

بررسی تأثیر جایگزینی نیروگاه فعلی شرکت پالایش نفت تبریز با سیستم سیکل ترکیبی (CHP) بر مصرف انرژی

الهام محمودی^۱، نعیمه جدیری^{۲*}، مرتضی رضایی^۳، اسماعیل فاتحی^۴

^۱ کارشناس ارشد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

^۲ استادیار دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

^۳ کارشناس ارشد شرکت پالایش نفت تبریز

^۴ استاد دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سهند، تبریز

(دریافت: ۹۸/۶/۱۱، پذیرش: ۹۹/۷/۷، نشر آنلاین: ۹۹/۷/۷)

چکیده

بهینه‌سازی مصرف انرژی حاصل از منابع تجدیدناپذیر در مصارف صنعتی، یکی از مهم‌ترین مسائل مطرح جهان می‌باشد. در این میان نیروگاه‌های تولید برق یکی از این صنایعی هستند که سهم قابل توجهی در مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. تحقیق حاضر به ارائه راهکاری مناسب جهت بهبود وضعیت فعلی نیروگاه تولید برق در شرکت پالایش نفت تبریز و مقایسه راندمان سیستم پیشنهادی با سیستم تولید برق حاضر می‌پردازد. به‌منظور جایگزینی نیروگاه قدیم و تولید ظرفیت بالای برق، سیکل ترکیبی با ظرفیت تولید برق ۷/۵ مگاوات پیشنهاد داده می‌شود. این نیروگاه راندمان حدود ۴۸ درصد در بخش تولید برق و بدون تولید بخار و راندمان ۸۵ درصد با راه‌اندازی سیستم بازیابی حرارتی دارد و می‌تواند جایگزین نیروگاه قدیم با راندمان ۵۰ درصد و توربین گازی با راندمان ۳۵ درصد برای تولید برق شود. همچنین در صورت استفاده از سیکل ترکیبی، هزینه برق تولیدی با احتساب قیمت سوخت مصرفی، معادل ۱۹۵۰۰۰ ریال به ازای هر مگاوات خواهد بود که در مقایسه با برق تولیدی توربین بخاری با قیمت ۳۲۶۶۷۷۷ ریال به ازای هر مگاوات و توربین گازی با قیمت ۳۰۰۰۰۰، به‌صرفه‌تر است. جایگزینی سیستم پیشنهادی با نیروگاه فعلی بسیار مقرون به‌صرفه بوده و می‌تواند نقش مؤثری در بهینه‌سازی مصرف انرژی ایفا نماید.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی، نیروگاه، شرکت پالایش نفت تبریز، توربین.

۱- مقدمه

انرژی خود، به‌ویژه در بخش برق، با مشکلاتی روبه‌رو شده است. وابستگی زیاد به سوخت‌های فسیلی یکی از چالش‌های بزرگی است که کشور با آن مواجه می‌باشد و منابع تجدیدپذیر، تنها ۵ درصد سهم در تولید برق را دارد (Aryanpour و همکاران، ۲۰۱۹).

یکی از مهم‌ترین نیازمندی‌های واحدهای پالایشگاهی تأمین برق و بخار آن‌ها می‌باشد که بتوان بدون وقفه و با اطمینان، برق و بخار موردنیاز آن‌ها را تأمین و نسبت به راهبری آن‌ها اقدام نمود. صنعت برق نیز به‌عنوان بخش زیربنایی در فرآیند توسعه اقتصادی کشور و ایجاد زیرساخت‌های توسعه‌نقشی ارزنده و اساسی دارد و بسترهای لازم را برای پویایی و رشد کشور در زمینه‌های گوناگون اقتصادی، صنعتی و اجتماعی فراهم می‌سازد (صادقی و همکاران،

پالایشگاه‌های موجود در دنیا یکی از بزرگ‌ترین و با ارزش‌ترین صنایع می‌باشند که متشکل از واحدهای پالایشی و فرآیندی هستند. هدف اصلی از پالایش، بیشینه کردن ارزش‌افزوده در تبدیل نفت خام به محصولات نهایی است. پالایشگاه‌های نفتی عمدتاً بزرگ، با سرمایه‌گذاری بالا و ساختار فرآیندی بسیار پیچیده و تجهیزات گران‌قیمت هستند. این صنایع نفت خام و دیگر جریان‌های ورودی را به محصولات پالایش‌شده تبدیل می‌کنند (محمودی، ۱۳۹۵).

صنایع نفتی یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان حامل‌های انرژی از جمله برق و بخار به‌شمار می‌روند. علی‌رغم این‌که کشور ایران منابع عظیم انرژی فسیلی و غیر فسیلی دارد، در بخش تأمین

* نعیمه جدیری؛ شماره تماس: ۴۱۳-۳۴۵۹۱۵۶

در پژوهش دیگری که در سال ۱۳۸۸ توسط امامی میبیدی با عنوان اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های بخاری گازی و سیکل ترکیبی انجام گرفت، نتایج حاصل نشان داد که رشد بهره‌وری تمام نیروگاه‌های موردنظر طی سال‌های موردبررسی به‌طور متوسط معادل ۱/۵ درصد بوده است و تأثیرگذارترین عامل در تغییرات بهره‌وری، تغییرات تکنولوژیکی معرفی شده است (امامی میبیدی و همکاران، ۱۳۸۸).

عامری در سال ۱۳۹۶ در پژوهشی برای نیروگاه سیکل ترکیبی قم با رویکرد آنالیز اکسرژی^۲ و تحلیل اقتصادی، به این نتیجه رسید که بیش از ۸۰ درصد تخریب اکسرژی مربوط به محفظه احتراق و مولد بازیافت حرارتی می‌باشد و ضرورت بهبود عملکرد این دو المان نسبت به المان‌های دیگر مشخص می‌گردد. همچنین تأثیر افزایش دمای خروجی از محفظه احتراق بر روی کاهش نرخ هزینه موردبررسی قرار گرفته است. با استفاده از حرارت اتلافی در بویلر^۳ بازیافت جهت پیش‌گرم کردن هوای ورودی و سوخت مصرفی می‌توان راندمان واحد گازی را افزایش و اتلاف اکسرژی محفظه احتراق را کاهش داد. (عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۶).

در سال ۲۰۰۴ Casarosa تأثیر تغییر پارامترهای طراحی HRSG را بر روی راندمان سیکل ترکیبی موردبررسی قرار داد و نتایج حاصل نشان داد که با استفاده از مبدل حرارتی با بیش از یک مسیر جریان آب و افزایش دما و فشار گاز ورودی به HRSG، می‌توان به راندمان بالاتر از ۶۰ درصد دست یافت که از نظر اقتصادی بسیار مقرون به‌صرفه می‌باشد و از اتلاف انرژی جلوگیری می‌گردد (Casarosa و همکاران، ۲۰۰۴).

با توجه به استفاده گسترده نیروگاه‌های سیکل ترکیبی توربین گازی (GTCC)^۴ در چین، Xiang و Chen در سال ۲۰۰۷ با بهینه‌سازی پارامترهای ترمودینامیکی مؤثر در عملکرد HRSG تغییر راندمان GTCC را موردبررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که تغییر دمای گاز ورودی به HRSG به میزان بالاتر از ۵۹۰ درجه سانتی‌گراد تأثیر چندانی بر روی راندمان تولید بخار ندارد درحالی‌که با بهینه‌سازی دمای گاز، می‌توان راندمان تولید برق در بخش توربین را به بالاتر از ۵۹/۰۵ درصد افزایش داد. علاوه بر آن میزان بار بخش GTCC بهتر عمل خواهد کرد و در ۷۵ درصد بار ورودی راندمان به میزان ۲/۱۱ درصد و در ۵۰ درصد بار ورودی راندمان به مقدار ۴/۱۷ درصد افزایش می‌یابد (Xiang و Chen، ۲۰۰۷).

در سال ۲۰۱۹ Ibrahim و همکاران یک بررسی جامع در مورد نیروگاه سیکل ساده توربین گازی واحد تولید برق (GTTP)^۵

انرژی در سراسر جهان به عنوان یکی از عوامل تأثیرگذار در اقتصاد و رشد مطرح می‌شود. تولید انرژی از طریق مصرف منابع تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر صورت می‌گیرد. در حال حاضر به‌صورت عمده از منابع تجدیدناپذیر به‌منظور تولید انرژی استفاده می‌شود و با توجه به کاهش منابع انرژی و عدم تجدیدپذیری آن‌ها، کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی تولید، جزء مسائل مطرح در دنیا می‌باشد (سیفی و دهقانپور، ۱۳۹۳).

در سال‌های اخیر نیروگاه‌های حرارتی شامل نیروگاه‌های گازی، بخار و سیکل ترکیبی حدود ۳۵ درصد برق کشور را تولید نموده است. به‌موازات توسعه نیروگاه‌های فسیلی، نیاز این بخش به مصرف انواع حامل‌های انرژی فسیلی رشد قابل‌توجهی داشته است. (محمودی و همکاران، ۱۳۹۴). به‌طورکلی، انرژی الکتریکی می‌تواند از سوزاندن منابع انرژی استخراج‌شده و تصفیه‌شده مانند زغال‌سنگ، گاز طبیعی و نفت یا استفاده از منابع انرژی مانند آبی، زیست‌توده^۱، باد، زمین‌گرمایی، خورشیدی و قدرت موج تولید شود. امروزه منابع تولید انرژی برق در سراسر جهان از ۴۱ درصد زغال‌سنگ، ۲۱/۳ درصد گاز طبیعی، ۱۵/۹ درصد منابع آبی و سدها، ۱۳/۵ درصد راکتورهای طراحی‌شده، ۵/۵ درصد نفت خام، ۱/۳ درصد زیست‌توده، ۱/۱ درصد قدرت باد و ۰/۳ درصد از انرژی زمین‌گرمایی حاصل می‌شود (Duffey و Piro، ۲۰۱۴).

نیروگاه‌های تولید برق و بخار بالاترین سهم را در مصرف سوخت‌های فسیلی دارند و این موضوع علاوه بر کاهش منابع تولید انرژی، مسائل زیست‌محیطی و مشکلات حاصل از گازهای گلخانه‌ای و سمی را به‌وجود می‌آورد (اسلامی و همکاران، ۱۳۹۸). به دنبال ضرورت بهینه نمودن استفاده از انواع سوخت در صنعت برق به‌ویژه بخش حرارتی آن در سراسر دنیا، تحلیل‌گران، محققان و کارکنان صنعت، به دنبال نتایجی برای موارد جایگزین هستند و این امر ایجاب می‌کند که فرآیند تولید در نیروگاه‌های حرارتی موردبررسی قرار گرفته و تا حد ممکن سیستمی با راندمان بالا جایگزین سیستم‌های با کارایی پایین شود (Edward و ChaoChen، ۲۰۰۷).

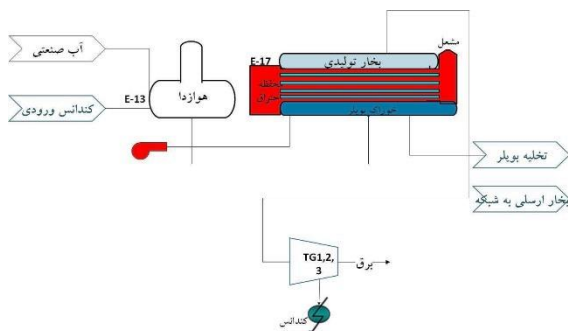
مطالعاتی در زمینه بهینه‌سازی تولید و مصرف انرژی در نیروگاه‌ها در داخل و خارج از کشور انجام گرفته است. در سال ۱۳۹۱ امامی میبیدی در مطالعه‌ای به بررسی تبدیل نیروگاه‌های گازی ساده به چرخه ترکیبی و تأثیر آن بر میزان سوخت مصرفی پرداخت و به این نتیجه رسید که با فرض تبدیل کلیه مولدهای برق گازی به چرخه ترکیبی، سالیانه ۳/۵ میلیارد مترمکعب در مصرف گاز طبیعی صرفه‌جویی خواهد شد (امامی میبیدی و حیدری، ۱۳۹۱).

4. Gas Turbine Combined Cycle
5. Gas Turbine Power Plant

1. Biomass
2. Exergy analysis
3. Boiler

برق نیروگاه قدیم به صورت توربین بخاری (STG)^۲ و نیروگاه جدید به صورت توربین گازی (GTG)^۳ می‌باشند. براساس آمار ارائه شده، به طور متوسط سالانه ۴۶۸ میلیون مترمکعب سوخت گازی و هفده میلیون لیتر سوخت مایع در پالایشگاه مصرف می‌شود. از این مقادیر حدود ۲۰۶ میلیون مترمکعب سوخت گازی (حدود ۴۴ درصد از کل مصرف) و ۵ میلیون لیتر سوخت مایع (حدود ۳۰ درصد از کل مصرف) در واحد سرویس‌های جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در سه سال اخیر (۹۵ تا ۹۸) به طور متوسط حدود ۲۱/۴ مگاوات در ساعت برق تولید شده است. بخار تولیدی در سه سال گذشته به طور متوسط ۱/۸ میلیون تن در سال بوده است. شمای کلی STG در شکل (۱) آورده شده است.



شکل ۱- شمای کلی STG در شرکت پالایش نفت تبریز

بویلرهای موجود در نیروگاه بخار با مصرف سوخت مایع و گاز طبیعی، بخار با فشار بالا تولید می‌کنند که بخشی از این بخار به منظور مصرف در واحدهای پالایشی به شبکه بخار وارد می‌شود و قسمتی به منظور تولید برق، وارد ژنراتورهای تولید برق می‌شود. انرژی تولیدی که از احتراق سوخت‌ها حاصل می‌شود، به صورت کامل صرف تولید بخار می‌شود و بخش عظیمی به طرق مختلف اتلاف می‌گردد. نیروگاه قدیم تولید برق، شامل سه ژنراتور تولید برق می‌باشد که ظرفیت هر کدام از دو دستگاه ۱۰ مگاوات و ظرفیت تولید دستگاه سوم برابر ۷/۵ مگاوات می‌باشد. دو دستگاه اول مجهز به اکسترکشن (تبدیل بخار فشار بالای ورودی به توربین به بخار فشار متوسط در خروجی توربین) و دستگاه سوم به طور کامل آب کندانس^۴ می‌باشد. بخار مصرفی توربین‌ها بخار با فشار بالا (۴۲ kg/cm²) و بخار تولیدی از اکسترکشن، بخار با فشار متوسط (۱۰/۵ kg/cm²) می‌باشد (گزارش طرح شماره ۸۹۲۳۳۰۵۲، ۱۳۹۰).

در سال‌های اخیر نیروگاه جدید به منظور تأمین برق مورد نیاز پالایشگاه و به دلیل کاهش راندمان نیروگاه قدیمی

به بررسی تأثیر شرایط عملیاتی بر عملکرد GTPP پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که شرایط عملیاتی از جمله فشار، ارزش حرارتی سوخت مورد استفاده و نسبت سوخت به هوا از جمله پارامترهای کلیدی هستند که تأثیری بسیاری زیادی در میزان برق تولید و راندمان توربین‌های گازی دارد (Ibrahim و همکاران، ۲۰۱۹).

در سال ۲۰۱۶ Hoang و همکاران در پژوهشی با بیان محبوبیت بیشتر چرخه‌های ترکیبی و مورد توجه قرار گرفتن آن‌ها به دلیل بهره‌وری بیش از ۶۰٪، کاهش میزان انتشار آلاینده‌ها، از جمله CO₂، NO_x و SO_x و اهمیت سیاست‌گذاری جلوگیری از افزایش دمای زمین، به بررسی تأثیر شرایط محیطی بر روی عملکرد نیروگاه سیکل ترکیبی پرداخته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که دمای محیط، نسبت فشار در قسمت گاز و دمای ورودی به توربین گازی، مهم‌ترین عواملی هستند که بر کارایی و تولید برق در کل سیستم تأثیر می‌گذارند. (Hoang و همکاران، ۲۰۱۶).

به دلیل بالا بودن سهم صنایع نفتی از جمله پالایشگاه و پتروشیمی در مصرف انرژی و عدم توانایی تأمین برق مصرفی آن‌ها توسط نیروگاه تولید برق شهری، این صنایع برق و بخار مورد نیاز خود را توسط نیروگاه‌های موجود در صنعت تأمین می‌کنند و از آنجاکه راندمان تولید برق و قیمت تمام شده آن بر روی هزینه‌های پالایشگاه تأثیرگذار می‌باشد، لازم است که این واحد صنعتی از نظر مصرف سوخت، اتلاف انرژی و راندمان تولید انرژی بهینه‌سازی گردد. هدف اصلی در پژوهش حاضر بررسی تأثیر جایگزینی سیستم فعلی نیروگاه تولید برق و بخار شرکت پالایش نفت تبریز توسط سیستم سیکل ترکیبی (CHP)^۱، بر روی راندمان تولید و مقایسه ارزش برق و بخار تولیدی در این دو نوع سیستم می‌باشد که تاکنون این بررسی بر روی سیستم تولیدی برق انجام نشده است.

پژوهش حاضر، از پنج بخش اصلی، مقدمه شامل مروری بر تحقیقات سال‌های اخیر، سیستم نیروگاهی فعلی شرکت پالایش نفت تبریز حاوی توصیف سیستم فعلی و عملکرد آن، سیکل ترکیبی پیشنهادی و توصیف سیکل پیشنهادی و نحوه عملکرد این سیکل، بحث و نتیجه‌گیری دربردارنده نتایج حاصل از محاسبات و در نهایت جمع‌بندی می‌باشد.

۲- سیستم نیروگاهی شرکت پالایش نفت تبریز

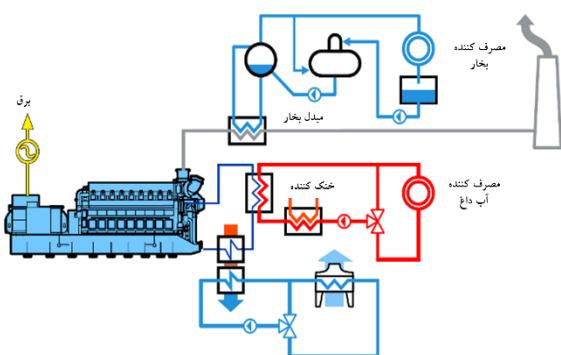
در شرکت پالایش نفت تبریز، برق و بخار مورد نیاز در واحد سرویس‌های جانبی تولید، توزیع و مدیریت می‌شود. دو مرکز تولید

3. Gas Turbine Generator
4. Condensed water

1. Combined Heat and Power
2. Steam Turbine Generator

۳- سیکل ترکیبی پیشنهادی

سیستم جدید پیشنهادی تولید برق، CHP، شامل سیستم موتور ژنراتور گازسوز به همراه سیستم HRSG می‌باشد. روند کار سیستم پیشنهادی مطابق GTG می‌باشد. در این سیستم با احتراق گاز طبیعی در موتور، نیروی مکانیکی تولیدی از طریق شفت به ژنراتور منتقل شده و تولید برق می‌کند. بر روی این سیستم‌ها دو بخش بازیافت حرارتی اصلی قرار می‌گیرد. در یک بخش از آب خنک‌کن موتور با استفاده از یک مبدل صفحه‌ای آب گرم تولید می‌شود و در بخش دیگر تولید بخار و یا آب گرم با بازیافت حرارت از گازهای احتراق خروجی از اگزوز انجام می‌گیرد (HRSG). شمای کلی طرح پیشنهادی در شکل (۳) آورده شده است.



شکل ۳- شمای کلی طرح جدید پیشنهادی تولید برق در پالایشگاه تبریز

به‌منظور محاسبه میزان اتلافات موجود در بخش‌های مختلف CHP از روابط (۵) و (۶) استفاده شده است (مبینی، ۱۳۸۵).

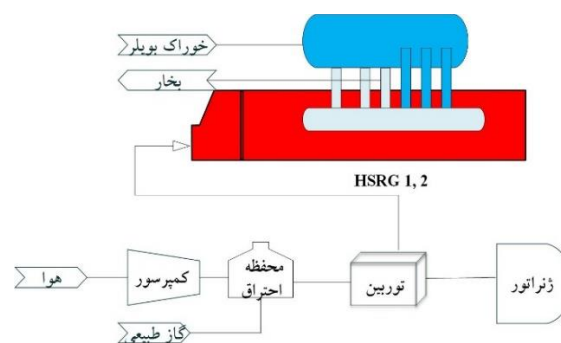
(۵) انرژی تلف‌شده از GTG = انرژی حاصل از احتراق / (انرژی بخار - انرژی حاصل از احتراق)

(۶) انرژی تلف‌شده از HRSG = انرژی تلف‌شده از GTG / (انرژی بخار - انرژی تلف‌شده از GTG)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

با برآورد میزان مصرف سوخت در بخش‌های مختلف نیروگاه‌های تولید برق، محاسبه راندمان و محاسبه میزان انرژی تلف‌شده، می‌توان وضعیت فعلی نیروگاه پالایشگاه را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج حاصل از محاسبات STG در جدول (۱) آورده شده است.

راه‌اندازی شده است. شمای کلی GTG در شکل (۲) آورده شده است.



شکل ۲- شمای کلی از GTG در شرکت پالایش نفت تبریز

نیروگاه GTG شامل دو دستگاه ژنراتور گازی از نوع (Siemens STG-600) به ظرفیت‌های نامی ۲۴/۷ مگاوات (که در شرایط اقلیمی تبریز قادر به تأمین ۱۷ مگاوات هستند) می‌باشد که در حال بهره‌برداری می‌باشند. راندمان کارکرد این ژنراتورها در بار نامی و بدون نصب HRSG، برابر ۳۴ درصد می‌باشد. لازم به یادآوری است که در مسیر گازهای خروجی از این ژنراتورها، دستگاه HRSG نصب گردیده که در شرایط عادی قادر به تولید ۲۵ تن در ساعت بخار فشار بالا می‌باشد و به این علت یکی از دیگرهای بخار موجود از سرویس خارج شده است. با توجه به تولید ۱۷ مگاوات برق و ۲۵ تن در ساعت بخار می‌توان استنباط نمود که میزان تولید بخار حدود ۱/۵ تن به ازای هر مگاوات خواهد بود (گزارش طرح شماره ۸۹۲۳۳۰۵۲، ۱۳۹۰). به‌منظور محاسبه میزان اتلافات موجود در بخش‌های مختلف نیروگاه قـــدیم تولید برق و بخار و GTG، از روابط (۱) تا (۴) استفاده می‌شود (مبینی، ۱۳۸۵).

(۱) انرژی حاصل از احتراق = ارزش حرارتی سوخت / میزان سوخت

(۲) انرژی بخار تولیدی = آنتالپی بخار در دما و فشار تولیدی × میزان بخار تولیدی

(۳) انرژی تلف‌شده از بویلر = انرژی حاصل از احتراق / (انرژی بخار - انرژی حاصل از احتراق)

(۴) انرژی تلف‌شده از ژنراتور = انرژی بخار ارسالی / (انرژی برق تولیدی - انرژی بخار تولیدی - انرژی بخار ارسالی)

نتایج حاصل از محاسبات مصرف سوخت و تولید بخار در بویلر و مصرف بخار و تولید برق در ژنراتور و نتایج حاصل از محاسبات برای GTG در بخش نتایج آورده شده است.

می‌باشد. عدم دستیابی به راندمان طراحی این سیستم نشان‌دهنده عدم کنترل و مدیریت صحیح نیروگاه تولید برق است. جدول ۳) نتایج حاصل از راه‌اندازی CHP را نشان می‌دهد.

جدول ۳- نتایج حاصل از محاسبات CHP پیشنهادی

CHP	
سوخت گاز مصرفی CHP (کیلوگرم در سال)	۹۱۳
برق تولیدی (مگاوات در سال)	۵۲۵۶۰
درصد انرژی اتلاف شده از CHP	۵۲
بخار تولیدی HRSR (تن در سال)	۴۳۸۰
درصد انرژی تلف‌شده در HRSR	۲۹
درصد کل انرژی تلف‌شده در نیروگاه جدید CHP	۱۵

با توجه به محاسبات صورت گرفته و براساس طراحی این سیستم، در ظرفیت‌های ۶ مگاوات به بالا، راندمان الکتریکی بین ۴۳ تا ۴۷ درصد بوده و سیستم‌ها جدید و به‌روز می‌باشند. همچنین راندمان کل (راندمان الکتریکی + حرارتی) بین ۸۵ تا ۸۷ درصد گزارش می‌شود. مطالعات صورت گرفته در زمینه CHP نشان می‌دهد که این نیروگاه تولید برق با توجه به طراحی مناسب در سیستم آن، توانایی تولید برق بیشتر به ازای مصرف مقادیر کم‌تر سوخت به نسبت GTG دارد. در پژوهش صورت گرفته پیشنهاد می‌شود از یک دستگاه CHP، با ظرفیت ۷/۵ مگاوات استفاده گردد. این دستگاه قابلیت تولید نزدیک به ۶ مگاوات برق را با توجه به ارتفاع از سطح دریا و شرایط اقلیمی تبریز دارا می‌باشد. لازم به ذکر است که نتایج حاصل از جدول ۳)، در صورتی که از سوخت گاز با ارزش حرارتی ۱۱۲۹۷ کیلوکالری در کیلوگرم (با امکان وجود تغییرات جزئی در حد ۰/۱ تا ۰/۲ کیلوکالری در کیلوگرم) قابل استناد می‌باشد. جدول ۴) مقایسه میزان سوخت مصرفی به ازای برق تولیدی در سه نیروگاه مختلف را براساس نتایج سالیانه حاصل از جداول (۱)، (۲) و (۳) در یک ساعت نشان می‌دهد.

جدول ۴- قیمت تمام‌شده برق تولیدی به ازای سوخت و بخار

	مصرفی در ساعت		
	سوخت	بخار	میزان تولید
	قیمت تمام‌شده	برق (مگاوات)	برق (مگاوات)
STG	۳۲۶۶۷۷۷	۲۳/۶	۴/۳
GTG	۳۰۰۰۰۰	-	۵/۲
CHP	۱۹۵۰۰۰	۱۹۵	۶

براساس نتایج حاصل از جدول ۴) مشخص می‌شود برق حاصل از واحد CHP پیشنهادشده به‌ازای بخار و سوخت مصرفی با هزینه کم‌تری تولید می‌شود که در مقایسه با نیروگاه قدیم و نیروگاه فعلی موجود از لحاظ اقتصادی مقرون به‌صرفه می‌باشد.

جدول ۱- نتایج حاصل از محاسبات در STG شرکت پالایش نفت

تبریز

STG & BOILERS	
سوخت گاز مصرفی بویلر (کیلوگرم در سال)	۱۲۰۲۵۷۲۸۰
سوخت مایع مصرفی بویلر (کیلوگرم در سال)	۷۲۶۴۵۶۲
ارزش حرارتی سوخت گاز (کیلوکالری بر کیلوگرم)	۱۱۶۱۵
ارزش حرارتی سوخت مایع (کیلوکالری بر کیلوگرم)	۹۸۴۵
درصد انرژی اتلاف شده از بویلر	۱۱
بخار ارسالی به ژنراتور (تن در سال)	۴۱۴۷۱۶
برق تولیدی از ژنراتور (مگاوات در سال)	۷۵۴۰۳
بخار فشار متوسط تولیدی از ژنراتور (تن در سال)	۱۶۳۹۶۵
درصد انرژی اتلاف شده در ژنراتور	۵۰
درصد کل انرژی تلف‌شده در نیروگاه قدیم	۵۵

با توجه به مطالعات صورت گرفته و بررسی وضعیت فعلی نیروگاه تولید برق و بخار پالایشگاه تبریز و با استفاده از روابط (۳) تا (۶)، مشخص گردید، در نیروگاه قدیم ۸۳ درصد از انرژی حاصل از احتراق سوخت در بویلرها، صرف تولید بخار فشار بالا می‌شود و ۱۱ درصد به‌صورت انرژی تلف‌شده از دودکش و بدنه بویلر اتلاف می‌گردد. همچنین راندمان در قسمت ژنراتور برابر ۵۰ درصد می‌باشد و این موضوع نشان‌دهنده اتلاف نیمی از انرژی بخار ارسالی به توربین و عدم کارکرد بهینه ژنراتورهای تولید برق و کپولت سیستم است که ناشی از طراحی و راه‌اندازی سیستم در ۴۲ سال پیش می‌باشد. جدول ۲) نتایج حاصل از محاسبه راندمان و تولید انرژی در GTG را نشان می‌دهد.

جدول ۲- نتایج حاصل از محاسبات GTG شرکت پالایش نفت

تبریز

GTG & HRSR	
سوخت گاز مصرفی GTG (کیلوگرم در سال)	۴۴۷۸۱۱۲۰
ارزش حرارتی گاز طبیعی (کیلوکالری در کیلوگرم)	۱۱۲۹۷
برق تولیدی (مگاوات در سال)	۹۲۲۳۸
درصد انرژی اتلاف شده از GTG	۸۴
بخار فشار بالای تولیدی از HRSR (کیلوگرم در سال)	۱۴۴۲۴۶۶۵۰
درصد انرژی تلف‌شده در HRSR	۷۷
درصد کل انرژی تلف‌شده در نیروگاه جدید	۶۵

محاسبات انجام‌گرفته در جدول ۲) نشان می‌دهد که نیروگاه جدید نیز در حالت ایده‌آل عمل نمی‌کند و راندمان حدود ۱۶ درصد در بخش تولید برق دارد که مقدار پایینی است. این راندمان به این معنی است که ۸۴ درصد از انرژی حاصل از احتراق گاز طبیعی تلف‌شده و به‌صورت گازهای بالاسری وارد HRSR می‌شوند و در این بخش به عنوان سوخت تولید بخار استفاده می‌گردد. با این حال ۷۷ درصد از انرژی داده‌شده به HRSR به طرق مختلف تلف می‌شود درحالی‌که راندمان طراحی این سیستم ۴۶ درصد

۶- سپاسگزاری

بدین وسیله از اداره HSEQ و واحد سرویس‌های جانبی شرکت پالایش نفت تبریز، به‌خاطر حمایت‌های آموزشی و تحقیقاتی که در انجام این تحقیق نموده‌اند، قدردانی می‌شود.

۷- مراجع

اداره مهندسی طرح‌ها، شرکت پالایش نفت تبریز، "مطالعات طرح جامع نیروگاه قدیم و یکپارچه‌سازی سیستم تولید برق"، شماره گزارش: ۸۹۲۳۳۰۵۲، ۱۳۹۰.

اسلامی ن، فاتحی فر ا، کی‌نژاد م ع، "مدل‌سازی انتشار BTEX از یک آشغال‌سوز صنعتی در شرایط ناپایدار با استفاده از روش عددی تفکیک معادلات"، مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز، ۱۳۹۸، ۴۹ (۲)، ۱۳-۲۱.

امامی میبیدی ع، حیدری ک، "بررسی تبدیل نیروگاه‌های گازی ساده (SCGT) به چرخه ترکیبی (CCGT) و تأثیر آن بر میزان مصرف سوخت‌های فسیلی"، فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی، ۱۳۹۱، ۱۲ (۳)، ۲۵-۴۶.

امامی میبیدی ع، افقه س م، رحمانی‌صفتی ا ر، "اندازه‌گیری کارایی فنی و بهره‌وری در نیروگاه‌های بخاری گازی و سیکل ترکیبی"، فصل‌نامه اقتصاد مقداری، ۱۳۸۸، ۶ (۳)، ۱۰۳-۷۹. سیفی ا، دهقان‌پور م ر، "بررسی تقاضای نهاده‌ها، صرفه‌جویی‌های ناشی از مقیاس و تغییرات فنی در صنعت تولید برق کشور طی دوره ۸۶-۱۳۵۰"، سیاست‌گذاری اقتصادی، ۱۳۹۳، ۶ (۱۲)، ۴۷-۸۱.

صادقی ح، ناصری ع ر، شهریاری ل، "بررسی راه‌های افزایش بهره‌وری در نیروگاه‌های گازی در ایران"، پژوهش‌نامه اقتصاد انرژی ایران، ۱۳۹۲، ۲ (۳)، ۱۰۷-۹۳.

عرب عامری ر، مالمیر چگینی ی، تورنگ ح، "مدل‌سازی و بهینه‌سازی نیروگاه سیکل ترکیبی قم با رویکرد آنالیز اکسرژی و تحلیل اقتصادی"، دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی مکانیک و هوافضا، مؤسسه آموزش عالی نیکان، تهران، ایران، ۱۳۹۶.

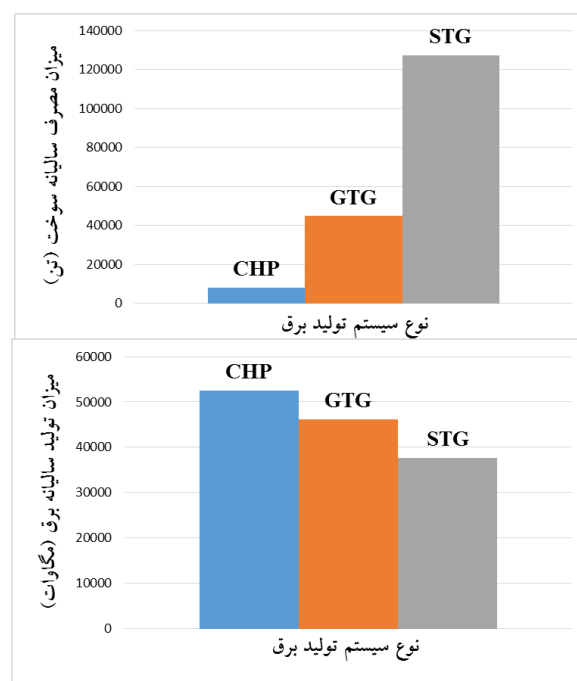
مبینی ک، "سوخت و احتراق"، جلد ۱، ویرایش ۲، تهران، انتشارات شرح، ۱۳۸۵.

محمودی ت، تکلیف ع، بختیار م، "تحلیل ظرفیت بهینه نیروگاهی در ایران و بررسی اثرات صرفه‌جویی مصرف انرژی بر آن"، نشریه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۱۳۹۴، ۱ (۱)، ۱-۱۵.

محمودی ا، "استفاده از روش نوین کاهش ضایعات در واحد تصفیه فاضلاب شرکت پالایش نفت تبریز"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند، ۱۳۹۵.

Aryanpur V, Atabaki, MS, Marzband M, Siano P,

شکل (۴) مقایسه برق تولیدی به ازای سوخت مصرفی را به صورت نمودار نشان می‌دهد. براساس نتایج حاصل مشخص می‌گردد که سیستم ترکیبی پیشنهادی از لحاظ مصرف سوخت و برق تولیدی در مقایسه با نیروگاه فعلی مقرون به‌صرفه می‌باشد. با استفاده از این دستگاه عملاً می‌توان واحد تولید برق قدیم را از مدار خارج کرد. همچنین می‌توان بخاری با ارزش حرارتی ۶ مگاوات ساعت نیز تولید کرد که کیفیت و مشخصات آن بر اساس طراحی واحد HRSG آن برحسب نیاز متغیر خواهد بود. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از CHP با راندمان ۴۸ درصد حتی بدون HRSG بسیار به‌صرفه‌تر از GT و GTG می‌باشد.



شکل ۴- مقایسه سیستم‌های مختلف تولید برق از نظر سوخت مصرفی و برق تولیدی در یک سال

۵- جمع‌بندی

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر تغییر سیستم تولید برق پالایشگاه تبریز با سیستم CHP صورت گرفت. بدین منظور عملکرد سیستم‌های حاضر در تولید برق مورد ارزیابی قرار گرفته و با برآورد راندمان بخش‌های مختلف و با مقایسه آن با عملکرد سیستم پیشنهادی مشخص گردید که جایگزینی سیستم فعلی تولید برق با سیستم CHP، به ازای کاهش ۱۳ درصد مصرف سوخت، ۳۵ درصد برق بیشتری تولید می‌کند که این موضوع از نظر میزان مصرف سوخت و تولید برق مقرون به‌صرفه می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود به‌منظور کاهش مصرف سوخت و تولید انرژی بیشتر، از سیستم CHP استفاده شود.

- Ghayoumi K, "An overview of energy planning in Iran and transition pathways towards sustainable electricity supply sector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 112, 58-74.
- Casarosa C, Donatini F, Franco A, "Thermoeconomic optimization of heat recovery steam generators operating parameters for combined plants", *Energy*, 2004, 29 (3), 389-414.
- Edward S, ChaoChen A, "Cost and performance of fossil fuel power plants with CO₂ capture and storage", *Energy policy*, 2007, 35 (9), 4444-4454.
- Hoang T, Pawluskiewicz DK, "The efficiency analysis of different combined cycle power plants based on the impact of selected parameters", *International Journal of Smart Grid and Clean Energy*, 2016, 5 (2), 77-85.
- Ibrahim TK, Mohammed MK, Al Doori WHA, Al-Sammarraie AT, Basrawi F, "Study of the performance of the gas turbine power plants from the simple to complex cycle: A technical review", *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Science*, 2019, 57 (2), 228-250.
- Piolo I, Duffey R, "Nuclear Power as a Basis for Future Electricity Generation", *Nuclear Engineering and Radiation Science*, 2014, 1 (1), 1-19.
- Xiang W, Chen Y, "Performance improvement of combined cycle power plant based on the optimization of the bottom cycle and heat recuperation", *Journal of Thermal Science*, 2007, 16 (1), 84, 2007.

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Replacing Current Power Plant in Tabriz Oil Refinery with Combined Heat and Power System (CHP) on Energy Consumption

Elham Mahmoudi^a, Naeimeh Jodeiri^{a,*}, Morteza Rezaee^b, Esmail Fatehifar^a

^a Faculty of Chemical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

^b Tabriz Oil Refinery, Tabriz, Iran

Received: 03 September 2019; Accepted: 29 September 2020

Keywords:

Optimization, Power Plant, Tabriz Oil Refinery, Turbine

1. Introduction

Oil refineries with the aim of converting crude oil to high-value products are one of the most important industries in the world. Refining processes consume large amounts of energy, including electricity and steam. Since most of the energy is generated from non-renewable resources and these resources are exhausted rapidly, energy consumption management and optimization of production in power plants have received great attention in recent years (Eslami et al., 2019; Aryanpur et al., 2019). In this paper, the effect of replacing the current power plant of Tabriz Oil Refinery with a Combined Heat and Power (CHP) system on energy consumption and efficiency of power generation is investigated.

2. Tabriz Oil Refining System

Steam and electricity in Tabriz Oil Refinery are generated through an old Steam Turbine Generator (STG) and a new Gas Turbine Generator (GTG), which is installed due to the low efficiency of the old system. These processes are shown in Fig. 1.

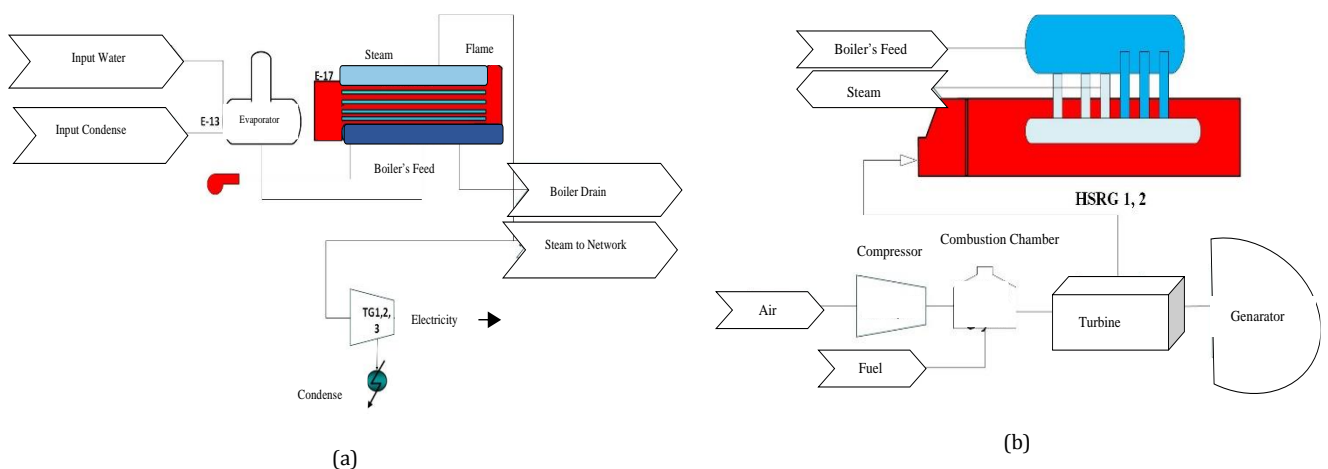


Fig. 1. STG (a) and GTG (b) in Tabriz Oil Refinery

* Corresponding Author

E-mail addresses: e_mahmoudi@sut.ac.ir (Elham Mahmoudi), njodeiri@sut.ac.ir (Naeimeh Jodeiri), m.teza@yahoo.com (Morteza Rezaee), fatehifar@sut.ac.ir (Esmail Fatehifar).

Boilers in steam power plants consume liquid fuel and natural gas to produce high-pressure steam which is used in refining processes and also in electricity generation. GTG power plant includes two gas generators with an efficiency of 34%. In the gas stream exiting the generators, a Heat Recovery Steam Generator (HRSG) is installed that produces 25 tons of high-pressure steam per hour. The amount of energy consumed in these two systems can be calculated.

3. proposed Combined Heat and Power System (CHP)

The proposed system for electricity generation includes gas-burning generator with HRSG, and the process is similar to GTG. In this system, natural gas is burned and mechanical energy is transferred to the generator through a shaft, and electricity is generated. Two heat recovery systems in used, the production of warm water from the cooling water of the engine using a heat exchanger and the production of steam or warm water using the heat extracted from hot exhaust gases. This system is shown in Fig. 2.

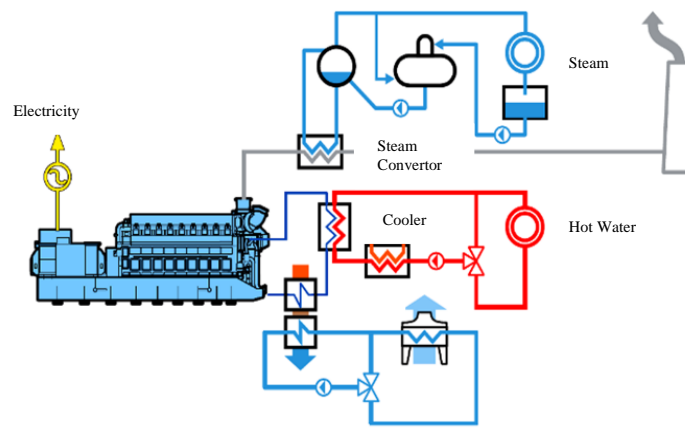


Fig. 2. Proposed system for electricity generation in Tabriz Oil Refinery

4. Results and discussion

4.1. Energy consumption in STG and GTG

Tables 1 and 2 indicate the amount of energy consumed and wasted and the system efficiency for STG and GTG, respectively. The results showed that about 11% of the energy in the old power plants is wasted through smokestack and boiler walls, and in total, 50% of energy is wasted. Calculations for GTG showed 16% efficiency, which is lower than the 46% design efficiency. The results for the proposed system are shown in Table 3.

Table 1. Fuel consumption and energy generation for STG

STG & BOILERS	
Boiler gas fuel consumption (kg/yr)	120257280
Boiler liquid fuel consumption (kg/yr)	7264562
(kcal/kg) Heating value of gas fuel	11615
(kcal/kg) Heating value of liquid fuel	9845
Percent energy wasted from boiler	11
Steam sent to the generator (ton/yr)	414716
Electricity generated from generator (MW/yr)	75403
Medium pressure steam generated from generator (ton/yr)	163965
Percent energy wasted in generator	50
Total energy wasted in old power plant	55

Table 2. Fuel consumption and energy generation for GTG

GTG & HRSG	
Gas fuel consumption of GTG (kg/yr)	44781120
Heating value of natural gas (kcal/kg)	11297
Electricity generated (MW/yr)	92238
Percent energy wasted from GTG	84
High-pressure steam generated from HRSG (kg/yr)	142246650
Percent energy wasted in HRSG	77
Total energy wasted in new power plant	65

Based on similar calculations for the designed CHP system with the capacity of at least 6 MW, total efficiency (electrical + thermal) of 85-87% was obtained. Therefore the use of a CHP system with the capacity of 7.5 MW which is able to produce 6 MW electricity, is recommended.

4.2. Cost of electricity from STG, GTG and CHP

Comparing the amount of fuel consumption in three power plants, the total price of electricity generated per hour from STG, GTG, and CHP was found to be 3266777, 300000 and 195000 Rials, respectively. Therefore the cost of electricity from the CHP system is much lower than that for the other two systems.

Table 3. Fuel consumption and energy generation for CHP

CHP	
Gas fuel consumption (kg/yr)	913
Electricity generated (MW/yr)	52560
Percent energy wasted in CHP	52
Steam generated from HRSG (ton/yr)	4380
Percent energy wasted in HRSG	29
Total percent of energy wasted in CHP	15

In terms of the annual cost of electricity based on the amount of fuel consumed, it was found that the electricity generation using the proposed CHP system, even without the HRSG unit, is economically feasible.

5. Conclusions

In this study, current systems of electricity generation in Tabriz Oil Refinery were investigated, and their efficiency was compared with a new combined heat and power system. The results indicated that the efficiency of the proposed power plant is 48% which is higher than the efficiency of two other systems. In fact the amount of fuel consumed for electricity generation and the total cost of electricity generation in the proposed system is lower than the other two systems, and installation of the new power plant could save energy and offer economic incentives for oil refining industries.

6. References

- Eslami N, Fatehifar E, keynejad MA, "Modelling BTEX emissions from an industrial waste incinerator in unstable conditions using numerical method of equation separation", *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 2019, 49 (2), 13-21.
- Aryanpur V, Atabaki MS, Marzband M, Siano P, Ghayoumi K, "An overview of energy planning in Iran and transition pathways towards sustainable electricity supply sector", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2019, 112, 58-74.