

Research Paper

مقاله پژوهشی

Presenting an Adaptable Financial Model for
Creating Sustainable Energy Using
Hydroelectricity in Mashhad Water and
Wastewater Company

ارائه مدل مالی تطبیق‌پذیر ایجاد انرژی پایدار با استفاده
از روش برق‌آبی در شرکت آب و فاضلاب مشهد

Javad Barati¹, Maryam Rasoulzadeh^{2*}, Mahshid Sami³,
Alireza Sedghiyan⁴ and Nahid Rajabzadeh⁵

جواد براتی^۱، مریم رسول‌زاده^{۲*}، مهشید سامی^۳،
ناهد رجب‌زاده^۵

1- Faculty Member of Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.

۱- عضو هیئت علمی جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

2- Researcher, Academic Center for Education, Culture and Research (ACECR), Mashhad, Iran.

۲- پژوهشگر جهاد دانشگاهی خراسان رضوی، مشهد، ایران.

3- Master of Economics, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

۳- کارشناس ارشد اقتصاد، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران.

4- Master of Civil Engineering, Environmental Orientation, Manager of Energy Office of WWC of Mashhad, Iran.

۴- کارشناس ارشد عمران، گرایش محیط‌زیست، مدیر دفتر انرژی شرکت آب و فاضلاب مشهد، ایران.

5- Ph.D. in Economics, Water and Wastewater Company of Mashhad, Iran.

۵- دکترای اقتصاد، شرکت آب و فاضلاب مشهد، ایران.

*نویسنده مسئول، ایمیل: mrasoulzadeh@gmail.com

*Corresponding Author, Email: mrasoulzadeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

Received: 14/07/2024

تاریخ اصلاح: ۱۴۰۳/۰۸/۱۴

Revised: 04/11/2024

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۶

Accepted: 16/11/2024

© IWWA

© انجمن آب و فاضلاب ایران

Abstract

چکیده

In the current conditions of the world, preserving energy and creating sustainable sources has double importance. Therefore, it is necessary for the governments to move towards the use of sustainable energy in order to preserve resources and energy as well as generate income. The current research was conducted with the aim of producing sustainable energy using the hydroelectric method and providing an adaptable economic model for Mashhad Water and Wastewater Company. To ensure that the results are generalizable to any condition, location, and time, the calculations were arranged in such a way that if the required specifications for generating electricity through hydropower—based on technical principles and formulas from reliable scientific references—are considered as primary input data, the secondary data will show the amount of electricity generated and the resulting revenue based on the electricity purchase tariff. Finally, the decision maker or investor, by calculating the amount of fixed and annual variable costs for the implementation of such a project and entering it into the necessary formulas, can calculate economic indicators such as the cost price of each kilowatt hour and the internal rate of return. Investment return period (IRR), net present value (NPV) of the project to decide whether or not to invest and to make a decision with their help. The results showed that in the studied sample with a flow rate of 0.075 m³/s and a height of 8 m, the amount of electricity produced is 30,077 kw/hr/year with a cost price of 79,000 Rials, which means that the project is not economical with the values of this sample.

در شرایط کنونی جهان، حفظ انرژی و ایجاد منابع پایدار برای آن دارای اهمیت دوچندان است. لذا نیاز است که دولت‌ها در راستای حفظ منابع و انرژی و همچنین درآمدزایی، به سمت استفاده از انرژی‌های پایدار حرکت نمایند. پژوهش حاضر، باهدف تولید انرژی پایدار با استفاده از روش برق‌آبی و ارائه مدل اقتصادی تطبیق‌پذیر برای شرکت آب و فاضلاب مشهد انجام شد. برای آن‌که نتایج، قابل‌تعمیم به هر شرایط و هر موقعیت مکانی و زمانی باشد، محاسبات به‌گونه‌ای چیدمان شد که اگر براساس اصول فنی و فرمول‌های مندرج در مراجع علمی و متقن، مشخصات موردنیاز برای تولید انرژی با روش برق‌آبی به‌عنوان داده ورودی و اولیه مدنظر باشد، در داده‌های ثانویه، میزان برق تولیدی و میزان درآمد حاصل از آن براساس نرخ تعرفه خرید برق قابل‌مشاهده است. درنهایت تصمیم‌گیرنده یا سرمایه‌گذار با محاسبه میزان هزینه ثابت و هزینه متغیر سالانه برای اجرای چنین پروژه‌ای و وارد نمودن آن در فرمول‌های لازم، می‌تواند شاخص‌های اقتصادی مانند قیمت تمام‌شده هر کیلووات ساعت، نرخ بازده داخلی (IRR)، دوره بازگشت سرمایه، ارزش حال خالص پروژه (NPV) را برای تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری و یا عدم آن مشاهده نموده و به کمک آن‌ها تصمیم‌گیری نماید. نتایج نشان داد که در نمونه مورد مطالعه با دبی ۰/۰۷۵ m³/s و ارتفاع ۸ متر، میزان برق تولیدی ۳۰۰۷۷ کیلووات ساعت در سال با قیمت تمام‌شده ۷۹۰۰۰ ریال است که در این نمونه، پروژه اقتصادی نشد.

Keywords: Energy production, Water and Wastewater company, Technical and financial model, Hydroelectric method.

کلمات کلیدی: تولید انرژی، شرکت آب و فاضلاب، الگوی فنی و مالی، روش برق‌آبی.

یکی از گزینه‌هایی که برای تولید برق در نظر گرفته می‌شود، روش برق‌آبی است که در آن برق از انرژی مکانیکی تأمین شده توسط فشار آب یا فاضلاب تولید می‌شود. به این ترتیب می‌توان مقداری از انرژی موجود در آب یا فاضلاب را که در غیر این صورت هدر می‌رود، کنترل کرد (Llácer-Iglesias et al., 2021). با این حال، همان‌طور که توسط برخی از محققان (Kretschmer et al., 2018; Adeyeye et al., 2021) در صنعت آب شهری مشاهده شده است، در مورد امکان تولید برق از روش برق‌آبی، نیاز به بررسی‌های فنی و مالی از دیدگاه سرمایه‌گذاران وجود دارد. روش برق‌آبی، یک فناوری شناخته‌شده برای تولید انرژی‌های تجدید پذیر و تأمین برق است که اخیراً در مقیاس کوچک به عنوان راه‌حلی ممکن برای بازیابی انرژی در سیستم‌های آب موجود (Choulot et al., 2012; Pérez-Sánchez et al., 2017)، از جمله تصفیه‌خانه‌های فاضلاب (Ak et al., 2017; Bekker et al., 2021) مورد مطالعه قرار گرفته است.

علی‌رغم این‌که صنعت آب و فاضلاب یکی از مصرف‌کنندگان عمده برق کشور است به طوری که حدود ۲ درصد برق مصرفی کشور در این بخش مصرف می‌شود، اما پتانسیل‌های بسیار زیادی برای تولید انرژی‌های پایدار دارد. جریان و فشار آب، اراضی بایر، فاضلاب و مخازن آب از جمله منابع اصلی و منحصربه‌فرد تولید انرژی‌های تجدید پذیر در صنعت آب و فاضلاب محسوب می‌شود که کاربردی کردن استحصال انرژی‌های پاک از این منابع نه تنها قابلیت خودکفایی این صنعت از برق و انرژی مصرفی بیرونی را خواهد داشت بلکه می‌تواند به یک منبع درآمدی برای شرکت‌های آب و فاضلاب نیز تبدیل شود (سازمان بهره‌وری انرژی ایران، ۱۳۹۴).

به‌طور کلی در صورت وجود دبی و اختلاف ارتفاع کافی، امکان تولید برق از روش برق‌آبی وجود دارد. در روش مذکور، هر دو عامل باید برای تولید برق وجود داشته باشند تا امکان تولید برق به این روش امکان‌پذیر باشد. در خطوط انتقال آب، با مشکلات کمتری می‌توان از این پتانسیل استفاده کرد؛ به علاوه در بسیاری از کشورها به دلیل وجود اختلاف ارتفاع در شهرها و حجم آب کافی برای تولید برق، به جای فشارشکن‌های مستقر بر روی خطوط توزیع آب، توربین قرار داده شده است. یکی از روش‌های جدید تولید برق در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، استفاده از دبی ورودی و خروجی این تأسیسات است. در مجموع تولید انرژی برق‌آبی که از آن به عنوان یک انرژی پاک استفاده می‌شود، گاز گلخانه‌ای تولید نمی‌کند و لذا بسیار مورد توجه است و برخلاف روش‌های شیمیایی، نیاز به حوضچه نگهداری فاضلاب به مدت

سازمان ملل متحد، ۱۷ هدف توسعه پایدار را برای دستیابی به پایداری در جنبه‌های ضروری زندگی انسان، مانند گرسنگی یا سلامت، تعیین کرده است (Delanka-Pedige et al., 2021; Elavarasan et al., 2021). دو مورد از این اهداف یعنی هدف ششم با موضوع آب پاک و بهداشت و هدف هفتم با موضوع انرژی مقرون‌به‌صرفه و پاک هستند که برای دستیابی به سایر اهداف توسعه پایدار نیز حیاتی‌اند (Delanka-Pedige et al., 2021; Garcia et al., 2021). برای دستیابی به این اهداف، کشورها به اجرای چندین استراتژی از جمله سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید انرژی‌های تجدیدپذیر اقدام کرده‌اند (Elavarasan et al., 2021). اما درک چالش‌های تکنولوژیکی و اقتصادی دستیابی به سیستم‌های انرژی تجدید پذیر بسیار مهم است، زیرا هنگامی دستیابی به منابع انرژی پایدار انگیزه ایجاد خواهد کرد که دارای توجیه اقتصادی باشد. راه‌حلی برای دستیابی به این تعادل (تولید انرژی پاک همراه با مقرون‌به‌صرفه بودن آن)، در مطالعات کنونی، در حال بررسی هستند (Pokhrel et al., 2022).

تمرکز بر انرژی‌های پایدار و استفاده از آن‌ها هم اکنون در اکثر کشورهای جهان به عنوان یکی از اولین اولویت‌های توانیر و به‌ویژه شرکت‌های تابعه انتخاب شده‌اند و از آنجایی که شرکت آب و فاضلاب یکی از بخش‌های ارائه‌دهنده تسهیلات عمومی مهم در هر کشوری به‌شمار می‌رود که مهم‌ترین نیاز اساسی (آب) را برای بخش‌های مختلف جامعه تأمین می‌کند. لذا این شرکت باید در راستای حفظ منابع، انرژی و هم‌چنین درآمدزایی به سمت استفاده از انرژی‌های پایدار حرکت نماید. این در حالی است که پتانسیل‌های فراوان تولید انرژی پایدار نیز در فرایندهای اجرایی این شرکت وجود دارد (Eurostat, 2022). همین امر سبب شد مدیریت پایدار شبکه‌های آب و تأسیسات تصفیه به موضوعی حیاتی برای سیاست‌گذاران تبدیل شود. زیرا آب نباید صرفاً به عنوان یک محصول مصرفی در نظر گرفته شود، بلکه باید از آن به عنوان یک منبع ارزشمند محافظت شود. به این ترتیب، فرصت‌های بهبود مدیریت فاضلاب را نباید نادیده گرفت (Kehrein et al., 2020)، به‌ویژه آن‌که تقاضای برق در تصفیه فاضلاب معمولاً بسیار زیاد است (Capodaglio and Olsson, 2020; Revollar et al., 2021). باید اقداماتی برای مقابله با این جنبه محیط‌زیستی یعنی بهبود بهره‌وری و تولید انرژی تجدید پذیر صورت گیرد (Zohrabian and Sanders, 2021; Paulu et al., 2021).

ρ_w ، $\frac{m}{s^2}$ ، چگالی آب برحسب $\frac{kg}{m^3}$ و g ، شتاب جاذبه برحسب $\frac{m}{s^2}$ ، ρ_w ، چگالی آب برحسب $\frac{kg}{m^3}$ و η : راندمان توربین است.

۲-۲-۲- ارزیابی مالی

در تحقیق حاضر برای ارزیابی اقتصادی پروژه از شاخص‌های ارزش حال خالص فعلی (NPV)^۲، نرخ بازدهی داخلی (IRR)^۳ و دوره بازگشت سرمایه (ROI)^۴ استفاده می‌شود که هرکدام از شاخص‌ها در ادامه توضیح داده شده است.

۲-۲-۲-۱- ارزش فعلی خالص (NPV)

ارزش فعلی خالص برابر با کسر ارزش فعلی درآمدها از ارزش فعلی هزینه‌های یک پروژه است که می‌تواند منفی یا مثبت باشد. مثبت بودن آن به معنی این است که حاصل اجرای یک پروژه در یک دوره مشخص سودآور بوده و منفی بودن به معنی زیان‌ده بودن پروژه است (اسکونزاد، ۱۳۹۰). رابطه (۲) نحوه محاسبه NPV را نشان می‌دهد.

$$NPV = \sum B_t - C_t / (1 + d)^t \quad (2)$$

که B_t و C_t : به ترتیب منافع و هزینه طرح در سال t و d : نرخ تنزیل هستند. NPV از لحاظ جبری می‌تواند صفر، مثبت و یا منفی باشد که اگر مثبت شد دارای توجیه اقتصادی است و چنانچه برابر صفر باشد در مورد رد یا قبول انجام طرح مزبور نمی‌توان به روشنی پاسخ گفت و اجرا و عدم اجرای آن تفاوتی ندارد. اگر NPV پروژه‌ای منفی شود توجیه اقتصادی ندارد.

۲-۲-۲-۲- نرخ بازده داخلی (IRR)

منظور از نرخ بازده داخلی نرخ بهره‌ای است که ارزش فعلی درآمدهای یک پروژه را با ارزش فعلی هزینه‌های آن برابر می‌کند (رابطه (۳)). اگر نرخ بازده داخلی بزرگ‌تر از نرخ بهره بازار باشد، به معنی سودآور بودن طرح بوده و اگر این نرخ کوچک‌تر از نرخ بهره بازار باشد به معنی زیان‌ده بودن طرح است (اسکونزاد، ۱۳۹۰).

$$NPV = \sum B_t - C_t / (1 + d)^t = 0 \quad (3)$$

که B_t و C_t : به ترتیب منافع و هزینه طرح در سال t و d : نرخ تنزیل هستند. اگر نرخ به دست آمده بالاتر از نرخ تنزیل (d) باشد، پروژه دارای توجیه اقتصادی است و اگر کمتر از آن باشد فاقد توجیه اقتصادی است. به طور خلاصه یک پروژه در کلیه نرخ‌های تنزیل کمتر از IRR دارای توجیه اقتصادی و برای کلیه نرخ‌های بالاتر از

طولانی ندارد (پورزکی و همکاران، ۱۴۰۰).

هدف اصلی این پژوهش امکان‌سنجی هم‌زمان فنی و مالی تولید برق از انرژی آبی در شرکت آب و فاضلاب مشهد است. شایان ذکر است که اکثر مطالعات انجام شده، در ایران و خارج ایران بیشتر به مباحث فنی تولید انرژی در شرکت‌های آب و فاضلاب پرداخته‌اند و کمتر پتانسیل سنجی اقتصادی تولید انرژی تحلیل شده است.

۲- مواد و روش‌ها

در این قسمت ابتدا روش برآورد میزان برق تولیدی به شیوه برق‌آبی از نظر فنی، توضیح داده شده است، سپس روش‌های ارزیابی اقتصادی یک پروژه بیان شده و در انتها محاسبه قیمت تمام شده، آورده شده است.

۲-۱- ارزیابی فنی

همان‌گونه که بیان شد، روش برق‌آبی در واقع روشی برای تولید انرژی است که به آن نیروگاه‌های برق‌آبی گفته می‌شود. دسته‌بندی نیروگاه‌های برق‌آبی برحسب قدرت تولید به صورت زیر است (Tkac, 2018):

- واحدهای بزرگ آبی: ظرفیت بالای ۱۰۰ مگاوات
 - واحدهای متوسط آبی: ظرفیت بین ۱۰ تا ۱۰۰ مگاوات
 - واحدهای کوچک آبی: ظرفیت بین ۱ تا ۱۰ مگاوات
 - واحدهای خیلی کوچک آبی: ظرفیت بین ۱۰۰ کیلووات تا ۱ مگاوات
 - واحدهای میکرو: ظرفیت بین ۵ تا ۱۰۰ کیلووات
 - واحدهای پیکو: ظرفیت بین چند صد وات تا ۵ کیلووات
- با توجه به شرایط شهر مشهد، از نظر توپوگرافی، واحدهای برق‌آبی که قابل نصب (توسط شرکت آب و فاضلاب) باشد، با توجه به هد آب و دبی آن، می‌تواند در دسته واحدهای میکرو قرار گیرند. مهم‌ترین هزینه سرمایه‌ای این نوع انرژی، توربین برای نصب در محل آب است. انواع مختلف توربین‌های آبی استفاده شده برای این امر شامل: توربین کاپلان، توربین فرانسیس، توربین پلتون، روش PAT یا پمپ معکوس و پیچ ارشمیدس است. رابطه (۱) توان الکتریکی (انرژی قابل استحصال) حاصل از این روش را نشان داده است^۱.

$$P_e = QH g \rho_w \eta \quad (1)$$

که P_e : توان برحسب وات، Q : دبی برحسب $\frac{m^3}{s}$ ، H : هد برحسب

IRR فاقد توجیه اقتصادی است.

ثابت (هزینه‌های خرید و تهیه یا هزینه سرمایه‌ای) به اقساط یکنواخت سالانه، از طریق رابطه (۵) انجام می‌شود.

$$A = P \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad P = \frac{F}{(1+i)^n} \quad (5)$$

که A : ارزش یکنواخت سالانه، P : ارزش حال هزینه‌های ثابت، F : هزینه‌های ثابت (هزینه‌ای که در سال مبنا انجام می‌شود یا همان هزینه‌های خرید و تهیه)، i : نرخ تنزیل (که می‌توان برابر نرخ بهره بانکی در نظر گرفت) و n : سال‌های عمر مفید پروژه هستند.

سپس عدد به‌دست‌آمده برای «اقساط یکنواخت سالانه و هزینه‌های ثابت» با «هزینه‌های متغیر» جمع شده و حاصل جمع آن‌ها، تقسیم بر مقدار تولید برق در یک سال (برحسب کیلووات ساعت) شده تا هزینه تمام‌شده برای یک کیلووات برق محاسبه شود. فرض‌های مدل مالی تحقیق حاضر شامل نرخ تنزیل، نرخ تورم، هزینه‌های ثابت و متغیر در قالب جدول ۱ آورده شده است.

۲-۲-۳- محاسبه دوره بازگشت سرمایه (ROI) با استفاده از روش ارزش فعلی:

ROI همان نسبت سود حاصل از سرمایه‌گذاری به‌میزان هزینه اولیه است. چنان‌چه ارزش حال خالص صفر شود به شرطی که عدد تعداد سال (n) مجهول باشد، آن‌گاه دوره بازگشت سرمایه با برآورد میزان n به‌دست خواهد آمد (رابطه (۴)).

$$\begin{aligned} NPV &= 0 \\ PV_B &= PV_C \\ PV_B - PV_C &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

که PV_B و PV_C : به ترتیب ارزش فعلی درآمدها و ارزش فعلی هزینه‌ها را نشان می‌دهند.

۲-۲-۴- محاسبه هزینه تمام‌شده

برای محاسبه هزینه تمام‌شده ابتدا باید هزینه‌های ثابت، به اقساط یکنواخت سالانه تبدیل شود. محاسبه تبدیل هزینه‌های

جدول ۱- فروض‌های مدل مالی (سال پایه: ۱۴۰۲)

هزینه متغیر (هزار ریال) یا اجرا و بهره‌برداری	هزینه ثابت (هزار ریال) یا تهیه و خرید	نرخ تورم سالانه (درصد)	نرخ تنزیل (درصد) - بهره بانکی
۲۳۷۱۸۸۳*	۵۲۸۰۰۰۱*	۳۰٪*	۲۳٪*

مأخذ: یافته‌های تحقیق (* مواردی که متناسب با هر پروژه و نظر سرمایه‌گذار، می‌توانند به‌عنوان مفروضات مدل در نظر گرفته شوند)

۳- نتایج و بحث

بازگشت سرمایه، ارزش حال خالص پروژه (NPV) را برای تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری و یا عدم آن مشاهده نموده و به کمک آن‌ها تصمیم‌گیری نماید.

سرمایه‌گذار یا تصمیم‌گیرنده، باید در رابطه (۱) اطلاعات موردنیاز را وارد کند و با توجه به میزان برق تولیدشده، قیمت تمام‌شده، درآمد حاصله و برآورد فرمول‌های (۲) تا (۴) در مورد اقتصادی بودن و نبودن پروژه تصمیم‌گیری نماید. در ادامه به برخی جدول‌ها و خروجی‌های اشاره‌شده برای نمونه فرضی اشاره می‌شود. لازم به ذکر است که در رابطه (۱)، مشخصاتی که نیاز است به‌عنوان داده اولیه وارد شود شامل «نوع توربین، راندمان توربین، مشخصات محل نصب توربین یعنی هد (H) و دبی آب (Q)» است. اما برای برآورد مقدار تولید در یک روز باید ساعت کارکرد پمپ در شبانه‌روز نیز در مقدار تولید ضرب شود، ضمن آن‌که باید به تعرفه فروش برق تجدیدپذیر در ایام مختلف سال دقت شود. میزان برق تولیدی برای نمونه فرضی، در جدول ۲ آورده شده است.

در پژوهش حاضر، هدف آن است که شرکت آب و فاضلاب بتواند با واردکردن مشخصات فنی لازم برای نقاط مختلفی که امکان استحصال انرژی از روش برق‌آبی را دارا است، در مورد استفاده از چنین روشی تصمیم‌گیری نماید. برای آن‌که نتایج، قابل‌تعمیم به هر شرایطی و هر موقعیت مکانی و زمانی باشد، محاسبات به‌گونه‌ای چیدمان شد که اگر براساس اصول فنی و فرمول‌های مندرج در مراجع علمی و متقن، مشخصات موردنیاز برای تولید انرژی با روش برق‌آبی به‌عنوان داده ورودی و اولیه مدنظر باشد، در داده‌های ثانویه، میزان برق تولیدی و میزان درآمد حاصل از آن براساس نرخ تعرفه خرید برق قابل مشاهده است. درنهایت تصمیم‌گیرنده یا سرمایه‌گذار با محاسبه میزان هزینه ثابت و هزینه متغیر سالانه برای اجرای چنین پروژه‌ای و وارد نمودن آن در فرمول‌های لازم، می‌تواند شاخص‌های اقتصادی مانند قیمت تمام‌شده هر کیلووات ساعت، نرخ بازده داخلی (IRR)، دوره

جدول ۲- میزان برق تولیدی

میزان تولید برق (کیلووات ساعت در سال)	نرخ فروش برق (سایر ایام سال) - هزار ریال	ایام گرم سال (شش ماه اول سال) - هزار ریال***			ساعت کارکرد پمپ (در شبانه‌روز)	دبی (Q) (مترمکعب بر ثانیه)	ارتفاع یا اختلاف فشار (H) (متر)	راندمان توربین	نوع توربین
		نرخ فروش برق (کم باری)	نرخ فروش برق (پر باری)	نرخ فروش برق (بار عادی)					
۳۰۰۷۷/۴۶**	۱۲/۴۵*	۱۷/۱۴*	۶۸/۵۷*	۳۴/۲۹*	۲۰*	۰/۰۷۵*	۸*	۰/۷*	پمپ* معکوس

مأخذ: یافته‌های تحقیق (* مواردی که تصمیم‌گیرنده می‌تواند تغییر دهد، ** اعدادی که تصمیم‌گیرنده در انتها مشاهده می‌کند، *** منبع: صورت جلسه ۳۸۰ هیات تنظیم بازار برق سازمان انرژی‌های تجدید پذیر (ساتبا) در سال ۱۴۰۲^۱)

شود. در حالت کلی هزینه‌های ثابت اجرای یک پروژه شامل «زمین و محوطه‌سازی، ساختمان‌سازی، تجهیزات و ماشین‌آلات، تأسیسات و انشعابات، هزینه لوازم اداری و خدمات، هزینه‌های قبل از بهره‌برداری» هستند و هزینه‌های متغیر نیز شامل دسته‌های «نیروی انسانی، مواد اولیه، انرژی، نگهداری و تعمیرات، استهلاک، هزینه اداری و بیمه» هستند. با توجه به دسته‌های بیان‌شده فوق، جدول‌های ۳ و ۴ در ادامه ارائه می‌شوند.

سپس تصمیم‌گیرنده یا سرمایه‌گذار باید آیت‌های هزینه‌های ثابت (تهیه و خرید)، هزینه‌های متغیر (بهره‌برداری و اجرا)، نرخ تورم سالانه و نرخ تنزیل را وارد نماید تا در خروجی ارزیابی اقتصادی پروژه، دوره بازگشت سرمایه و نرخ بازده داخلی و سایر آیت‌های موردنظر را مشاهده نماید. لازم‌به ذکر است که با توجه به این‌که پروژه مفروض در زمین‌های متعلق به شرکت آب و فاضلاب اجرا می‌شود، لذا قیمت و زمین پروژه می‌تواند صفر لحاظ

جدول ۳- هزینه‌های ثابت اجرای پروژه

ردیف	نوع هزینه	هزینه (هزار ریال)
۱	زمین	۰
۲	محوطه‌سازی	۱,۳۸۰,۰۰۰
۳	ساختمان‌سازی ^۶	۳۰۰,۰۰۰
۴	تأسیسات و انشعابات	۰
۵	هزینه لوازم اداری و خدمات	۰
۶	تجهیزات و ماشین‌آلات	۳,۲۰۰,۰۰۱
۷	هزینه‌های قبل از بهره‌برداری	۴۰۰,۰۰۰
	جمع	۵,۲۸۰,۰۰۱

مأخذ: یافته‌های تحقیق

جدول ۴- هزینه‌های متغیر - سالانه اجرای پروژه

ردیف	نوع هزینه	هزینه (هزار ریال)
۱	خرید مواد اولیه	۰
۲	نیروی انسانی	۱,۸۳۴,۴۸۳
۳	هزینه آب، برق و گاز	۱۵۰۰۰
۴	نگهداری و تعمیرات	۲۴۷,۲۰۰
۵	استهلاک	۲۱۵,۲۰۰
۶	هزینه اداری و بیمه	۶۰۰۰۰
	جمع کل	۲,۳۷۱,۸۸۳

مأخذ: یافته‌های تحقیق

است در نظر گرفته نشوند، از آن جمله می‌توان «زمین، تأسیسات و انشعابات، هزینه لوازم اداری» را نام برد. محاسبه درآمد حاصل از «استحصالی انرژی از روش برق‌آبی»

همان‌گونه که قبلاً بیان شد، سرمایه‌گذار می‌تواند هر نوع هزینه‌ای را مدنظر قرار دهد و براساس آن تصمیم‌گیری نماید، مثلاً برخی هزینه‌ها در سرمایه‌گذاری در چنین پروژه‌ای ممکن

تجدید پذیر (ساتبا) در سال ۱۴۰۲ محاسبه و در جدول ۵ آمده است (با فرض این که میزان تولید برق در ایام گرم و سرد و ساعات مختلف، یکسان باشد).

لازم به ذکر است که تصمیم گیرنده می تواند این نرخ های تعرفه خرید برق تجدید پذیر را نیز تغییر داده و عدد همان سال مورد نظر را لحاظ کند. در جدول ۵، ستون درآمد سالانه، حاصل ضرب سه آیتم شامل «کل ساعات در یک سال، میزان تولید برق در یک ساعت و تعرفه خرید تضمینی انرژی تجدید پذیر» است.

برای یک مورد نمونه ای (با فرض H برابر ۸ متر و Q برابر ۰/۰۷۵ مترمکعب بر ثانیه) انجام شد و در نهایت میزان برق تولیدی، ۴/۱۲۰۲ کیلووات در یک ساعت و در سال برابر ۳۰۰۷۷/۴۶ کیلووات (با فرض کارکرد ۲۰ ساعته پمپ در روز) برآورد شد. از آن جا که تعرفه فروش برق تجدید پذیر، در ساعات کم باری، میان باری و پر باری، متفاوت است، نیاز است که میزان تولید برق، به تفکیک هر کدام از این ساعات محاسبه شود که با استفاده از صورت جلسه ۳۸۰ هیات تنظیم بازار برق سازمان انرژی های

جدول ۵- درآمدهای سالیانه حاصل از فروش برق به روش برق آبی (هزار ریال)

درآمد سالانه (هزار ریال)	تعرفه خرید تضمینی انرژی تجدید پذیر (هزار ریال)	میزان تولید برق - کیلووات ساعت	تعداد ساعت ها در یک سال		شرح
			تعداد روزها در یک سال	ساعت - در شبانه روز	
۲۶,۲۷۱	۱۷/۱۴	۴/۱۲۰۲	۳۷۲	۹۳	ساعات کم باری (ایام گرم)
۲۱۰,۱۹۶	۶۸/۵۷	۴/۱۲۰۲	۷۴۴	۹۳	ساعات پر باری (ایام گرم)
۱۰۵,۱۱۴	۳۴/۲۹	۴/۱۲۰۲	۷۴۴	۹۳	ساعات میان باری (ایام گرم)
۵۵,۸۱۱	۱۲/۴۵	۴/۱۲۰۲	۱۰۸۸	۲۷۲	ساعات کم باری (ایام سرد)
۱۱۱,۶۲۱	۱۲/۴۵	۴/۱۲۰۲	۲۱۷۶	۲۷۲	ساعات پر باری (ایام سرد)
۱۱۱,۶۲۱	۱۲/۴۵	۴/۱۲۰۲	۲۱۷۶	۲۷۲	ساعات میان باری (ایام سرد)
۶۲۰,۶۳۴	-	-	-	-	درآمد حاصل از فروش برق

مأخذ: یافته های تحقیق

که در جدول های ۶ و ۷ آورده شده است. سالی که NPV (ارزش حال خالص جریان نقدی) مثبت می شود، در بیست سال آینده اتفاق نخواهد افتاد؛ بنابراین اجرای چنین طرحی دارای توجیه اقتصادی نیست.

با توجه به آن چه بیان شد، می توان بهای تمام شده یک کیلووات برق را به این روش، در نمونه مورد بررسی برآورد کرد و هم چنین محاسبات جریان نقدی، جریان جمعی درآمد، شاخص های IRR و NPV و دوره بازگشت سرمایه را به دست آورد

جدول ۶- برآورد بهای تمام شده یک کیلووات برق به روش برق آبی در نمونه مورد بررسی

بهای تمام شده یک کیلووات (ساعت هزار ریال)	دوره های که ارزش حال خالص (NPV) مثبت می شود	دوره بازگشت سرمایه پویا (DPBP) - (سال)	نرخ بازده داخلی (IRR) - درصد	دوره بازگشت سرمایه (PBP) (بدون لحاظ نرخ تنزیل) - سال	درآمد سالانه - صفر - سال اجرای پروژه (هزار ریال)	درآمد سالانه حاصل از عدم انتشار کربن (گرنه محیط زیستی) - (هزار ریال)
۷۹/۵۱۲۲**	دوره < ۲۰**	دوره < ۲۰**	نامشخص**	دوره < ۲۰**	۶۲۰۶۳۳/۶۳۶**	۰*

مأخذ: یافته های تحقیق (* مواردی که متناسب با هر پروژه می تواند تغییر کنند، ** اعدادی که پس از محاسبات فنی در انتها مشخص خواهند شد)

۴- نتیجه گیری

شرکت آب و فاضلاب نیز آورده شده است. برای آن که نتایج، قابل تعمیم به هر شرایطی و هر موقعیت مکانی و زمانی باشد، محاسبات به گونه ای چیدمان شد که اگر براساس اصول فنی و فرمول های مندرج در مراجع علمی و متقن، مشخصات مورد نیاز

در این تحقیق امکان سنجی اقتصادی تولید برق از انرژی آبی در شرکت آب و فاضلاب ارائه شد. الگوی اقتصادی تطبیق پذیر برای

نمودن آن در فرمول‌های لازم، می‌تواند شاخص‌های اقتصادی مانند قیمت تمام‌شده هر کیلووات ساعت، نرخ بازده داخلی (IRR)، دوره بازگشت سرمایه، ارزش حال خالص پروژه (NPV) را برای تصمیم‌گیری در مورد سرمایه‌گذاری و یا عدم آن مشاهده نموده و به کمک آن‌ها تصمیم‌گیری نماید.

برای تولید انرژی با روش برق‌آبی به‌عنوان داده ورودی و اولیه مدنظر باشد، در داده‌های ثانویه، میزان برق تولیدی و میزان درآمد حاصل از آن براساس نرخ تعرفه خرید برق قابل مشاهده است. درنهایت تصمیم‌گیرنده یا سرمایه‌گذار با محاسبه میزان هزینه ثابت و هزینه متغیر سالانه برای اجرای چنین پروژه‌ای و وارد

جدول ۷- جریان هزینه‌ها، درآمدها، شاخص ارزش حال خالص و IRR در طی بیست سال آینده برای استحصال انرژی از روش برق‌آبی (هزار ریال)

سال	هزینه	درآمد	جریان نقدی	NPV	IRR	جریان نقدی تجمعی (دوره بازگشت سرمایه)	ارزش حال جریان نقدی تجمعی (دوره بازگشت سرمایه با لحاظ نرخ تنزیل)
۱۴۰۲	۵۲۸۰۰۰۱	۰	-۵۲۸۰۰۰۱	-۴۲۹۲۶۸۳/۷۴	-	-۵۲۸۰۰۰۱	-۵۲۸۰۰۰۱
۱۴۰۳	۳۰۸۳۴۴۷/۷۲۹	۸۰۶۸۲۳/۷۲۷۸	-۲۲۷۶۶۲۴/۰۰۱	-۵۷۹۷۴۹۱/۷۲۵	-	-۷۵۵۶۶۲۵/۰۰۱	-۱۱۴۲۳۵۹۸/۵۶
۱۴۰۴	۴۰۰۸۴۸۲/۰۴۸	۱۰۴۸۸۷۰/۸۴۶	-۲۹۵۹۶۱۱/۲۰۲	-۷۳۸۷۹۳۹/۱۹	-	-۱۰۵۱۶۲۳۶/۲	-۱۸۳۷۴۶۴۳/۷۱
۱۴۰۵	۵۲۱۱۰۲۶/۶۶۲	۱۳۶۳۵۳۲/۱	-۳۸۴۷۴۹۴/۵۶۲	-۹۰۶۸۸۹۹/۹۲۵	-	-۱۴۳۶۳۷۳۰/۷۷	-۲۶۰۹۳۴۸۱/۶۳
۱۴۰۶	۶۷۷۴۳۳۴/۶۶۱	۱۷۷۲۵۹۱/۷۳	-۵۰۰۱۷۴۲/۹۳۱	-۱۰۸۴۵۵۲۵/۰۹	-	-۱۹۳۶۵۴۷۳/۷	-۳۴۵۵۴۲۰۸/۵۷
۱۴۰۷	۸۸۰۶۶۳۵/۰۵۹	۲۳۰۴۳۶۹/۲۴۹	-۶۵۰۲۲۶۵/۸۱	-۱۲۷۲۳۲۵۹/۰۱	-	-۲۵۸۶۷۷۳۹/۵۱	-۴۳۷۴۲۴۶۱/۰۸
۱۴۰۸	۱۱۴۴۸۶۲۵/۵۸	۲۹۹۵۶۸۰/۰۲۴	-۸۴۵۲۹۴۵/۵۵۳	-۱۴۷۰۷۸۵۵/۸۳	-	-۳۴۳۲۰۶۸۵/۰۶	-۵۳۶۵۳۶۳۹/۱۵
۱۴۰۹	۱۴۸۸۳۲۱۳/۲۵	۳۸۹۴۳۸۴/۰۳۱	-۱۰۹۸۸۸۲۹/۲۲	-۱۶۸۰۵۳۹۷/۱۹	-	-۴۵۳۰۹۵۱۴/۲۸	-۶۴۲۹۱۴۸۳/۳۸
۱۴۱۰	۱۹۳۴۸۱۷۷/۲۳	۵۰۶۲۶۹۹/۲۴	-۱۴۲۸۵۴۷۷/۹۹	-۱۹۰۲۲۳۱۰/۸۱	-	-۵۹۵۹۶۹۹۲/۲۷	-۷۵۶۶۶۹۴/۹۹
۱۴۱۱	۲۵۱۵۲۶۳۰/۳۹	۶۵۸۱۵۰۹/۰۱۲	-۱۸۵۷۱۱۲۱/۳۸	-۲۱۳۶۵۳۹۰/۲۶	-	-۷۸۱۶۶۱۱۳/۶۵	-۸۷۷۹۷۲۶۸/۲۲
۱۴۱۲	۳۲۶۹۸۴۱۹/۵۱	۸۵۵۵۹۶۱/۷۱۶	-۲۴۱۴۲۴۵۷/۸	-۲۳۸۴۱۸۱۵/۶۹	-	-۱۰۲۳۰۸۵۷۱/۴	-۱۰۰۷۰۵۳۲۶/۲
۱۴۱۳	۴۲۵۰۷۹۴۵/۳۶	۱۱۱۲۲۷۵۰/۲۳	-۳۱۳۸۵۱۹۵/۱۳	-۲۶۴۵۹۱۷۵/۹	-	-۱۳۳۶۹۳۷۶۶/۶	-۱۱۴۴۱۹۰۳۵/۳
۱۴۱۴	۵۵۲۶۰۳۲۸/۹۷	۱۴۴۵۹۵۷۵/۳	-۴۰۸۰۰۷۵۳/۶۷	-۲۹۲۲۵۴۹۱/۵۷	-	-۱۷۴۴۹۴۵۲۰/۲	-۱۲۸۹۷۰۹۶۰/۵
۱۴۱۵	۷۱۸۳۴۲۷/۶۷	۱۸۷۹۷۴۴۷/۸۹	-۵۳۰۴۰۹۷۹/۷۸	-۳۲۱۴۹۲۳۹/۸۴	-	-۲۲۷۵۳۵۵۰۰	-۱۴۴۳۹۸۰۰۴/۵
۱۴۱۶	۹۳۳۸۹۹۵۵/۹۷	۲۴۴۳۶۶۸۲/۲۶	-۶۸۹۵۳۲۷۳/۷۱	-۳۵۲۳۹۳۸۰/۲۸	-	-۲۹۶۴۸۸۷۷۳/۷	-۱۶۰۷۴۱۱۸۹/۳
۱۴۱۷	۱۲۱۴۰۶۹۴۲/۸	۳۱۷۶۷۶۸۶/۹۳	-۸۹۶۳۹۲۵۵/۸۲	-۳۸۵۰۵۳۸۲/۳۸	-	-۳۸۶۱۲۸۰۲۹/۶	-۱۷۸۰۴۵۵۱۴/۱
۱۴۱۸	۱۵۷۸۲۹۰۲۵/۶	۴۱۲۹۷۹۹۳/۰۱	-۱۱۶۵۳۱۰۳۲/۶	-۴۱۹۵۷۲۵۴/۵۲	-	-۵۰۲۶۵۹۰۶۲/۱	-۱۹۶۳۵۹۸۷۳/۶
۱۴۱۹	۲۰۵۱۷۷۷۳۳/۳	۵۳۶۸۷۳۹۰/۹۲	-۱۵۱۴۹۰۳۴۲/۳	-۴۵۶۰۵۵۷۴/۶۶	-	-۶۵۴۱۴۹۴۰/۴/۵	-۲۱۵۷۳۷۰۳۰/۵
۱۴۲۰	۲۶۶۷۳۱۰۵۳/۲	۶۹۷۹۳۶۰۸/۱۹	-۱۹۶۹۳۷۴۴۵	-۴۹۶۶۱۵۲۲/۷۸	-	-۸۵۱۰۸۶۸۴۹/۵	-۲۳۶۲۳۳۶۳۲/۷
۱۴۲۱	۳۴۶۷۵۰۳۶۹/۲	۹۰۷۳۱۶۹۰/۶۵	-۲۵۶۰۱۸۶۷۸/۶	-۵۳۵۳۶۹۱۵/۱	-	-۱۱۰۷۱۰۵۵۲۸	-۲۵۷۹۱۰۲۶۹/۶
۱۴۲۲	۴۵۰۷۷۵۴۸۰	۱۱۷۹۵۱۱۹۷/۸	-۳۳۲۸۲۴۲۸۲/۱	-۵۷۸۴۴۲۴۰/۳۲	-	-۱۴۳۹۹۲۹۸۱۰	-۲۸۰۸۳۱۵۶/۱/۶

مأخذ: یافته‌های تحقیق

داده و به‌تبع، بر میزان دوره بازگشت سرمایه و IRR اثر خواهد داشت. هم‌چنین اگر نرخ خرید برق تجدیدپذیر تغییر کند شرایط متفاوتی را رقم می‌زند. به‌همین منظور چهار سناریو در جدول ۸ تعریف شده است که نشان می‌دهد در صورت جانمایی مناسب توربین اگر مقادیر ارتفاع یا اختلاف فشار (H) و دبی (Q) متفاوت از نمونه مورد بررسی باشد، مقادیر IRR و دوره بازگشت سرمایه به‌گونه‌ای تغییر می‌یابند که پروژه صرفه اقتصادی داشته و برای سرمایه‌گذار جذاب خواهد بود

در نمونه واردشده، سالی که NPV (ارزش حال خالص جریان نقدی) مثبت می‌شود، در بیست سال آینده اتفاق نخواهد افتاد؛ بنابراین نتیجه آن است که در شرایط کنونی اجرای پروژه در شرکت آب و فاضلاب مشهد اقتصادی نیست؛ اما لازم‌به‌ذکر است که این نتیجه با توجه به مقدار فرضی جریان یا فشار (H) و دبی آب (Q) حاصل شده است. به‌طور حتم اگر بتوان در نقطه‌ای توربین را جانمایی نمود که جریان و دبی مناسبی را به‌دست دهد، بر روی انرژی استحصالی اثر گذاشته و لذا درآمد را تحت تأثیر قرار

جدول ۸- سناریوهای توجیه پذیر برای سرمایه گذاری

سناریوها	ارتفاع یا اختلاف فشار (متر) (H)	دبی (Q) (مترمکعب بر ثانیه)	IRR در سال دهم (اگر عمر پروژه ده سال فرض شود)	دوره بازگشت سرمایه (PBP) - سال	دوره بازگشت سرمایه پویا (DPBP) - سال
اول	۸	۰/۱۱	٪۵۲	۲	۴
دوم	۱۲	۰/۰۷۵	٪۵۴	۲	۳
سوم	۸	۰/۱۲۵	٪۶۶	۲	۲
چهارم	۱۱	۰/۱	٪۷۷	۱	۲

مأخذ: یافته‌های تحقیق

است. بدین‌وسیله از کارکنان محترم شرکت، برای همکاری در اجرای تحقیق قدردانی می‌شود.

۶- پی‌نوشت‌ها

- 1- <https://greener4life.com/Hydroelectric-Power-Calculator>
- 2- Net Present Value
- 3- Internal Return Rate
- 4- Return on Investment
- 5- <https://media.dotic.ir/uploads/org/2023/12/19/70299631936672300.pdf>
- ۶- منظور از ساختمان‌سازی در این پروژه ساخت فضای مناسب اطراف توربین است (فرض شده است که توربین در یک محل تقاطع که نیاز به فشارشکن دارد نصب شود و از آن‌جا که هدف این پروژه آن است که محاسبات مربوط به برآورد برق تولیدی صحیح باشد، از یک پروژه مشابه برای استخراج اعداد استفاده شده است).

۷- مراجع

- اسکونژاد، م.م.، (۱۳۹۰)، *اقتصاد مهندسی، ارزیابی اقتصادی پروژه‌های صنعتی*، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
- پورزکی، ع.، مجتهدی، س.ح.، روحبخش، م.، و محمدی، م.، (۱۴۰۰)، "بررسی روش استحصال انرژی تجدید پذیر برق آبی از فاضلاب"، *نهمین کنفرانس انرژی‌های تجدید پذیر و تولید پراکنده ایران*، مشهد، ایران، <https://civilica.com/doc/1465023>
- Adeyeye, K., Gallagher, J., McNabola, A., Ramos, H.M., and Coughlan, P., (2021), "Socio-technical viability framework for micro hydropower in group water-energy schemes", *Energies*, 14(14), 4222, <https://doi.org/10.3390/en14144222>.
- Bekker, A., van Dijk, M., Niebuhr, C.M., and Hansen, C., (2021), "Framework development for the evaluation of conduit hydropower within water distribution systems: A South African case study", *Journal of Cleaner Production*, 283, 125326, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125326>.

نتایج به‌دست‌آمده از جدول ۸ نشان می‌دهد که اگر هر یک از دو عامل ارتفاع و دبی آب تغییر یابند در توجیه‌پذیری اقتصادی پروژه نقش اساسی دارند و زمانی که مطابق سناریوی چهارم، هر دو عامل، هم‌زمان و به‌میزان اندک (نسبت به نمونه موردبررسی) افزایش یابند تصمیم به سرمایه‌گذاری را بیش از پیش قابل توجیه می‌نمایند. به‌همین دلیل است که سرمایه‌گذاری بر روی پروژه مورد مطالعه (شرکت آب و فاضلاب مشهد) با مقادیر دبی m^3/s ۰/۰۷۵ و ارتفاع ۸ متر دارای صرفه اقتصادی نیست. زیرا با مقادیر مذکور و با ساعت کارکرد ۲۰ ساعته پمپ در شبانه‌روز، میزان برق تولیدی ۳۰۰۷۷ کیلووات ساعت در سال است که با لحاظ هزینه‌های ثابت و متغیر و نرخ تنزیل (در این نمونه) قیمت تمام‌شده، ۷۹۰۰۰ ریال برای هر کیلووات ساعت خواهد بود و پس از محاسبه جریانات درآمدی و هزینه‌ها و با توجه به تورم و نرخ تنزیل، جریان نقدی منفی حاصل خواهد شد.

شایان ذکر است که در این پروژه می‌توان محاسبات معکوسی نیز تعبیه نمود، به‌گونه‌ای که سرمایه‌گذار می‌تواند دوره بازگشت سرمایه مدنظر خود و همچنین نرخ IRR مورد قبول خود را وارد نموده و نرخ متوسط قیمت هر کیلووات ساعت برقی که دولت باید خریداری کند (به هزار ریال) را برآورد نماید. این نرخ نشان می‌دهد دولت تا چه میزان باید تعرفه هر کیلووات برق خریداری شده را بالا ببرد که انگیزه برای سرمایه‌گذاری در این صنعت فراهم شود و به‌عبارت‌دیگر پروژه را اقتصادی نماید. با توجه به آن‌چه بیان شد، پیشنهاد می‌شود که تعرفه خرید برق تجدید پذیر در راستای انگیزه دادن به سرمایه‌گذاران برای تولید انرژی‌های پایدار مورد بازنگری قرار گیرد، به‌طور حتم استفاده از انرژی‌های فسیلی برای تولید برق، علاوه بر آسیب‌های محیط‌زیستی، نمی‌تواند پایداری استفاده از منابع را تضمین نماید.

۵- قدردانی

مقاله حاضر برگرفته از طرح پژوهشی طی قراردادی بین شرکت آب و فاضلاب مشهد و سازمان جهاد دانشگاهی خراسان رضوی

load shifting", *Applied Energy*, 298, 117194, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.117194>.



This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.

- Capodaglio, A.G., and Olsson, G., (2020), "Energy issues in sustainable urban wastewater management: Use, demand reduction and recovery in the urban water cycle", *Sustainability*, 12(1), 266, <https://doi.org/10.3390/su12010266>.
- Delanka-Pedige, H.M.K., Munasinghe-Arachchige, S.P., Abeyisiriwardana-Arachchige, I.S.A., and Nirmalakhandan, N., (2021), "Evaluating wastewater treatment infrastructure systems based on UN Sustainable Development Goals and targets", *Journal of Cleaner Production*, 298, 126795, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126795>.
- Elavarasan, R.M., Pugazhendhi, R., Jamal, T., Dyduch, J., Arif, M.T., Kumar, N.M., Shafiullah, G.M., Chopra, S.S., and Nadarajah, M., (2021), "Envisioning the UN Sustainable Development Goals (SDGs) through the lens of energy sustainability (SDG 7) in the postCOVID-19 world", *Applied Energy*, 292, 116665, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116665>.
- Eurostat (2022), "Population connected to at least secondary wastewater treatment", Viewed on 26 July 2022, https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_06_20/default/table?lang=en.
- Kehrein, P., van Loosdrecht, M., Osseweijer, P., Posada, J., and Dewulf, J., (2020), "The SPPD-WRF framework: A novel and holistic methodology for strategical planning and process design of water resource factories", *Sustainability*, 12(10), 4168, <https://doi.org/10.3390/su12104168>.
- Kretschmer, F., Neugebauer, G., Stoeglehner, G., and Ertl, T., (2018), "Participation as a key aspect for establishing wastewater as a source of renewable energy", *Energies*, 11(11), 3232, <https://doi.org/10.3390/en11113232>.
- Llácer-Iglesias, R.M., López-Jiménez, P.A., and Pérez-Sánchez, M., (2021), "Energy self-sufficiency aiming for sustainable wastewater systems: Are all options being explored?", *Sustainability*, 13(10), 5537, <https://doi.org/10.3390/su13105537>.
- Paulu, A., Bartáček, J., Šerešová, M., and Kočí, V., (2021), "Combining process modelling and lca to assess the environmental impacts of wastewater treatment innovations", *Water*, 13(9), 1246, <https://doi.org/10.3390/w13091246>.
- Pérez-Sánchez, M., Sánchez-Romero, F.J., Ramos, H.M., and López-Jiménez, P.A., (2017), "Energy recovery in existing water networks: Towards greater sustainability", *Water*, 9(2), 97, <https://doi.org/10.3390/w9020097>.
- Revollar, S., Meneses, M., Vilanova, R., Vega, P., and Francisco, M., (2021), "Eco-efficiency assessment of control actions in wastewater treatment plants", *Water*, 13(5), 612, <https://doi.org/10.3390/w13050612>.
- Tkac, S., (2018), "Hydro power plants, an overview of the current types and technology", *Civil Engineering*, 13, 115-126, <https://doi.org/10.1515/sspice-2018-0011>
- Zohrabian, A., and Sanders, K.T., (2021), "Emitting less without curbing usage? Exploring greenhouse gas mitigation strategies in the water industry through