعی برق ۷۲۱۰ و قیمت برق یارانه‌ای ۲۲۹۱ ریال فرض گردید. در جداول ۳-۲ و ۳-۳ نتایج حاصل از ارزیابی اقتصادی پایلوت و پروژه پیشنهادی ارائه شده است.

فرضی برای جمعیت ۱۰۰ نفر ارائه شد. براساس اهداف طرح یک سیستم صافی چکنده خورشیدی برای تصفیه فاضلاب اجتماعی با جمعیت ۱۰۰ نفر و دبی ۲۰ مترمکعب در روز طراحی و در نرم‌افزار رت‌اسکرین مدل‌سازی گردید. میزان مصرف برق در این سیستم ۵ کیلووات در ساعت با هزینه احداث ۴۵ میلیون تومان برآورد شد. در ادامه طرح‌های موردنظر شرح داده شده است.

طرح اول: برآورد اقتصادی تولید برق به وسیله سیستم فتوولتائیک در مقایسه با برق حاصل از شبکه دارای یارانه
 طرح دوم: برآورد اقتصادی تولید برق به وسیله سیستم فتوولتائیک در مقایسه با برق حاصل از شبکه دارای قیمت واقعی
 طرح سوم: برآورد اقتصادی تولید برق به وسیله سیستم فتوولتائیک با در نظر گرفتن وام و کاهش اثرات زیست محیطی در مقایسه با برق حاصل از شبکه دارای قیمت واقعی. در این

جدول ۲-۳. نتایج حاصل از ارزیابی اقتصادی پایلوت در مقایسه با برق نیروگاهی

پارامتر	طرح اول	طرح دوم
هزینه سرمایه‌گذاری (ریال)	۶۰,۰۰۰,۰۰۰	۶۰,۰۰۰,۰۰۰
هزینه بهره‌برداری سالانه (ریال)	۶۰۰,۰۰۰	۶۰۰,۰۰۰
درآمد و پس‌انداز کلی سالانه (ریال)	۴۴۱,۵۲۲	۱,۳۸۹,۵۱۱
جریان مالی سالانه خالص (ریال)	-۱۵۸,۴۷۸	۷۸۹,۵۱۱
نرخ بازده داخلی IRR (%)	-۱۰۰	-۱۸/۹
برگشت سرمایه (سال)	پروژه >	پروژه >
ارزش خالص فعلی NPV (ریال)	-۳۵۳,۰۴۴,۴۲۲	-۲۶۶,۳۳۱,۸۸۵
نسبت هزینه - فایده (B - C)	-۴/۹	-۳/۴

جدول ۳-۳. نتایج حاصل از ارزیابی اقتصادی پروژه پیشنهادی در مقایسه با برق نیروگاهی

پارامتر	طرح اول	طرح دوم	طرح سوم
هزینه سرمایه‌گذاری (ریال)	۴۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۴۵۰,۰۰۰,۰۰۰	۴۵۰,۰۰۰,۰۰۰
هزینه بهره‌برداری سالانه (ریال)	۴,۵۰۰,۰۰۰	۴,۵۰۰,۰۰۰	۴,۵۰۰,۰۰۰
درآمد و پس‌انداز کلی سالانه (ریال)	۱۱,۰۳۸,۰۳۸	۳۴,۷۳۷,۷۸۰	۴۵,۵۹۱,۹۷۸
جریان مالی سالانه خالص (ریال)	۶,۵۳۸,۰۳۸	۳۰,۲۳۷,۷۸۰	۱۱,۲۳۵,۶۰۰
نرخ بازده داخلی IRR (%)	-۱۷/۹	۱/۵	-۱/۱
برگشت سرمایه (سال)	پروژه >	۹/۱	۱۰/۳
ارزش خالص فعلی NPV (ریال)	-۱,۹۴۱,۰۷۹,۲۷۳	۲۲۶,۷۳۴,۱۵۵	۹۳,۴۵۷,۶۰۹
نسبت هزینه - فایده (B - C)	-۳/۳	۱/۵	۱/۴

۴. بحث و نتیجه گیری

راندمان سیستم، مطلوب بود. با افزایش میزان بارگذاری آلی، هیدرولیکی و درجه ابری بودن هوا بازده سیستم کاهش یافت. پایلوت موجب کاهش ۰/۱ تن انتشار سالانه CO₂ می‌شد؛ ولی به دلیل کوچک بودن ابعاد آن از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نبود. پروژه پیشنهادی در مقایسه با برق نیروگاهی با قیمت واقعی مقرون به صرفه بود.

راندمان سیستم با افزایش میزان بارگذاری آلی کاهش جزئی داشت که مطابق با نتایج سایر پژوهشگران است. بیشتر مطالعات نشان می‌دهند که با افزایش نرخ بارگذاری آلی، راندمان صافی چکنده کاهش می‌یابد؛ زیرا با افزایش غلظت BOD تجزیه آن توسط باکتری‌ها سخت‌تر می‌شود؛ بنابراین کاهش آن منطقی است. برای حل این مشکل می‌توان از برگشت جریان استفاده کرد که باعث رقیق شدن پساب و افزایش بازدهی صافی چکنده خواهد شد. با افزایش نرخ بارگذاری، زمان تماس فاضلاب با لایه نازک بیولوژیکی برای اکسیداسیون مواد آلی کاهش می‌یابد و توسعه بیوفیلم به صورت غیریکنواخت خواهد بود که منجر به کاهش راندمان سیستم خواهد شد. میزان کاهش در راندمان سیستم به اندازه میزان افزایش بارگذاری آلی نمی‌باشد؛ زیرا صافی چکنده در مقابل تغییرات جریان‌های آلی و هیدرولیکی مقاوم است؛ بنابراین میزان کاهش در راندمان سیستم کمتر از میزان افزایش بارگذاری آلی خواهد بود. در پژوهش لمجی^۱ و همکارانش (۲۰۱۳) راندمان صافی چکنده برای تمامی دبی‌ها و نرخ‌های بارگذاری آلی مورد آزمایش، بالای ۸۰ درصد بود و با افزایش دبی جریان و غلظت COD، کاهش اندکی در راندمان فیلتر وجود داشت. در مطالعه آسلا^۲ و همکارانش (۲۰۱۷) در یک سیستم صافی چکنده با مدیای چوب‌پنبه، میزان بارگذاری BOD و COD به ترتیب بین ۲۱-۶ kg BOD/m³.day و ۵-۲۶ COD/m³.day متغیر بود و با افزایش نرخ بارگذاری، راندمان حذف BOD و COD در محدوده ۸۰-۷۰ درصد کاهش یافت. در پژوهش میائوکا^۳ و همکارانش (۲۰۱۶) با افزایش نرخ بارگذاری آلی از ۱/۰۵ به ۱۱/۹۷ kg COD/m³.day، میزان حذف COD و ازت کاهش یافت. با توجه به نتایج سایر پژوهشگران برای بارهای آلی کمتر از ۱۱/۹۷ kgBOD/m³.day، بازده صافی چکنده بالای ۶۰ درصد است؛ البته در پژوهش اسکولز^۴ برای بار آلی ۵/۵۴ kgBOD/m³.day نیز بازده بیشتر از ۶۰ درصد مشاهده شده که به علت بار هیدرولیکی کم

۵/۵ m³/m².day به کار برده شده توسط اسکولز بود. اگر بار هیدرولیکی ۰/۲ تا ۸ باشد، در بار آلی بالا نیز صافی چکنده بازده خوبی خواهد داشت. راندمان سیستم با افزایش میزان بارگذاری هیدرولیکی نیز کاهش یافت که این امر می‌تواند دو علت داشته باشد: اولی کاهش زمان ماند که باعث می‌شود میکروارگانسیم‌ها زمان کمتری برای اکسید کردن مواد آلی داشته باشند؛ در نتیجه میزان تصفیه کمتر می‌شود و دومی شسته شدن باکتری‌ها به علت بیشتر شدن جریان است. میزان کاهش در راندمان سیستم به اندازه میزان افزایش بارگذاری هیدرولیکی نمی‌باشد؛ زیرا صافی چکنده در مقابل تغییرات جریان‌های آلی و هیدرولیکی مقاوم است؛ بنابراین میزان کاهش در راندمان سیستم کمتر از میزان افزایش بارگذاری هیدرولیکی خواهد بود. طبق مطالعات سایر پژوهشگران، با افزایش بار هیدرولیکی بازده صافی چکنده کاهش و تا بار هیدرولیکی ۸ m³/m².day صافی چکنده بازده بالایی دارد؛ البته با بررسی مطالعات در بار آلی کم بین ۰/۴ kg BOD/m³.day تا ۲ و بار هیدرولیکی تا مقدار ۱۷ m³/m².day هم صافی چکنده بازده بالایی دارد. لمجی و همکاران (۲۰۱۵) گزارش کردند که به منظور دستیابی به مقادیر قابل توجهی از راندمان حذف در صافی چکنده و میزان COD پساب در رنج ۵-۱۲۰ mg/l، میزان بارگذاری هیدرولیکی و آلی به ترتیب ۸/۳۶ m³/m².day و ۰/۷۵ kg BOD/m³.day باشد. در مطالعه وانگ^۵ و همکارانش (۲۰۱۵) با افزایش میزان بارگذاری هیدرولیکی از ۱ به ۳ m³/m².day، غلظت ازت در پساب از ۰/۲ به ۰/۵ mg/l رسید. مطابق بررسی کاندا^۶ و همکارانش (۲۰۱۷) برای افزایش راندمان حذف نیترژن در صافی چکنده در دمای کمتر از ۱۵ درجه سانتی‌گراد، باید بارگذاری هیدرولیکی به میزان کم تنظیم گردد [۲۰-۱۴]. راندمان پایلوت با افزایش درجه ابری بودن هوا نیز کاهش یافت؛ زیرا پنل‌ها انرژی خورشیدی کمتری دریافت می‌کردند؛ بنابراین سرعت توزیع‌کننده چرخان کاهش یافته و سطح تماس فاضلاب با مدیا کاهش می‌یابد.

پایلوت در مقایسه با برق نیروگاهی اقتصادی نبود که دلایل این موضوع عبارتند از: ۱- ارزان بودن برق نیروگاهی ۲- کوچک بودن ابعاد پایلوت ۳- نرخ بالای تورم و قیمت بالای دلار. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل اقتصادی پروژه طراحی شده برای

اقتصادی و زیست محیطی ایجاد نیروگاه فتوولتائیک با توان ۱ مگاوات پرداختند و نتایج نشان داد که با احداث این نیروگاه با هزینه‌های نزدیک به ۵ میلیارد تومان، علاوه بر بازگشت سرمایه مصرف شده بعد از گذشت حدود ۶ سال، بسیاری از هزینه‌های جاری این نیروگاه به وسیله فروشی برق مازاد تولیدی تأمین و در کنار سایر مزایای زیست محیطی، در مصرف بنزین ۶۷۰ هزار لیتر صرفه‌جویی شد [۲۱].

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سیستم صافی چکنده با وجود داشتن مشکلات، دارای راندمان مطلوب می‌باشد و انتظار می‌رود در کشور ایران با تعداد روزهای آفتابی بالا در مقیاس صنعتی گسترش یابد. خوشبختانه در چند سال اخیر به دلیل تحریم‌ها، پنل‌های خورشیدی در داخل کشور تولید شده؛ بنابراین هزینه‌های راه‌اندازی سیستم‌های خورشیدی کاهش می‌یابد. پیشنهاد می‌شود که برای تصفیه فاضلاب جمعیت‌های کوچک که دسترسی به برق وجود ندارد، از روش صافی چکنده خورشیدی استفاده گردد.

اجتماعی با جمعیت ۱۰۰ نفر نشان داد که در طرح اول بازگشت سرمایه پروژه امکان‌پذیر نبود که نشان‌دهنده مقرون‌به‌صرفه بودن طرح در مقایسه با برق دارای قیمت یارانه‌ای است. این موضوع ناشی از قیمت تمام‌شده بیشتر برق سیستم فتولتائیک در مقایسه با برق دارای قیمت یارانه‌ای می‌باشد. طرح دوم از نظر امکان‌سنجی اقتصادی، مقرون‌به‌صرفه بود؛ زیرا افزایش قیمت حامل‌های انرژی تأثیر بسیار مثبتی در کاهش زمان بازگشت سرمایه داشته است به نحوی که با ۳ برابر شدن قیمت برق نسبت به طرح اول زمان بازگشت سرمایه به حدود ۹ سال رسید. در طرح سوم اعتباری معادل ۳۰ دلار به ازای کاهش یک تن گاز گلخانه‌ای در نظر گرفته شد. براساس مدل زیست‌محیطی انجام‌شده برای پروژه در هر سال از فعالیت آن، حدود ۳ تن از انتشار گازهای گلخانه‌ای جلوگیری می‌شود که در طول ۲۰ سال فعالیت نیروگاه این مقدار به ۵۶ تن می‌رسد. این طرح در مقایسه با طرح دوم مقرون‌به‌صرفه نبود که این موضوع ناشی از نرخ تورم بالای ۲۷ درصد در مقایسه با نرخ بهره وام ۸ درصدی است. جعفری موعاری و همکارانش (۱۳۹۵) با استفاده از نرم‌افزار Retscreen به ارزیابی فنی،

References

- [1]. Żyłka R, Dąbrowski W, Gogina E, Yancan O. Trickling filter for high efficiency treatment of dairy sewage. *Journal of Ecological engineering*. 2018;19(4).
- [2]. Bornemann G, Waßer K, Tonat T, Moeller R, Bohmeier M, Hauslage J. Natural microbial populations in a water-based biowaste management system for space life support. *Life sciences in space research*. 2015 Nov 1;7:39-52.
- [3]. Zhao Q, Zhong H, Wang K, Wei L, Liu J, Liu Y. Removal and transformation of organic matters in domestic wastewater during lab-scale chemically enhanced primary treatment and a trickling filter treatment. *Journal of Environmental Sciences*. 2013;25(1):59-68.
- [4]. Chae K-J, Kang J. Estimating the energy independence of a municipal wastewater treatment plant incorporating green energy resources. *Energy Conversion and Management*. 2013;75:664-72.
- [5]. Di Fraia S, Massarotti N, Vanoli L. A novel energy assessment of urban wastewater treatment plants. *Energy conversion and management*. 2018;163:304-13.
- [6]. Sampaio PG, González MO. Photovoltaic solar energy: Conceptual framework. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017 Jul 1;74:590-601.
- [7]. Alamdari P, Nematollahi O, Alemrajabi AA. Solar energy potentials in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2013; 21:778-88. (Persian)
- [8]. QaemiRad M, Shahin A. Analysis of the development perspective of solar energy technologies in Iran by a combined method of SWOT and DEMATEL. 2017; 2(5): 97-130. (Persian)
- [9]. Shahsavari A, Akbari M. Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018; 90:275-91. (Persian)
- [10]. Karia G, Christian R. Wastewater treatment: Concepts and design approach: PHI Learning Pvt. Ltd.; 2013.
- [11]. Metcalf & Eddy, Abu-Orf M, Bowden G, Burton FL, Pfrang W, Stensel HD, Tchobanoglous G, Tsuchihashi R, AECOM (Firm). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery*. McGraw Hill Education; 2014.
- [12]. Baird RB. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd. Water Environment Federation, American Public Health Association, American Water Works Association; 2017.
- [13]. Pan Y, Liu L, Zhu T, Zhang T, Zhang J. Feasibility analysis on distributed energy system of Chongming County based on RETScreen software. *Energy*. 2017 Jul 1;130:298-306.
- [14]. Lemji HH, Eckstädt H. A pilot scale trickling filter with pebble gravel as media and its performance to remove chemical oxygen demand from synthetic brewery wastewater. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*. 2013;14(10):924-33
- [15]. Aslam MMA, Khan ZM, Sultan M, Niaz Y, Mahmood MH, Shoaib M, et al. Performance Evaluation of Trickling Filter-Based Wastewater Treatment System Utilizing Cotton Sticks as Filter Media. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2017;26(5).
- [16]. Miyaoka Y, Hatamoto M, Yamaguchi T, Syutsubo K. Eukaryotic community shift in response to organic loading rate of an aerobic trickling filter (down-flow hanging sponge reactor) treating domestic sewage. *Microbial ecology*. 2017 May 1;73(4):801-14.
- [17]. Ahmadpoor M, Monajemi p. A review of the parameters affecting the performance of trickling filter for wastewater treatment. *First International Conference on Water, Environment and Sustainable Development*. 2016 (Persian)
- [18]. Lemji HH, Eckstädt H. Efficiency of a pilot scale trickling filter to treat industrial brewery wastewater: influence of hydraulic loading. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2015 Jan;90(1):201-7.
- [19]. Wang H, Ji G, Bai X, He C. Assessing nitrogen transformation processes in a trickling filter under hydraulic loading rate

- constraints using nitrogen functional gene abundances. *Bioresource technology*. 2015 Feb 1;177:217-23.
- [20]. Kanda R, Kishimoto N, Hinobayashi J, Hashimoto T, Tanaka S, Murakami Y. Influence of temperature and COD loading on biological nitrification-denitrification process using a trickling filter: an empirical modeling approach. *International Journal of Environmental Research*. 2017 Mar 1;11(1):71-82.
- [21]. Jaafari Muqari HM, Fathi M, Poormonafi S. Technical and economical study of the photovoltaic electricity use in Isfahan University of Technology using RETScreen software. Second National Conference on New and Clean Energy Management. 2016 (Persian)