تاریخ دریافت: ۳ تیر ۱۴۰۳ تاریخ پذیرش: ۳۰ مهر ۱۴۰۳ صفحات ۱۰۲ الی ۱۲۲

صرفه‌جویی انرژی در استخرهای شنا با تولید همزمان برق و حرارت

(مطالعه موردی: مشهد)

جواد براتی
عضو هیات علمی جهاددانشگاهی خراسان رضوی، J_baraty@acecr.ac.ir

مریم رسول زاده*
پژوهشگر جهاددانشگاهی خراسان رضوی، Maryam.rasoulzadeh@mail.um.ac.ir

مهشید سامی
کارشناس ارشد اقتصاد دانشگاه فردوسی مشهد، Mahshid.sami@gmail.com

علیرضا صدقیان
کارشناس ارشد عمران، گرایش محیط زیست؛ مدیر دفتر انرژی شرکت آبفا مشهد، sedghian@abfamashhad.com

ناهید رجب زاده
دکتری اقتصاد و کارشناس شرکت آب و فاضلاب مشهد، n.rajabzadeh@ abfamashhad.com

چکیده: تولید انرژی از منابع پایدار و تجدیدپذیر و یا صرفه جویی در مصارف آن با توجه به ناترازی انرژی در شرایط کنونی ایران با اهمیت است. پژوهش حاضر، باهدف تولید انرژی پایدار با استفاده از تولید همزمان برق و حرارت (CHP) و ارائه مدل اقتصادی تطبیق‌پذیر برای بکارگیری از آن در یک استخر با توجه به نیاز توامان به برق و حرارت در آن مورد پژوهش قرار گرفت. برای آنکه نتایج، قابل‌تعمیم به هر شرایطی و هر موقعیتِ مکانی و زمانی باشد، صفحه گسترده اکسل «کاربردوست» تهیه گردید که بر اساس اصول فنی و فرمول‌های مندرج در مراجع علمی، مشخصات موردنیاز برای تولید انرژی به کمک CHP گازسوز، در آن پیاده‌سازی گردید، به‌گونه‌ای که کاربر، با ورود مشخصات لازم، بر اساس اصول فنی و فرمول‌های علمی، در خروجی میزان برق تولیدی، و سایر عوامل تصمیم‌گیری اقتصادی را مشاهده نماید و به تصمیم‌گیری برای سرمایه گذاری بپردازد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که قیمت تمام شده یک کیلووات ساعت برق با این روش با هزینه ۵۴۲۴ ریال کمتر از نرخ خرید برق تجدیدپذیر توسط دولت (۲۱۰۰۰ ریال) است. لذا استفاده از تولید همزمان برق و حرارت دارای صرفه اقتصادی است.

واژه‌های کلیدی: تولید انرژی، تولید همزمان برق و حرارت (CHP)، استخر، الگوی فنی و اقتصادی

* نویسنده مسئول

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

۱-مقدمه

بهره‌گیری از سوخت‌های فسیلی به دلیل تجدیدناپذیر بودن رو به کاهش بوده و استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بسیار مورد توجه است (بارتنیک[۱] و همکاران، ۲۰۲۲). ایران پتانسیل بالایی برای تولید انرژی‌های پایدار دارد. به عنوان مثال امکان بهره گیری از انرژی خورشیدی و بادی، زمین گرمایی، بیوگاز و سایر راهکارهای تامین انرژی، می‌تواند به مرور کمک نماید تا کاهش سوخت های فسیلی را تامین کند. یکی از راه‌های تامین انرژی، استفاده از دستگاه‌هایی است که سوخت خود را تبدیل به برق و حرارت همزمان میکنند، که بنام تولید همزمان برق و حرارت (CHP) مشهورند و در محلهایی که سوخت آن شامل گاز شهری، گازوئیل یا بیوگاز است، به صورت رایگان یا با هزینه کم در دسترس باشد، میتواند گزینه مناسبی برای تولید برق باشد (آلوئو و پوپولا[۲]، ۲۰۲۴).

ازآنجایی‌که در فرایند تولید برق معمولاً گرما نیز به‌موازات آن تولید می‌گردد؛ بنابراین بازیافت گرما در چنین فرایندی امکان‌پذیر است. این‌چنین نیروگاه‌هایی را نیروگاه یا واحدهای تولید هم‌زمان برق و حرارت (CHP)[۳] می‌نامند استفاده از واحدهای تولید هم‌زمان برق و حرارت هم در واحدهای صنعتی و هم در مصارف خانگی کاربرد دارد، که نسبت تولید برق به حرارت برای مصارف صنعتی بین ۰/۲ تا ۰/۳ و در مصارف خانگی بین ۰/۴ تا ۰/۶ است (ژانگ[۴] و همکاران، ۲۰۲۴). از مهم‌ترین سیستم‌های CHP می‌توان به توربین‌های گاز، موتورهای گازی (موتورهای رفت و برگشتی) و میکروتوربین‌ها که همگی مجهز به سیستم بازیافت گرما هستند اشاره نمود.

تجهیزات موردنیاز برای این بخش یک دستگاه موتور بیوگاز سوز یا گازسوز (یا گازوییل سوز)، ژنراتور به همراه تأسیسات برقی انتقال به شبکه و سیستم‌های بازیافت گرما است. از گرمای گازهای حاصل از احتراق می‌توان برای گرمایش در بخشهای مختلف و مورد نیاز استفاده نمود، معمولاً از دستگاه CHP در حالتی که سیستم تولید برق به روش بیوگاز قابل پیاده سازی است استفاده می کنند

---

[۱] Bartnik
[۲] Alao & Popoola
[۳] Combined heat and power
[۴] Zhang

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

که گرمای حاصله برای برخی تاسیسات از قبیلِ محتویات هاضم‌ها، استفاده شود، اما در تحقیق حاضر هدف است که امکان بکارگیری این دستگاه را در یک استخر که همزمان به تولید برق و حرارت نیاز دارد بررسی نمود و سوال تحقیق آن است که بکارگیری یک دستگاه CHP در محل استخر که با سوختِ گاز شهری کار کند، و برق مورد نیاز تاسیسات استخر را تهیه و حرارت آن، گرمای مورد نیاز برای گرم کردن آب و یا محیط استخر، را تامین کند، از نظر فنی چه مقدار برق تولید می‌کند و با چه قیمت تمام شده‌ای و آیا اجرای چنین پروژه‌ای از نظر اقتصادی دارای توجیه می‌باشد یا خیر. مراحل انجام این پژوهش به این صورت خواهد بود که ابتدا مطالعات قبلی مرتبط بیان و جمع‌بندی شده و سپس در روش تحقیق، نحوه برآورد برق تولیدی به کمک CHP بیان شده و سپس از آنجا که هدف آن است، از نظر اقتصادی استفاده از این دستگاه در استخرهای شنا (به عنوان محلی که همزمان برق و حرارت مورد نیاز است) بررسی گردد، شیوه برآورد برق مورد نیاز استخر آورده شده و به کمک آن ظرفیت دستگاه، براورد میگردد. در مرحله بعد میزان ذخیره انرژی در اثر استفاده از این دستگاه برآورد شده و درآمدها و هزینه ها تخمین زده می‌شود و تصمیم گیری در مورد شاخصهای اقتصادی انجام گرفته است.

۲- پیشینه تحقیق

سیستم CHP بصورت کارآمد برای پاسخگویی به نیاز الکتریکی و حرارتی واحد طراحی می‌شود و می‌تواند به بازدهی بالایی نسبت به تولید جداگانه برق و حرارت دست پیدا کند (بارتنیک[۱] و همکاران، ۲۰۲۲). سوخت مصرفی در موتور باعث چرخش ژنراتور و تولید برق می‌شود. به‌این‌ترتیب بخش قابل‌توجهی از ارزش حرارتی سوخت (حدود ۴۰٪) منجر به تولید برق می‌شود. به‌علاوه حرارت قابل بازیافت موتور که از دود و بدنه موتور به‌دست می‌آید برای تأمین نیاز حرارتی می‌تواند استفاده گردد که حرارت قابل بازیافت به‌منظور تأمین گرمایش ساختمان‌های اطراف نیز قابل استفاده است (وو[۲] و همکاران، ۲۰۱۶). نیروگاه‌های سوخت‌های فسیلی در حالت کلی تقریباً بازدهی ۳۳ درصدی دارند و

[۱] Bartnik
[۲] Wu

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

این به آن معنی است که ۶۷ درصد انرژی هنگام تولید به کمک CHP میتواند به بازده حداکثر سیستم دست پیدا کند ومقدار بازدهی آن را به ۶۰ الی ۸۰ درصد افزایش دهد (مهرگان[۱] و همکاران، ۲۰۲۲). مطالعات متعددی در خصوص تولید انرژی با این دستگاه و بررسی فنی و اقتصادی آن انجام شده است که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود؛

شاکری و همکاران (۱۴۰۰)، به تحلیل راهبرد گذار فناورانه تولید هم زمان برق و حرارت در ایران پرداختند. نتایج نشان می‌دهد عوامل مربوط به رژیم‌های فنی، اجتماعی و همچنین عوامل فرهنگی و اقتصادی کلان کشور، نقش پررنگ تری در عدم توسعه این فناوری داشته اند. در این تحقیق، متناظر با موانع استخراج شده اولویت دار، ۱۱ سیاست پیشنهادی برای غلبه بر این موانع ارائه شده است. غلامی و همکاران (۱۳۹۰)، به تعیین بهینه ظرفیت برنامه کاری سیستم تولید هم زمان برق و حرارت در یک واحد صنعتی با محرک اولیه موتور گازسوز پرداختند. ظرفیت بهینه سیستم CHP از دید صاحب کارخانه با هدف بیشینه کردن NPV طرح به دست آمده است. نتایج نشان داد که یک سیستم CHP را با بویلرهای بخار یک کارخانه میتوان چنان ترکیب نمود که در هر زمان بهینه‌ترین حالت استفاده از مجموعه سیستم‌ها را به کاربرد و کمترین هزینه انرژی به صاحب واحد صنعتی تحمیل کرد. بهبهانی نیا و همکاران (۱۳۸۹)، در پژوهشی تحلیل ریسک مالی سیستم های CHP در شرایط عدم قطعیت را انجام داد و نتایج آن نشان داد که با افزایش قیمتهای انرژی، اقتصاد طرحهای تولید همزمان بهبود یافته و رونـد مـنظم افـزایش قیمت انرژی میتواند تضمین کننده سود آوری طرحهای بهینه سازی مصرف سوخت باشد. طالبی قادیکلایی و دولت آبادی (۱۳۸۸)، به بررسی فنی، اقتصادی کاربرد پیل سوختی در CHP خانگی پرداختند. آنان بیان داشتند که پیلهای سوختی به عنوان یک منبع مفید قابلیت توجه ویژه‌ای را دارند و در حال حاضر با توجه به هزینه ساخت بالایی که دارند باید مورد حمایت قرار گیرند، این منابع می‌توانند در سیستم‌هایی که دارای نوسانات شدید قیمت سوخت میباشند، مناسبتر برای کسب درآمد قرار گیرند. تیموری و امجدی (۱۳۹۴) به بررسی مدل فنی- اقتصادی سیستم های Micro CHP با روش های عملکردی مختلف پرداختند نتایج نشان داد که سیستم‌های پیل سوختی

[۱] Mehrgan

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

گزینه بهتری برای ساختمان‌های مسکونی مورد مطالعه از هر دو منظر اقتصادی و زیست محیطی می باشند. در این سیستم‌ها هزینه انرژی سالانه تقریبا ۲۶ درصد کاهش یافته است. از طرف دیگر انتشار سالانه دی اکسیدکربن تقریبا ۹ درصد کاهش یافته است. خلیلی عراقی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی مکانیزم توسعه پاک در ایران به طور مطالعه موردی در طرح CHP مشهد پرداختند. نتایج بیانگر آن است، اجرای این طرح از نظر اقتصادی توجیه پذیر است و درآمد ناشی از فروش کوپن‌های کاهش انتشار، تاثیر زیادی بر توجیه پذیری اقتصادی دارد و اجرای آن توسط دولت پیشنهاد شده است. جلاب و سالاریان (۱۳۹۴)، به تحلیل انرژی اقتصادی و تعیین حالت بهینه عملکردی سیستم میکرو CHP پرداختند و بیان داشتند که در این مطالعه، با هدف تعیین ترکیب مناسب و بهینه میکروتوربین برای ساختمان بام چالوس، براساس تجزیه و تحلیل انرژی و فاکتورهای اقتصادی، نوع و تعداد میکروتوربینهای مورد نیاز برای بار الکتریکی و حرارتی در طول یک سال انتخاب گردید. برای انجام این کار، پس از مطالعه میدانی و برآورد بارهای مورد نیاز، با به حداقل رساندن تابع هدف هزینه تولید انرژی، ترکیب بهینه به گونه ای انتخاب شد که دارای بازگشت سرمایه ۷/۵ سال میباشد.

ژانگ[۱] و همکاران (۲۰۲۴) به بررسی مدل سازی و شبیه سازی یک سیستم PEMFC-CHP مبتنی بر مسکونی پرداختند، نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فشار ورودی هیدروژن و اکسیژن، توان پشته PEMFC و جریان آب خنک‌کننده، راندمان سیستم CHP بهبود می‌یابد. این سیستم قادر است تا حد ممکن گرما را بازیابی کند و در عین حال تقاضای برق مسکونی را کاهش دهد. بارتنیک[۲] و همکاران (۲۰۲۴) به تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی و اقتصادی نیروگاه های هسته ای گازسوز CHP با راکتورهای دمای بالا پرداختند و بیان داشتند که ساخت و ساز در مقیاس بزرگ نیروگاه های هسته ای و CHP، به ویژه با استفاده از فناوری گازسوز از نظر ساختاری ایمن و ارزان بوده و یک ضرورت مطلق است که اگر این اتفاق نیفتد، هیچ تامین پایدار برق ارزان و "پاک" در تمام طول سال وجود نخواهد داشت و تامین گرمایش منطقه‌ای ارزان تامین نمی شود. هی[۳] و همکاران (۲۰۲۳)، به بررسی بهینه سازی چند

[۱] Zhang
[۲] Bartnik
[۳] He

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

هدفه برای نیروگاه های ترکیبی حرارت و برق (CHP) با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی و محیطی بر اساس MILP پرداختند. نتایج نشان داد که فروش برق نسبت به بهره‌گیری از یارانه تولید برق و تجارت کربن، غالب است و هزینه‌ها می‌تواند تا حداکثر ۶۰٪ صرفه جویی شود. آلوئو و پوپولا[۱] (۲۰۲۴)، به ارزیابی های فنی-اقتصادی و زیست محیطی برنامه ریزی بهینه CHP-DG مبتنی بر زباله برای تولید انرژی پرداختند نتایج نشان داد که CHP-DG مبتنی بر FC دارای ارزش فعلی خالص بیش از ۲۹.۲۹ میلیون دلار، هزینه انرژی معادل ۰.۰۴۹۳ دلار در کیلووات ساعت است.

جمع بندی بررسی پیشینه تحقیق بیانگر آن است که در شرایط فعلی ایران، استفاده فناورانه از تولید هم زمان برق و حرارت، دارای عدم توسعه یافتگی و نیازمند ارائه راهکارها و تحقیقات برای استفاده فعالانه از آن است، از سوی دیگر جهت توسعه استفاده از این روش، افزایش قیمتهای انرژی، اقتصاد طرحهای تولید همزمان برق و حرارت را بهبود میدهد، همچنین در سطح فنی نیز استفاده از این دستگاه به صورت همراه با بویلرهای بخار و یا سیستم‌های پیل سوختی میتواند راندمان استفاده از آن را بهبود بخشد. هم اکنون نیروگاه‌های هسته ای گازسوز CHP با راکتورهای دمای بالا، راهی به سوی دستیابی به انرژی پاک و ارزان است، لذا قابل تاکید بوده که تامین انرژی از این طریق دارای اهمیت است و تحقیق حاضر نیز در ادامه این پژوهشها به دنبال آن است که بسنجد آیا استفاده از این دستگاه به طور موردی در استخرهای شنا که همزمان به برق و حرارت نیاز دارند، میتواند دارای توجیه پذیری اقتصادی باشد و از منظر کاربردِ این دستگاه در استخر، به دلیل مصرف بالای برق در مجموعه های آبی و با توجه به ناترازی‌های انرژی که هم اکنون در کشور شاهد آن هستیم، مهم بوده و از این نظر دارای نوآوری است.

۳-روش تحقیق

۳-۱-برآورد میزان برق تولیدی به روش CHP

ایجاد برق به کمک دستگاه CHP در مکان هایی مد نظر قرار می گیرد که استفاده همزمان "برق و حرارت" مورد نیاز باشد، چرا که این دستگاه دارای راندمان پایینی در تولید برق، در مقایسه با تولید

[۱] Alao& Popoola

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

حرارت است و معمولاً این دستگاه با راندمان حدود ۸۰٪ کار میکند که از این مقدار ۵۰٪ تولید حرارت و ۳۰٪ تولید برق خواهد داشت.. با توجه به این توضیح، در این تحقیق، ارزیابی اقتصادی تولید برق با این روش به طور نمونه برای «استخر» مد نظر قرار گرفت، چرا که استخر و مجموعه‌های آبی، مکانی است که همزمان به برق (جهت گرم کردن آب و جریان حرکت آب) و هم حرارت (جهت گرم کردن محیط استخر) نیاز است. همانگونه که بیان شد، دستگاه‌های CHP میتوانند با سوختهای مختلفی از جمله بیوگاز، گازوییل و یا گاز شهری کار کنند و برق تولید کنند، در استخر سوخت مورد استفاده گاز شهری خواهد بود که برای تولید هر کیلو وات برق به میزان ۰.۲۵ مترمکعب گاز شهری نیاز است و به ازائ تولید هر یک کیلووات، هزینه ۰.۲ مترمکعب گاز را دولت به تولیدکننده (در راستای حمایت از تولید برق) پرداخت خواهد کرد.

با توجه به آنکه گرمای ناخالص احتراق گاز طبیعی دارای کیفیت تجاری، حدود ۳۹ مگاژول بر متر مکعب است و هر مگاژول عددی برابر ۳.۶ کیلووات ساعت، برق تولید میکند و با فرض آنکه دستگاه CHP دارایِ راندمان تولید حرارت، ۰.۵ و راندمان تولید برق ۰.۳ باشد. از طریق رابطه ۱ محاسبه برق انجام می شود.

(۱)

$$Y=M*۳۹$$

$$P=(M*Y*۰,۵)/۱۰۰۰$$

$$Q=(M*Y*۰,۳)/۱۰۰۰$$

$$T=Q/۳,۶$$

Y= میزان استحصال انرژی از هر مترمکعب گاز (مگا ژول)

M= مقدار گاز شهری مورد نیاز استخر(مترمکعب)

P= میزان تولید انرژی حراراتی (مگا ژول)

Q =میزان تولید انرژی برق (مگا ژول)

T=میزان تولید انرژی برق (کیلووات ساعت)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

۳-۲-برآورد برق مورد نیاز یک استخر

برای آنکه محاسبات تولید برق و سپس برآورد قیمت تمام شده هر کیلووات برق به این روش، و همچنین اقتصادی و نبودن اجرای چنین پروژه ای در هر زمانی و مکانی قابل تعمیم باشد، محقق، یک اکسل تهیه نمود که "کاربر دوست"[۱] بوده و شبیه یک نرم افزار عمل نمایدکه درآن محاسبات لازم بر اساس اصول فنی و اقتصادی تعبیه شد و فاکتورهای مورد نیاز برای محاسبات فنی و اقتصادی توسط کاربر (یا همان سرمایه گذار و یا تصمیم گیر) وارد می‌شود و در خروجی نتایج مشاهده گردد. در ابتدا برای آنکه بتوان برای هر نوع استخر و با هر ابعادی، گرمای مورد نیاز استخر و برق آن را به کمک این دستگاه تامین نمود، باید حجم آب استخر را محاسبه نمود، که بر حسب ابعاد استخر (دایره ای، نامنظم و مستطیلی) این محاسبات قابل انجام است؛ در استخر مستطیلی محاسبه حجم آب از حاصلضربِ سه فاکتورِ «طول و عرض و میانگین ارتفاع» به دست خواهد آمد. در استخر دایره‌ای، قطر استخر را به توان دو رسانده، بعد تقسیم بر ۴ و سپس ضرب در عدد پی ۳.۱۴ و بعد ضرب در، عمق متوسط خواهد شد. در استخر نامنظم محاسبه حجم آب نیز بر اساس کشیدن فضای استخر بر روی کاغذ شطرنجی و محاسبه بر اساس مقیاس کاغذ انجام می شود (انجام این محاسبات بر حسب شکل استخر در اکسل تعبیه شده است).

مرحله اول: محاسبه انرژی برق مورد نیاز برای پیش گرمایش، حفظ گرمایش آب و گرمایش محیط استخر

جهت گرمایش اب استخر به دو دلیل گاز مصرف می‌گردد؛ اول جهت پیش گرمایش و دوم به دلیل اتلافات حرارت از آب استخر. برای محاسبه انرژی مورد نیاز بایستی انرژی پیش گرمایش (Q_1)و انرژی جبران اتلاف حرارت بر اثر تبخیر از سطح آب استخر (Q_2) و اتلاف حرارت به زمین (Q_3)، را محاسبه و با هم جمع نمود که به دلیل کم بودن میزان اتلاف به زمین یعنی Q_3 می‌توان از محاسبات آن صرف نظر کرد (زوکاری[۲] و همکاران، ۲۰۱۷).

[۱] User Friendly
[۲] Zuccari

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

الف- انرژی مورد نیاز برای «پیش گرمایش استخر» یعنی Q_1 به صورت رابطه ۲ محاسبه می‌گردد.

(۲)

$$Q_1 = \frac{M \times C \times \Delta T}{hr}$$

Q_1 =انرژی حرارتی پیش گرمایش Kcal/h

M=حجم آب استخر (لیتر) (حجم آب استخر بر حسب m^3 بایستی در عدد ۱۰۰۰ ضرب شود تا به لیتر تبدیل شود)

C=گرمای ویژه آب (عدد یک)

ΔT = اختلاف دمای آب

Hr= مدت زمان پیش گرمایش (ساعت)

مدت زمان پیش گرمایش (ساعت) را معمولا در استخرهای عمومی ۱۸ ساعت در نظر می‌گیرند و اختلاف دمای آب نیز در بیشترین حالت بین عدد ۲۷ و ۱۱ درجه سانتیگراد می باشد. این اعداد در استخر کودکان و جکوزی متفاوت خواهد شد (که در اکسل تهیه شده، کاربر می‌تواند این اعداد را تغییر دهد). همه محاسبات برای استخر بزرگسالان و استخر کودکان و جکوزی انجام می‌شود. عدد به دست آمده برای Q_1 که بر حسب کیلوکالری بر ساعت است بایستی در ضریب ۰.۰۰۱۱۶۳ ضرب شود تا به کیلووات تبدیل شود.

ب- انرژی مورد نیاز برای «ثبات دمای آب در یک ساعت»، یعنی Q_2 به صورت ذیل محاسبه می‌شود:

Q_2 اتلافات حرارت از آب استخرمی باشد. به دلیل تبخیر آب استخر، مقداری انرژی از این طریق اتلاف می‌شود که توسط فرمول ذیل، محاسبه می شود:

انرژی حرارتی تبخیر آب (کیلوکالری بر ساعت) Q_2 = m^2 اختلاف دمای آب × ۵۰ × مساحت استخر

عدد Q_2 نیز برای آنکه تبدیل به کیلو وات گردد باید در ضریب ۰.۰۰۱۱۶۳ ضرب شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

ج-انرژی مورد نیاز برای گرم نگه داشتن محیط استخر:

در این قسمت «تعداد روزهای فعالیت استخر در سال» و «متوسط ساعت فعالیت استخر در روز» از جمله آیتمهایی است که در محاسبات باید به آن توجه شود و کاربر اجازه تغییر این آیتم ها را در اکسل دارا می‌باشد. همچنین آیتمهایی مانند، حجم یا همان فضای کل استخر، تغییرات دمایی مورد نیاز، ضریب تبدیل کیلوکالری به مترمکعب گاز طبیعی نیز مورد نیاز است که همگی در اکسل وارد می‌شود. برای محاسبه انرژی مورد نیاز برای گرم نگه داشتن محیط استخر، گام به گام به صورت ذیل بایستی محاسبات را انجام داد (به ترتیب رابطه های ۳ تا۷):

$$Q_4 = V \times \Delta T \times 0.35 \quad (۳)$$

Q_4 =انرژی موردنیاز گرم کردن محیط استخر (کیلوکالری) - بدون هرز دما

V =حجم (فضای) محیط استخر (متر مکعب)

ΔT =تغییرات دمایی (فرضا از ۵ تا ۲۵ درجه)

$$Q_5 = Q_4 \times i \times t \quad (۴)$$

Q_5=انرژی موردنیاز گرم کردن محیط استخر (کیلوکالری) در یک شبانه روز - با لحاظ هرز دما

Q_4=انرژی موردنیاز گرم کردن محیط استخر (کیلوکالری) - بدون هرز دما

i =ضریب اتلاف انرژی در هر ساعت

t =ساعات فعالیت استخر در یک شبانه روز

$$Q_6 = Q_5 \times D \quad (۵)$$

Q_6=انرژی موردنیاز گرم کردن محیط استخر (کیلوکالری) در یک سال - با لحاظ هرز دما

$$Q_7 = \frac{Q_6}{\theta} \quad (۶)$$

Q_7=انرژی - برحسب متر مکعب گازطبیعی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

Q_5=انرژی موردنیاز گرم کردن محیط استخر (کیلوکالری) در یک شبانه روز - با لحاظ هرز دما

Q_6=انرژی موردنیاز گرم کردن محیط استخر (کیلوکالری) در یک سال - با لحاظ هرز دما

θ =ضریب تبدیل کیلوکالری به مترمکعب گاز طبیعی (عدد ۹۵۰۰)

D =تعداد روزهای فعالیت استخر

$$Q_8 = Q_7 \times 4$$

(۷)

Q_8=انرژی - برحسب کیلووات ساعت

Q_7=انرژی - برحسب متر مکعب گازطبیعی

مرحله دوم: محاسبه برق مورد نیاز برای پمپ استخر:

در این مرحله نوع پمپ (تک سرعته، دو سرعته و سرعت متغیر) و میزان قدرت پمپ که بر حسب اسب بخار بیان می‌شود، و راندمان پمپ، بر میزان برق مصرفی آن، اثرگذار است. لذا کاربر، قدرت پمپ به اسب بخار (γ) و راندمان آن (ρ) را وارد مینماید و همچنین تعداد پمپی که بر حسب قدرت و راندمان نیاز دارد (F) و در خروجی، برق مورد نیاز در قسمت پمپ استخر بر حسب کیلووات را بر اساس فرمول ذیل مشاهده می‌نماید (رابطه ۸).

(۸)

$$Q_9 = \frac{\gamma \times 0.746}{\rho} \times F$$

Q_9=میزان انرژی مورد نیاز برای پمپ استخر بر حسب کیلووات (تک سرعته)

γ =قدرت پمپ (بر حسب اسب بخار)

ρ =راندمان پمپ

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

0.746=ضریب تبدیل اسب بخار به کیلووات ساعت (یک اسب بخار در یک ساعت ۷۴۶ وات برق تولید می‌کند)

F =تعداد پمپ مورد نیاز

لازم به ذکر است که برق مورد نیاز برای پمپ‌های دو سرعته برابر ۰.۷ برق مورد نیاز برای پمپ‌های تک سرعته است و برق مورد نیاز برای پمپ‌های سرعت متغیر برابر ۰.۵ برق مورد نیاز برای پمپ‌های تک سرعته می‌باشد، لذا از نظر صرفه‌جویی در مصرف برق، برای سرمایه گذار در ساخت استخر، پمپ های سرعت متغیر، مطلوب‌تر می‌باشند.

مرحله سوم: محاسبه برق مورد نیاز برای سایر قسمت های استخر

این قسمت شامل برق مورد نیاز برای روشنایی محیط، تجهیزات برقی و ... است که با Q_{10} نشان داده شده است. مقدار مصرف در این مرحله تابعی از فضای استخر، راهروها و سایر تجهیزات مانند سونا و سالن های بوفه، و ... موارد است که کاربر این عدد را بایستی برآورد و برحسب کیلو وات، وارد نماید.

مرحله چهارم: تعیین ظرفیت دستگاه CHP

تعیین ظرفیت دستگاه CHP با توجه به مراحل قبل، تعیین خواهد شد، در واقع حرارت مورد نیاز و برق مورد نیاز جمع شده و ظرفیت تعیین می‌گردد. اعدادِ به دست آمده از آیتم‌های محاسباتی مراحل قبل، شامل موارد ذیل بوده که باید با هم جمع شوند:

- انرژی موردنیاز برای پیش گرمایش (کیلووات) Q_1
- انرژی موردنیاز برای ثبات دمای آب در یک ساعت (کیلووات)Q_2
- انرژی مورد نیاز برای گرم نگه داشتن محیط استخر(کیلووات)Q_8
- میزان برق موردنیاز برای پمپ (پمپاژ) آب استخر در یک ساعت (کیلووات)Q_9
- سایر برقهای مصرفی در استخر (روشنایی محیط، تجهیزات برقی و ..) (کیلووات)Q_{10}

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

در تعیین ظرفیت دستگاه CHP توجه به راندمان ۳۰ درصد برق و ۵۰ درصد حرارت باید مدنظر باشد. که در اکسل مورد نظر در محاسبات به آن توجه شده است. بعد از تعیین ظرفیت مورد نیاز میتوان، در مورد تعداد موتور ژنراتور گازسوز CHP برای تامین ظرفیت مورد نیاز، تصمیم‌گیری نمود و تعداد آن توسط کاربر وارد می‌شود. چرا که امکان خرید ژنراتور به ظرفیت های مختلف در بازار وجود دارد.

برای آنکه بتوان تشخیص داد که آیا نصب دستگاه CHP دارای صرفه اقتصادی است یا خیر باید با حالتی که استخر از برق شهری و گاز شهری برای گرما و روشنایی استخر استفاده میکند، مقایسه صورت پذیرد.

برای تعیین درآمد، کاربر باید آیتم‌هایی را وارد نماید تا میزان درآمد محاسبه شود. بر اساس وضعیت موجود در نمونه مورد بررسی (استخر شرکت آبفا)، این آیتم ها شامل موارد؛ ۱-میزان برق مصرفی در سال (قبل از نصب chp) بر حسب کیلووات ساعت ۲- میزان گاز مصرفی در سال (قبل از نصب chp) بر حسب متر مکعب ۳-نرخ خرید برق از شبکه (قبل از نصب chp) بجز تابستان بر حسب کیلووات ساعت/ ریال ۴-نرخ خرید گاز از شبکه (قبل از نصب chp) بجز زمستان بر حسب مترمکعب/ ریال ۵-قیمت خرید گاز شهری (برای نیروگاه chp) به ریال ۶-نرخ خرید برق تجدیدپذیر توسط دولت به ریال ۷-هزینه ثابت یا همان هزینه‌های "تهیه و خرید " (کاربر باید مجموع هزینه زمین، محوطه سازی، تجهیزات مورد نیاز، تاسیسات مورد نیاز، و سایر هزینه های پیش از بهره برداری را برای یکسال محاسبه و وارد نماید) به هزار ریال ۹-هزینه متغیر یا همان هزینه‌های "اجرا و بهره‌برداری" (کاربر باید هزینه‌های نیروی انسانی، مواد اولیه، انرژی، استهلاک، تعمیرات، اداری و بیمه را برای یک سال محاسبه و وارد نماید) به هزار ریال ۱۰-نرخ تورم سالانه (درصد) و ۱۱-نرخ تنزیل یا همان نرخ بهره بانکی (درصد) وقتی یازده آیتم بالا وارد می‌شود (این اعداد با علامت * در جدول ۲ مشخص شده است)، خروجی اکسل، آیتم‌های زیر را در اختیار تصمیم گیرنده (یا سرمایه‌گذار) خواهد گذاشت که بر اساس آنها تصمیم به اجرای پروژه و یا عدم اجرای آن خواهد گرفت (این اعداد با علامت ** در جدول ۲ مشخص شده است).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

٤-نتایج و بحث

با توجه به مراحلی که در روش تحقیق بیان شد؛ برای نمونه مورد بررسی (استخر شرکت آبفای مشهد) خلاصه محاسبات به صورت جداول ذیل آورده شده است، لازم به ذکر است که محاسبات با لحاظ ابعاد استخربزرگسالان، استخر کودکان، جکوزی، سونای خشک و بخار انجام شد و ظرفیت CHP برآورد و با توجه به این ظرفیت تعداد موتور ژنراتور برای آن تعیین گردید. در ابتدا هزینه‌ها برآورد و بهای تمام شده محاسبه گردید از آنجا در این روش نیاز بود که درآمد از محل ذخیره انرژی برق و گازی که استخر قبل از نصب دستگاه CHP استفاده میکرده است، محاسبات انجام پذیرد، لذا به نرخ خرید گاز و برق و میزان مصرف آنها قبل از نصب این دستگاه نیز توجه شد.

جدول ۱-جمع هزینه های ثابت اجرای پروژه

ردیف	هزینه ثابت	هزینه (هزارریال)	هزینه متغیر (سالانه)	هزینه (هزارریال)
۱	زمین	۰	خرید مواد اولیه (گاز شهری)	۸۶۴۲۳۸
۲	محوطه سازی	۹۰۰,۰۰۰	نیروی انسانی	۲,۰۰۰,۰۰۰
۳	ساختمان‌سازی	۰	هزینه آب، برق و گاز	۰
۴	تاسیسات و انشعابات	۲,۰۰۰,۰۰۰	نگهداری و تعمیرات	۲,۱۰۰,۰۰۰
۵	هزینه لوازم اداری و خدمات	۶۲۵,۰۰۰	استهلاک	۱,۰۵۰,۰۰۰
۶	تجهیزات و ماشین آلات	۲۰,۰۰۰,۰۰۰	هزینه اداری و بیمه	۶۰,۰۰۰
۷	هزینه های قبل از بهره برداری	۰	سایر	۱۱۶,۳۰۶
	جـــــــــــمع	۲۳,۵۲۵,۰۰۰		۶,۱۹۰,۵۴۴

ماخذ: یافته های تحقیق

جدول ۲-برآورد بهای تمام شده برق برای یک کیلو وات ساعت با کمک دستگاه CHP

ظرفیت chp موردنیاز (کیلووات)	تعداد موتور ژنراتور گازسوز CHP موردنیاز برای تامین ظرفیت موردنیاز دستگاه CHP	ظرفیت یک دستگاه chp - کیلووات	تعداد روزهای فعالیت استخر در سال	متوسط ساعت فعالیت استخر در روز	میزان برق مصرفی در سال (قبل از نصب chp) - کیلووات ساعت
۱۷۱۴.۷۶**	۲*	۸۵۷.۳۸**	*۳۰۰	*۶	۳۷۵۰۰۰*

ماخذ: یافته های تحقیق (*اعدادی که کاربر می تواند تغییر دهد و وارد نماید و ** اعدادی که توسط نرم افزار محاسبه می شود)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

ادامه جدول ۲

میزان گاز مصرفی در سال (قبل از نصب chp) - متر مکعب	قیمت هر دستگاه chp موردنظر (میلیون تومان) در زمستان سال ۱۴۰۲	نرخ خرید برق از شبکه (قبل از نصب chp) - بجز تابستان - کیلووات ساعت ریال	نرخ خرید گاز از شبکه (قبل از نصب chp) - بجز زمستان - مترمکعب ریال	نرخ خرید برق تجدیدپذیر توسط دولت (ریال)	هزینه ثابت (هزار ریال) - تهیه و خرید	هزینه متغیر (هزار ریال) - اجرا و بهره برداری
*۹۰۰۰۰	*۹۰۰	*۶۱۳۷	*۵۰۰۰۰	*۲۱۰۰۰	*۲۳۵۲۵۰۰۰	*۶۱۹۰۵۴۴.۰۸۵

ماخذ: یافته های تحقیق (*اعدادی که کاربر می تواند تغییر دهد و وارد نماید و ** اعدادی که توسط نرم افزار محاسبه می شود)

ادامه جدول ۲

قیمت خرید گاز شهری (برای نیروگاه chp) - ریال	نرخ تورم سالانه (درصد)	نرخ تنزیل (درصد) - بهره بانکی	درآمد سالانه حاصل از سیو خرید برق و گاز (هزار ریال)	دوره بازگشت سرمایه (PBP) (بدون لحاظ نرخ تنزیل) - سال	نرخ بازده داخلی (IRR)	دوره بازگشت سرمایه پویا (DPBP) (با لحاظ نرخ تنزیل) - سال	بهای تمام شده یک کیلووات ساعت (ریال)
*۷۵۰	*٪۳۰	*٪۲۳	**۱۸۷۱۱۸۰۰.۶۷	**۱	**٪۳۵.۶	**۱	**۵۴۲۴

ماخذ: یافته های تحقیق (درآمد سالانه حاصل از عدم انتشار کربن (گرنت زیست محیطی) هم می‌تواند به درآمد اضافه گردد که در این تحقیق صفر لحاظ گردید) (*اعدادی که کاربر می تواند تغییر دهد و وارد نماید و ** اعدادی که توسط نرم افزار محاسبه می شود)

همانگونه که بیان شد، با توجه به ماهیت هدفِ تحقیق حاضر که «استحصال انرژی از روش CHP» برای استفاده در یک مجموعه آبی (استخر) مد نظر است، لذا در اینجا، فروش برق مدنظر نیست و استفاده از آن در فضای استخر مورد توجه است، لذا درآمد ناشی از ذخیره برق در صورت استفاده از دستگاه، در مقایسه با خرید برق تجاری برای استخر مورد محاسبه قرار می‌گیرد. در مورد گاز شهری نیز مبنای محاسبه، به همین صورت است. درآمد به صورت جدول ۳ محاسبه شد.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

جدول ۳-درآمدهای سالیانه حاصل از فروش برق

نوع درآمد	کیلو وات ساعت - ریال	مصرف سالانه یک استخر- کیلووات ساعت	درآمد سالانه (هزار ریال)
خرید برق جایگزین	*۶,۴۴۴	*۳۷۵,۰۰۰	۲,۴۱۶,۴۴۴
نوع درآمد	مترمکعب - ریال	مصرف سالانه یک استخر - مترکعب	درآمد سالانه (هزار ریال)
خرید گاز جایگزین	*۵۲,۵۰۰	*۹۰,۰۰۰	۴,۷۲۵,۰۰۰
نوع درآمد	کیلووات ساعت	متوسط تعرفه خرید برق پراکنده توسط دولت-ریال	درآمد سالانه (هزار ریال)
فروش برق مازاد	*۵۰۸,۷۴۵	*۲۱,۰۰۰	۱۰,۶۸۳,۶۴۶
درآمد حاصل از گرنت زیست محیطی			*۰
جمع کل			**۱۷,۸۲۵,۰۹۰**

ماخذ: یافته های تحقیق (*اعدادی که قابل تغییر است و کاربر می تواند آنها را وارد کند)

تعرفه فروش یک کیلو وات ساعت برقِ تجاری، بر حسب میانگین وزنی تعرفه برق در طول سال (ایام تابستان و سایر ایام)، به دست آمده است که برابر عدد ۶۴۴۴ ریال (برای سال ۱۴۰۲) می‌باشد، و این عدد برای گاز شهری برابر ۵۲۵۰۰ ریال است (اعداد ۳۷۵۰۰۰ و ۹۰۰۰۰ به ترتیب مصرف سالانه برق و گاز شهری یک استخر نمونه (مجموعه آبی شرکت آبفای مشهد) است که کاربر می‌تواند این اعدد را وارد کند، و در جداول ذیل با علامت * مشخص شده است. همانگونه که جدول ذیل نشان می‌دهد، اگر استخر، از دستگاه CHP استفاده کند، درآمد ناشی از عدم خرید برق و گاز از شبکه، به ترتیب برابر ۲,۴۱۶,۴۴۴ و ۴,۷۲۵,۰۰۰ هزار ریال است که چون برق مازاد هم وجود دارد از فروش این برق نیز درآمدی برابر ۱۱,۵۷۰,۳۵۷ هزار ریال به دست می‌آید و درآمد کل برابر ۱۸,۷۱۱,۸۰۱ هزارریال در سال اول خواهد بود.

با توجه به آنچه در بالا بیان شد، می‌توان محاسبات جریان نقدی، جریان تجمعی درآمد، شاخصهای IRR و NPV و دوره بازگشت سرمایه را به دست آورد. همانگونه که جدول ذیل نشان می دهد

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

پروژه با عمر مفید ۲۰ سال دارای IRR برابر ۸۳ درصد بوده و دارای توجیه اقتصادی است و دارای نرخ بازده داخلی مناسبی برای سرمایه گذاری است.

جدول ۴-جریان هزینه ها، درآمدها، شاخص ارزش حال خالص و IRR در طی بیست سال آینده برای استحصال انرژی از روش دستگاه CHP (هزارریال)

سال	هزینه	درآمد	NPV	IRR	ارش حال جریان نقدی تجمعی
۱۴۰۲	۲۳۵۲۵۰۰۰	۰	۱۹۱۲۶۰۱۶.۲-		۲۳۵۲۵۰۰۰-
۱۴۰۳	۷۴۲۸۶۵۲.۹۰۳	۲۲۴۵۴۱۶۰.۸۱	۹۱۹۴۴۲۲.۶۹-	٪۳۶.۱۳-	۳۰۴۳۵۱۵۶.۱۷-
۱۴۰۴	۸۹۱۴۳۸۳.۴۸۳	۲۶۹۴۴۹۹۲.۹۷	۴۹۴۹۳۶.۸۸۲	٪۲۵.۱۲	۲۴۱۳۵۲۵۷.۰۵-
۱۴۰۵	۱۰۶۹۷۲۶۰.۱۸	۳۲۳۳۳۹۹۱.۵۶	۹۹۴۷۹۷۰.۶۱۵	٪۵۳.۱۴	۷۳۸۶۱۵۶.۳۴۳-
۱۴۰۶	۱۲۸۳۶۷۱۲.۲۲	۳۸۸۰۰۷۸۹.۸۸	۱۹۱۷۰۴۴۲.۵۵	٪۶۶.۷۳	۱۷۵۷۴۶۳۹.۱۸
۱۴۰۷	۱۵۴۰۴۰۵۴.۶۶	۴۶۵۶۰۹۴۷.۸۵	۲۸۱۶۷۹۷۶.۱۴	٪۷۳.۸۷	۴۸۹۳۴۹۳۵.۱۹
۱۴۰۸	۱۸۴۸۴۸۶۵.۵۹	۵۵۸۷۳۱۳۷.۴۲	۳۶۹۴۶۰۵۷.۷	٪۷۷.۸۴	۸۵۲۲۸۱۵۱.۱۳
۱۴۰۹	۲۲۱۸۱۸۳۸.۷۱	۶۷۰۴۷۷۶۴.۹۱	۴۵۵۱۰۰۳۹.۷۱	٪۸۰.۱۵	۱۲۵۲۶۸۵۲۸.۶
۱۴۱۰	۲۶۶۱۸۲۰۶.۴۵	۸۰۴۵۷۳۱۷.۸۹	۵۳۸۶۵۱۴۴.۱	٪۸۱.۵۴	۱۶۸۰۹۸۴۵۹.۵
۱۴۱۱	۳۱۹۴۱۸۴۷.۷۴	۹۶۵۴۸۷۸۱.۴۷	۶۲۰۱۶۴۶۵.۴۶	٪۸۲.۴۰	۲۱۲۹۴۵۶۶۶.۷
۱۴۱۲	۳۸۳۳۰۲۱۷.۲۹	۱۱۵۸۵۸۵۳۷.۸	۶۹۹۶۸۹۷۴.۱۱	٪۸۲.۹۳	۲۵۹۱۸۸۳۹۶.۵
۱۴۱۳	۴۵۹۹۶۲۶۰.۷۵	۱۳۹۰۳۰۲۴۵.۳	۷۷۷۲۷۵۱۹.۱۳	٪۸۳.۲۶	۳۰۶۳۲۷۱۲۲.۱
۱۴۱۴	۵۵۱۹۵۵۱۲.۹	۱۶۶۸۳۶۲۹۴.۴	۸۵۲۹۶۸۳۱.۳۴	٪۸۳.۴۸	۳۵۳۹۶۱۵۴۳.۳
۱۴۱۵	۶۶۲۳۴۶۱۵.۴۷	۲۰۰۲۰۳۵۵۳.۲	۹۲۶۸۱۵۲۶.۱۹	٪۸۳.۶۲	۴۰۱۷۷۱۸۸۹.۶
۱۴۱۶	۷۹۴۸۱۵۳۸.۵۷	۲۴۰۲۴۴۲۶۳.۹	۹۹۸۸۶۱۰۶.۵۲	٪۸۳.۷۱	۴۴۹۵۰۳۷۲۳.۷
۱۴۱۷	۹۵۳۷۷۸۴۶.۲۸	۲۸۸۲۹۳۱۱۶.۷	۱۰۶۹۱۴۹۶۵.۴	٪۸۳.۷۶	۴۹۶۹۵۵۵۸۹.۳
۱۴۱۸	۱۱۴۴۵۳۴۱۵.۵	۳۴۵۹۵۱۷۴۰	۱۱۳۷۷۲۳۸۸.۷	٪۸۳.۸۰	۵۴۳۹۶۸۹۷۲.۵
۱۴۱۹	۱۳۷۳۴۴۰۹۸.۶	۴۱۵۱۴۲۰۸۸	۱۲۰۴۶۲۵۵۷.۷	٪۸۳.۸۳	۵۹۰۴۲۰۱۴۳.۱
۱۴۲۰	۱۶۴۸۱۲۹۱۸.۴	۴۹۸۱۷۰۵۰۵.۶	۱۲۶۹۸۹۵۵۱.۹	٪۸۳.۸۴	۶۳۶۲۱۳۵۲۵.۴
۱۴۲۱	۱۹۷۷۷۵۵۰۲.۱	۵۹۷۸۰۴۶۰۶.۷	۱۳۳۳۵۷۳۵۱.۱	٪۸۳.۸۵	۶۸۱۲۷۶۳۱۰.۵
۱۴۲۲	۲۳۷۳۳۰۶۰۲.۵	۷۱۷۳۶۵۵۲۸.۱	۱۳۹۵۶۹۸۳۸.۲	٪۸۳.۸۶	۷۲۵۵۵۴۰۸۰.۳

ماخذ: یافته های تحقیق

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

آنچه در قبل بدان پرداخته شد بیانگر آن است که دستگاه CHP استفاده از آن در جاهایی دارای توجیه اقتصادی است که بتوان همزمان از برق و حرارت آن بهره جست. به عنوان مثال در دستگاه های هضم بیهوازی در تصفیه خانه های فاضلاب از این دستگاه استفاده میگردد تا بیوگاز حاصل از فاضلاب، به کمک این دستگاه تبدیل به برق و حرارت شود و از حرارت آن برای گرم کردن هاضم‌ها استفاده میشود و در این تحقیق نیز استفاده از آن برای استخرهای شنا که همزمان به برق و حرارت نیاز دارند، تایید گردید.

۵-جمع بندی

روشهای تولید انرژی پایدار در جهان کنونی بسیار مورد توجه بوده و امکانسنجی اقتصادی انجام هر روش، دارای اهمیت می‌باشد. در این تحقیق الگوی اقتصادی تطبیق پذیر برای استفاده از دستگاه CHP گازسوز جهت تامین برق و حرارت مورد نیاز به طور نمونه برای استخر شرکت آبفای مشهد، آورده شده است. در این رابطه اکسلی "کاربر دوست[۱]" متناسب با انجام روش تهیه برق به کمک دستگاه CHP تهیه گردید که در این اکسل، کاربر می‌تواند با وارد کردن شاخصها و فاکتورهای مهم، میزان برق تولیدی را (برحسب فرمولها مندرج در منابع علمی)، در خروجی مشاهده نماید و همچنین با توجه به هزینه‌های ثابت و متغیر که کاربر وارد می‌نماید و سایر آیتمهای اثرگذار، در خروجی اکسل، شاخصهایی مانند نرخ بازده داخلی پروژه، دوره بازگشت سرمایه را مشاهده نموده و به کمک آن بتواند سرمایه‌گذار (یا تصمیم گیرنده) در مورد انجام و یا عدم انجام پروژه، تصمیم‌گیری کند. تولید انرژی به کمک نصب دستگاه CHP در استخر مد نظر قرار گرفت چرا که همزمان به برق و حرارت در استخر نیاز وجود دارد. همانطور که بیان شد اکسلی تهیه شده "کاربردوست" بوده و حالت نرم افزای را داراست، امکان تهیه یک اپلیکشن و یا نرم افزار منطبق با آن امکان پذیر است که برای تحقیقهای آینده پیشنهاد می‌شود، همچنین در این اکسل، «معکوس عملیات اقتصادی» نیز تعبیه شده است یعنی آنکه کاربر می‌تواند با وارد کردن، سال مدنظر سرمایه‌گذار برای «بازگشت سرمایه» و نیز «نرخ بازده داخلی IRR» مد نظر سرمایه‌گذار، مشاهده نماید که دولت بایستی با چه نرخی، به طور متوسط، برق را

[۱] Friendly User

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

خریداری نماید که سرمایه‌گذار حاضر به سرمایه‌گذاری در این پروژه، با توجه به «سال و نرخ بازده مد نظر خود» باشد. در این اکسل، امکان تغییر شرایط تولید برق در هر روش، برای کاربر فراهم شده است، لذا متناسب با محل و مشخصات مورد استفاده برای هر کدام از این روشها، و همچنین تغییر نرخ‌های خرید برق، ممکن است توجیه پذیری اقتصادی، تغییر نماید، که از این نظر، کاربر و سرمایه‌گذارِ استفاده کننده از این اکسل، می‌تواند از آن، برای هر محلی و با هر مشخصاتِ مد نظر خود و در هر زمان (مثلا تغییر نرخ خرید برق در سالهای آتی)، بهره ببرد و تصمیم‌گیری لازم را به انجام رساند. همچنین لازم به ذکر است که این دستگاه در کاهش دی اکسیدکربن و کاهش هزینه‌های سوخت باتوجه به بازدهی بالای سیستم و حدف هزینه‌هایی اساسی مانند سرمایه‌گذاری برای گرمایش و سرمایش جداگانه و کاهش هزینه تعمیرات و تجدید تجهیزات سیستم، دارای توجیه پذیری مناسبی است. در شرایط کنونی که کشور با ناترازی انرژی برق همراه است، وجود شبکه‌های برق با قابلیت اطمینان پایین، وضعیت تجارت و امنیت برخی از شرکت‌ها و سازمان‌هارا به خطر می‌اندازند لذا با تولید برق به کمک CHP در محل، می‌توان تضمینی برای تولید بدون توقف ایجاد نمود. بنابراین همانگونه که بیان شد سیستم‌های CHP سوخت کمتری را برای تولید هر واحد انرژی می‌سوزانند و باتوجه به اینکه در محل مصرف تولید می‌شوند تلفات مربوط به انتقال وتوزیع انرژی نیز حذف خواهد شد و همچنین با اجرای نیروگاه‌های تولید همزمان، میتوان از انعطاف پذیری این سیستم‌ها برای بهره برداری بهینه و بیشینه از واحدهای صنعتی استفاده کرد.

٦-پیشنهادات

در روش تولید برق به روش دستگاه CHP پیشنهاد بهره‌گیری از این دستگاه برای تولید انرژی در مکان‌هایی دارای توجیه است که همزمان برق و حرارت مورد نیاز باشد، لذا در این تحقیق استفاده از آن در استخر پیشنهاد شده است. از آنجایی که قیمت تمام شده یک کیلووات ساعت برق، در شرایط موجود در این تحقیق (در سال ۱۴۰۲)، و برای نمونه وارد شده، برابر ۵۴۲۴ ریال، به دست آمد. می‌توان پیشنهاد داد که استفاده از دستگاه CHP دارای صرفه اقتصادی است و قابل کاربرد برای مجموعه‌های

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

آبی می‌باشد، چراکه از قیمت خرید »برق پراکنده« توسط دولت، کمتر است و طبق شاخصهای اقتصادی بیان شده در این تحقیق، دارای توجیه پذیری مناسبی برای سرمایه گذار است. بنابراین می‌توان در شرایط موجود در تابستان که ناترازی انرژی برق، سبب قطعی برق برای خطوط کارخانجات تولیدی می‌شود و همچنین استخرها در تابستان دارای تقاضای بیشتری می‌باشند، این روش را بکار گرفت که در مصرف انرژی صرفه جویی نمود. به ویژه برای نهادهای عمومی و دولتی همچون شرکت آبفا که دارای موضوع تکلیفی بهره‌گیری از ۲۰٪ از سهم انرژی‌های تجدیدپذیر نیز می باشند، توجه به این روش برای تامین برق، پیشنهاد می‌گردد. از سوی دیگر در سایر واحدهای صنعتی و تجاری نیز سیستم CHP قابل پیشنهاد است در صورتی که تولید همزمان برق و حرارت مهم باشد که از جمله آنها می‌توان به کارخانجات شیمیایی و دارویی، تولیدی‌ها، مجتمع‌ها و زیرساخت‌های ساختمانی، مراکز تجاری، فرودگاه‌ها، زندان‌ها و مراکز درمانی و سلامت اشاره نمود.

تشکر و قدردانی

طرح حاضر برگرفته از مقاله حاضر برگرفته از طرح پژوهشی، طی قراردادی بین شرکت آبفا مشهد و جهادانشگاهی خراسان رضوی می‌باشد که بدین وسیله از کارکنان محترم آن شرکت قدردانی میگردد.

منابع

بهبهانی نیا، علی، عمیدپور، مجید، تسلطی، بهرام، و بهبهانی نیا، پریساسادات. (۱۳۸۹). تحلیل ریسک مالی سیستم های CHP در شرایط عدم قطعیت. آینده پژوهی مدیریت (پژوهش های مدیریت)، ۲۱(۸۵)، ۱۷۵-۱۸۶.

طالبی قادیکلایی، عباد، و دولت آبادی، جعفر. (۱۳۸۸). بررسی فنی اقتصادی کاربرد پیل سوختی در CHP خانگی. سمینار پیل سوختی ایران. .

تیموری حمزه کلایی، فاطمه، و امجدی، نیما. (۱۳۹۴). مدل فنی- اقتصادی سیستم های Micro CHP با روش های عملکردی مختلف. مهندسی مدیریت انرژی (مدیریت انرژی)، ۵(۴)، ۲-۱۱.

خلیلی عراقی، سیدمنصور، شیخ زاده، حسین، و پاک دین، جواد. (۱۳۸۸). کاربرد مکانیزم توسعه پاک در ایران مطالعه موردی طرح CHP مشهد. کنفرانس بازار کربن و مکانیسم توسعه پاک در پتروشیمی و صنایع مرتبط..

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]

جلاب، مصطفی، و سالاریان، حسام الدین. (۱۳۹۴). تحلیل انرژی اقتصادی و تعیین حالت بهینه عملکردی سیستم میکرو CHP. کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی.

شاکری، امید، رضوی، محمدرضا، و الیاسی، مهدی. (۱۴۰۰). تحلیل راهبرد گذار فناورانه تولید هم زمان برق و حرارت در ایران. مطالعات راهبردی در صنعت نفت و انرژی (مدیریت منابع انسانی در صنعت نفت)، ۱۳(۵۰)، ۱-۲۲.

غلامی، عادل، قاضی زاده، محمدصادق، پاک دامن، جواد، و انصاری، میثم. (۱۳۹۰). تعیین بهینه ظرفیت برنامه کاری بهینه سیستم تولید هم زمان برق و حرارت در یک واحد صنعتی با محرک اولیه موتور گازسوز. مهندسی مدیریت انرژی (مدیریت انرژی)، ۱(۱)، ۲-۱۰.

Zhang Xin, Lingyi Xu, Long Zou, Ziheng Jiang, Jiadong Liao, Pengyun Gao, Shian Li, Qiuwan Shen (۲۰۲٤), Modeling and simulation of a residential-based PEMFC-CHP system, International Journal of Electrochemical Science, Volume ۱۹, Issue ۸, August ۲۰۲٤, ۱۰۰٦۳۸

Alao, Moshood Akanni; Popoola, Olawale Mohammed (۲۰۲٤), Techno-economic and environmental assessments of optimal planning of waste-to-energy based CHP-DG considering load growth on a power distribution network, Heliyon, ۲۹ February ۲۰۲٤.

Bartnik, Ryszard, Anna Hnydiuk-Stefan, Zbigniew Buryn, Waldemar Skomudek (۲۰۲٤), Thermodynamic and economic analysis of hierarchical gas–gas nuclear power plants and CHPs with high-temperature reactors and helium as the circulating medium, Applied Thermal Engineering, Volume ۲٤۹, ۱۵ July ۲۰۲٤, ۱۲۳٤۲٦.

He Chen, Zhengxing Liang, Zhongqing Yang, Guangyao Cui, Yunfei Yan, Li Zhang (۲۰۲۳), multi-objective optimization for hydrogen-mixed combined heat and power (CHP) plants considering economic and environmental factors based on MILP, Electric Power Systems Research, Volume ۲۲۱, August ۲۰۲۳, ۱۰۹٤٤۲

Bartnik Ryszard, Zbigniew Buryn, Anna Hnydiuk-Stefan, Tomasz Kowalczyk (۲۰۲۲), Thermodynamic and economic comparative analyses of a hierarchic gas-gas combined heat and power (CHP) plant coupled with a compressor heat pump, Energy, Volume ۲٤٤, Part B, ۱ April ۲۰۲۲, ۱۲۳۱۱٦.

Mehregan Mahmood; Mohammad Abbasi; Seyed Majid Hashemian (۲۰۲۲), Technical, economic and environmental analyses of combined heat and power (CHP) system with hybrid prime mover and optimization using genetic algorithm, Sustainable Energy Technologies and AssessmentsFebruary ۲۰۲۲.

Wu Qiong, Hongbo Ren, Weijun Gao (۲۰۱٦), Economic Assessment of Micro-CHP System for Residential Application in Shanghai, China, Energy Procedia, Volume ۸۸, June ۲۰۱٦, Pages ۷۳۲-۷۳۷.

Zuccari, F; Santiangeli, A; Orecchini, F (۲۰۱۷), Energy analysis of swimming pools for sports activities: cost effective solutions for efficiency improve, Energy Procedia, Volume ۱۲٦, September ۲۰۱۷, Pages ۱۲۳-۱۳۰.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-01]