فصل‌نامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال دهم / شماره‌ی ۳۹/ زمستان ۱۳۹۲/ صفحات ۱۹۸-۱۷۱

امکان‌سنجی استفاده از بازیافت انرژی اتلافی از توربین‌های گازی نیروگاه پرند

مریم الهام بخش*

کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات

melhambakhsh@yahoo.com

خسرو باختری

استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات

آبتین عطایی

استادیار دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد واحد علوم و تحقیقات

مهدی شریف

شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، بخش صنعت

رامین دانسفاله

شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، بخش صنعت

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۴/۰۵ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۲/۲۹

چکیده

در این مطالعه امکان استفاده از بویلرهای بازیاب حرارت برای بازیافت حرارت حاصل از دود خروجی توربین‌های گازی نیروگاه پرند به منظور تأمین نیاز حرارتی شهرک پرند، مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور، ابتدا ساختمان‌های نمونه براساس نوع مصالح ساختمانی و نوع کاربری در محیط‌های نرم‌افزاری مانند هپ، کریر و ای‌کوئیست شبیه‌سازی شده و میزان بار حرارتی مورد نیاز شهرک برآورد و به کمک نمودارهای به‌دست آمده نقطه‌ی بهینه‌ی تولید شناسایی شده است. در مرحله‌ی بعد توربین‌های گازی نیروگاه در محیط نرم‌افزار ترموفلو شبیه‌سازی و پتانسیل انرژی قابل بازیافت محاسبه شده و براساس متوسط میزان بخار مصرفی مورد نیاز شهرک و پتانسیل انرژی اتلافی توربین‌های گازی، بویلرهای بازیاب طراحی و تعداد بویلرهای بازیاب مورد نیاز تعیین شده است. در پایان نیز به کمک نرم‌افزار اکسل تحلیل اقتصادی انجام گرفته است.

طبقه‌بندی JEL: Q42, O33, O22, L95,L94, C88

کلیدواژه: بویلر بازیاب حرارت، ترموفلو، تولید هم‌زمان برق و حرارت

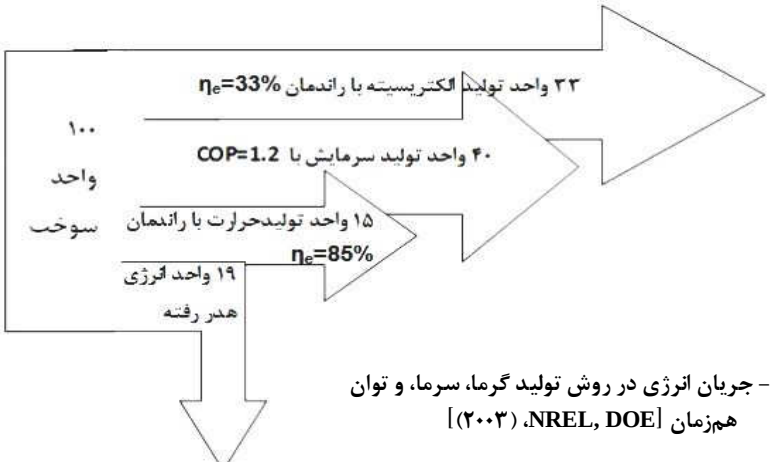
---

*- نویسنده‌ی مسئول

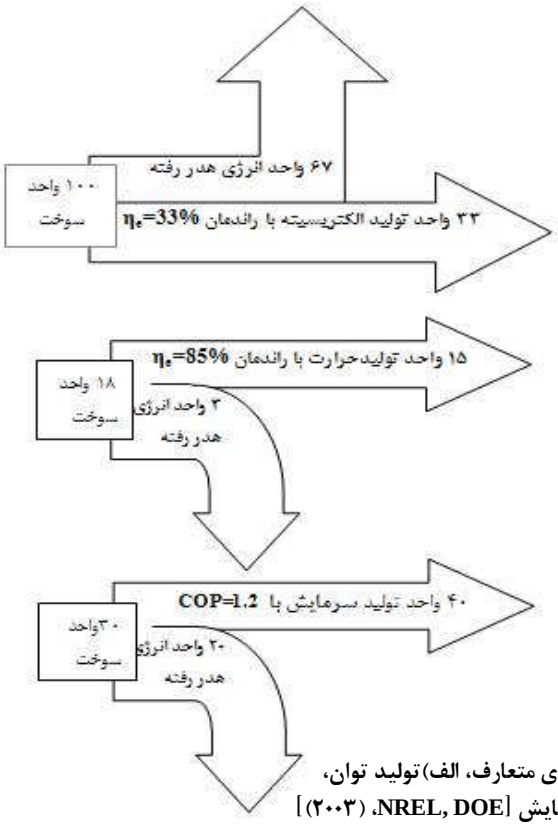
۱- مقدمه

نیروگاه‌های حرارتی منبع مهم تأمین برق هستند.در روش‌های مرسوم تولید برق و رساندن آن به مصرف‌کننده تنها یک سوم انرژی اولیه‌ی تزریق شده به نیروگاه به‌صورت برق در اختیار مصرف کننده قرار می‌گیرد. در نیروگاه‌های سنتی بازده تنها در حدود ۳۵٪ می‌باشد و ۶۵٪ انرژی باقیمانده تلف می‌شود. منبع اصلی تلفات در فرآیند تبدیل، حرارت منتقل شده به آب یا هوای محیط اطراف می‌باشد که ناشی از محدودیت‌های ذاتی چرخه‌های ترمودینامیکی مورد استفاده در تولید برق است. هم‌چنین، حدود ۱۰ تا ۱۵٪ تلفات مربوط به انتقال و توزیع برق در شبکه می‌باشد. بدین ترتیب تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی، با تلفات زیادی همراه است و در بهترین شرایط تولیدی که مربوط به چرخه‌ی ترکیبی است، بیش از ۵۰ درصد انرژی حرارتی به انرژی الکتریکی تبدیل نشده و به صورت گرما از خروجی دودکش و یا کندانسور نیروگاه با محیط تلف می‌شود.

یکی از روش‌های صرفه‌جویی انرژی در نیروگاه‌های حرارتی، استفاده از تولید هم‌زمان گرما، سرما و توان است که بازده‌ی کلی این واحدها را به ۸۰ تا ۹۰ درصد می‌رساند. در این روش می‌توان با استفاده از یک فرآیند، برق، گرما و یا سرمایش مفید را می‌توان هم‌زمان تولید نمود.فرآیند تولید هم‌زمان می‌تواند بر پایه‌ی استفاده از توربین‌های گازی، بخار و یا موتورهای درون‌سوز بنا شود. بویلرهای بازیاب گرما وظیفه‌ی بازیابی گرمای تلفاتی از گازهای دودکش و یا دیگر منابع در خلال فرآیند تولید برق را برعهده دارند. در شکل‌های شماره‌ی ۱ و ۲، مقایسه‌ای میان روش تولید هم‌زمان و روش‌های سنتی تولید انرژی انجام شده‌است. همان‌طورکه در شکل۲ مشاهده می‌گردد در روش‌های معمول، تولید توان، سرما و گرما مقدار انرژی سوخت مورد نیاز، ۱۴۸ واحد است، در حالی‌که برای همان مقادیر توان سرما و گرمای خروجی واحد تولید هم‌زمان تنها ۱۰۰ واحد انرژی سوخت ورودی نیاز می‌باشد.



شکل ۱ - جریان انرژی در روش تولید گرما، سرما، و توان همزمان [NREL, DOE، (۲۰۰۳)]



شکل۲ - جریان انرژی در روش‌های متعارف، الف)تولید توان، ب)تولید گرمایش، ج) تولید سرمایش [NREL, DOE، (۲۰۰۳)]

در کشور ما پایین بودن ارزش حرارتی نیروگاه‌ها ضرورت استفاده از انرژی اتلافی نیروگاه‌ها را بیش‌تر می‌کند. هم‌چنین تلفات زیاد انتقال و توزیع انرژی، تولید پراکنده‌ی انرژی را در نزدیک محل مصرف توجیه می‌کند. بازیافت حرارت از توربین‌های گازی، یک سیستم ساده و کم هزینه‌ی تولید هم‌زمان برق و حرارت است که می‌تواند با ترکیب یک توربین گاز و یک بویلر بازیاب گرما ایجاد شود. گازهای داغ خروجی از توربین گاز از یک بویلر بازیاب گرما عبور کرده و بخار مورد نیاز فرآیند یا گرمایش مورد نیاز را تأمین می‌کنند. در این واحدها، دود داغ خروجی از توربین گاز از بویلر بازیاب گرما عبور کرده و حرارت خود را به سیال حامل، که به طور معمول آب است، منتقل می‌کند. با توجه به بازده‌ی پایین توربین‌های گاز از حدود ۲۵٪ در توربین‌های با ظرفیت پایین تا ۳۸٪ در توربین‌های با ظرفیت بالا، دود خروجی از توربین‌های گازی دارای دمای بالایی است که از این انرژی گرمایی در سیستم‌های تولید هم‌زمان یا چرخه‌ی ترکیبی استفاده می‌شود. توربین گاز بر پایه‌ی چرخه‌ی ترمودینامیکی برایتون کار می‌کند. تراکم هوا، انتقال سوخت، احتراق و انبساط محصولات احتراق در توربین انجام می‌گیرد. اجزای اصلی توربین‌گاز عبارتند از: کمپرسور، محفظه‌ی احتراق، توربین و ژنراتور (هورلاک[1]، ۲۰۰۳).

سیستم‌های تولید هم‌زمان از دیدگاه ترتیب مصرف انرژی به صورت چرخه‌ی بالادستی و چرخه‌ی پایین‌دستی طبقه‌بندی می‌شوند (کوگن یوروپ[2]، ۲۰۰۱). در چرخه‌ی بالادستی انرژی حاصل از احتراق سوخت ابتدا جهت تولید توان (مکانیکی یا الکتریکی) به‌کار برده شده و حرارت خروجی از واحد، صرف حرارت گرمایشی یا فرآیندی می‌شود که به طور معمول در دما و فشار پایین می‌باشد. در چرخه‌ی پایین دستی، ابتدا سوخت برای تأمین حرارت مورد نیاز فرآیند صنعتی سوزانده شده و سپس از حرارت موجود در فرآورده‌های احتراق برای تولید توان استفاده می‌شود. حرارت مصرفی درچرخه‌های پایین‌دستی اغلب در دمای بالا بوده و استفاده از این چرخه در فرآیندهای صنعتی مناسب است که نیاز به گرما با دمای بالا دارند، تولید توان در این چرخه‌ها توسط چرخه‌ی بخار با سیال عامل آب یا سیال عامل آلی، یا توربین‌های گازی انجام می‌گیرد.

توربین‌های گازی، موتورهای رفت و برگشتی، توربین‌های زیرکش‌دار، بازیابی از توربین‌های پس‌فشاری، بازیابی از چرخه‌ی ترکیبی با استفاده از نیروگاه‌های چرخه‌ی ترکیبی که شامل یک یا چند توربین گاز به همراه بویلرهای بازیافت حرارت و توربین

1- Horlock
2- COGEN Europe

بخار هستند، پیل سوختی که برگرفته از تبدیل مستقیم انرژی شیمیایی به انرژی الکتریکی در یک واکنش گرمازا است، همگی از فن‌آوری‌های مختلف تولید هم‌زمان به شمار می‌روند. هنگام انتخاب سیستم تولید هم‌زمان، یکی از پارامترهای فنی بسیار مهم که باید در نظر گرفت، نسبت گرما به توان است. این نسبت باید با خصوصیات سیستم تولید هم‌زمان که قرار است نصب شود مطابقت داشته باشد. نسبت گرما و توان مورد نیاز از محلی به محل دیگر تغییر می‌کند، بنابراین باید نوع دستگاه را به منظور انطباق با تقاضا تا حد امکان، با دقت انتخاب نمود. در جدول ۱ بازده‌ی کلی سیستم‌های مختلف تولید هم‌زمان آمده است. (فیرچیلد[1]، ۲۰۰۲)

جدول ۱- نسبت حرارت به برق جهت مقایسه واحدهای مختلف تولید هم‌زمان

انواع سیستم‌های تولید هم‌زمان	بازده‌ی کلی	درصد برق تولیدی نسبت به سوخت مصرفی	نسبت حرارت به برق پایه
توربین بخار پس فشاری	۸۲-۹۲	۱۴-۲۸	۴-۴/۱۳
توربین بخار از نوع زیرکش	۶۰-۸۰	۲۲-۴۰	۲-۱۰
توربین گازی	۷۰-۸۵	۲۲-۳۵	۱/۳-۲
چرخه‌ی ترکیبی	۶۹-۸۳	۳۲-۴۰	۱-۱/۷
موتور درون‌سوز	۷۵-۸۵	۳۳-۵۳	۱/۱-۲/۵

منبع: فیرچیلد (۲۰۰۲)

کاربردهای سیستم‌های پراکنده‌ی تولید هم‌زمان، بر پایه‌ی محدوده‌ی توان آن‌ها معین می‌شود. یکی از این کاربردها، تأمین گرمایش، سرمایش و تهیه‌ی برق و آب گرم مصرفی ساختمان‌های مسکونی است که در زیر به برخی از جذابیت‌های استفاده از این سیستم در بخش خانگی اشاره شده‌است:

- مصرف بالای انرژی حرارتی و توان الکتریکی در این بخش
- بار حرارتی و الکتریکی نسبتاً ثابت در تمام طول سال (در فصل گرم سال می‌توان از سیستم‌های جذبی برای تأمین سرمای مورد نیاز استفاده کرد.)
- نیاز به انرژی الکتریکی و انرژی حرارتی در کنار هم و به طور هم‌زمان

1- Fairchild

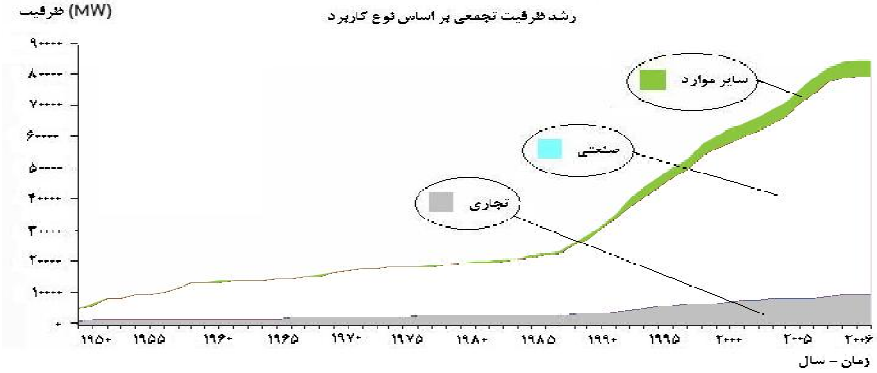
- افزون بر این جایگزینی نیروگاه‌های معمولی با طرح‌های تولید هم‌زمان، منجر به کاهش تلفات انتقال و توزیع برق از محل تولید تا نقطه‌ی مصرف و کاهش مصرف انرژی و آلاینده‌های حاصل از تولید انرژی می‌شود. (دمسکی و همکاران[1]، ۲۰۰۹)

۲- توسعه‌ی تولید هم‌زمان درکشورهای مختلف دنیا

استفاده از بخار تولیدی در نیروگاه‌های حرارتی برای گرمایش متمرکز شهرها، مناطق مسکونی بزرگ و یا مراکز صنعتی مدت‌هاست که مورد توجه کشورهای مختلف قرار گرفته است. مثلا از تولید هم‌زمان به عنوان منبع تأمین انرژی مورد نیاز در چیلرهای جذبی، برای سرمایش استفاده می‌شود و یا در مناطق روستایی و مزارع، از سوخت‌های زیستی به عنوان سوخت مورد نیاز در چرخه‌ی تولید هم‌زمان استفاده می‌شود.

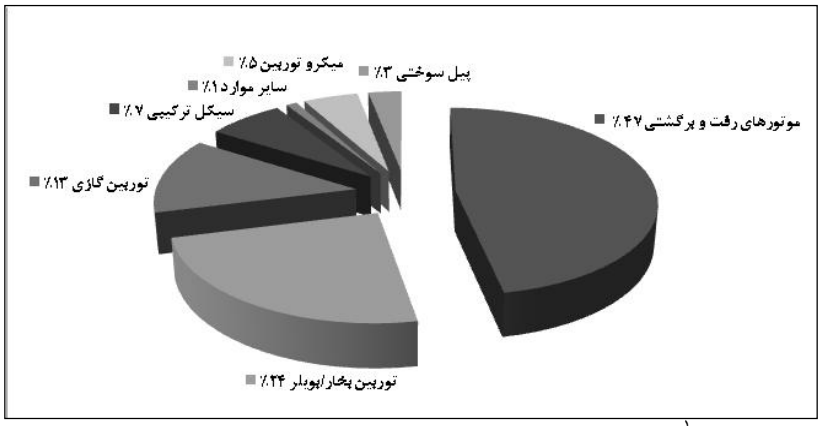
حدود ۴۰۰۰ مگاوات ظرفیت نصب شده‌ی تولید هم‌زمان در بیش از ۱۴۰۰ مکان در سراسر کشور انگلستان وجود دارد [IPIT]. در انگلستان بیش از ۲۱۴ مگاوات ظرفیت نصب شده در مناطق مسکونی وجود دارد و بیش از ۲۵۰۰۰۰ خانواده را دربرمی‌گیرد.

در آمریکا استفاده از سیستم‌های تولید هم‌زمان سابقه‌ی طولانی دارد. ۸٪ از کل برق تولیدی که بالغ بر ۸۵ گیگاوات است با نصب سیستم تولید هم‌زمان در ۳۳۰۰ نقطه تولید می‌شود. در بیش‌تر آن‌ها نیز از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می‌شود. زغال سنگ و سوخت‌های بازیافتی از جمله بیومس، چوب، روغن و... دیگر منابع تولید توان نیز در سیستم‌های تولید هم‌زمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل‌های ۳ و ۴ گویای این مطلب است.



شکل ۳- استفاده از سیستم تولید هم‌زمان در ایالات متحده

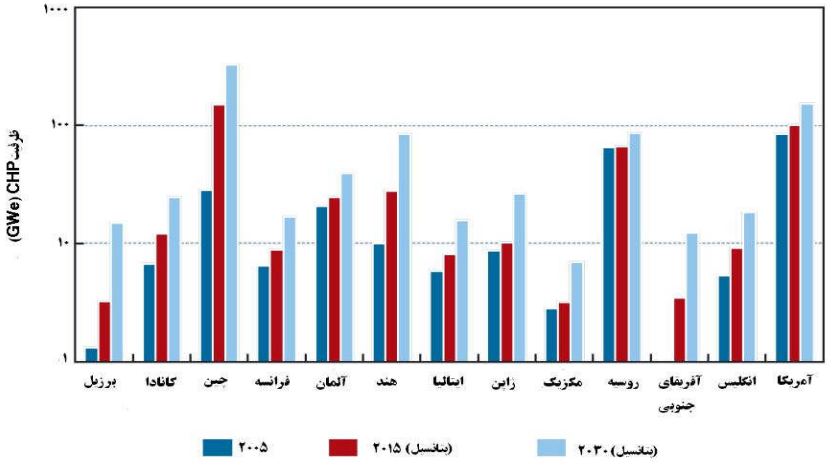
1- Demski et al



منبع: IEA(2008) [1]

شکل ۴- درصد استفاده از منابع مختلف در تولید توان در سیستم‌های تولید هم‌زمان در ایالات متحده

شکل ۵ نیز درصد استفاده از تولید هم‌زمان، و برنامه‌ی آتی کشورهای مختلف را برای استفاده از سیستم تولید هم‌زمان نشان می‌دهد.



منبع: IEA(2008)

شکل ۵- درصد استفاده از تولید هم‌زمان برق و حرارت در سال ۲۰۰۵ و پتانسیل این کشورها در رسیدن به آن در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۳۰

1- International Energy Agency (IEA)

در سال‌های اخیر نیز به علت مسائل زیست محیطی، صرفه‌جوئی در سوخت و نیز امکان به‌کار بردن انرژی‌های تجدیدپذیر در این سیستم‌ها، این فن‌آوری مورد توجه ویژه قرارگرفته است.

در ادامه اجمالا به برخی از کارهای علمی انجام شده در زمینه‌ی تولید هم‌زمان، در سال‌های اخیر پرداخته می‌شود:

در سال ۲۰۰۹، امکان‌سنجی تولید هم‌زمان در اماکن تجاری در آلمان مورد بررسی قرار گرفته و توربین‌های ۴ مگاواتی با توجه به شرایط اقلیمی و اقتصادی آلمان، به عنوان گزینه‌ی برتر برای استفاده پیشنهاد شده است (استریکین و همکاران[1]، ۲۰۰۹). در ادامه این کار گروهی از محققان مقایسه‌ی چرخه‌های گاز طبیعی میلر و اتو به کار برده شده در سیستم‌های تولید هم‌زمان را انجام داده و چرخه‌های میلر را، در شرایط یکسان وزنی، با بازده‌ی ۵ تا ۱۰ درصد بیش‌تر به‌عنوان گزینه نهایی پیشنهاد دادند (میکالسه و همکاران[2]، ۲۰۰۹). در مطالعات اقتصادی، برآورد اقتصادی سیستم‌های تولید هم‌زمان برای صنایع با مصرف بخار بالا مورد بررسی قرار داده شده و در نهایت برای صنایع مختلف، گزینه‌ی مناسب همان صنعت، پیشنهاد شده است (جیاکونه و همکاران[3]، ۲۰۰۹). در مقایسه‌ی انجام شده بین نسبت توسعه یافته توان به گرما در نیروگاه‌های کوچک گازی و بایو سوز، دو گزینه‌ی انتشار دی‌اکسیدکربن و توان به دست آمده از چرخه به عنوان دو فاکتور مورد مقایسه گرفته است. با توجه به کاهش هم‌زمان توان و انتشار دی‌اکسیدکربن در چرخه‌های سوخت بایو، در نهایت این سیستم به عنوان گزینه‌ی برتر انتخاب شده است (ساوولا و همکاران[4]، ۲۰۰۶). کونگ و همکاران[5] (۲۰۰۳)، سیستم‌های تولید هم‌زمان با چرخه‌ی استرلینگ را بررسی کرده‌اند. کاربرد چرخه‌ی استرلینگ یکی از موضوعاتی است که تأثیر مثبتی بر رشد اقتصادی خواهد داشت که این موضوع با بررسی بازده‌ی انرژی و امکان‌سنجی اقتصادی سیستم‌های تولید هم‌زمان با چرخه‌ی استرلینگ قابل اثبات می‌باشد. موتورهای رفت و برگشتی چرخه‌ی ژول را نیز می‌توان یکی از پر بازده‌ترین گزینه‌های ممکن دانست که برای

1- Streckiene et al
2- Mikalse et al
3- Giaccone et al
4- Savola et al
5- Kong et al

سیستم‌های تولید هم‌زمان خانگی مورد مطالعه قرار گرفته است و در مقایسه با سایر محرک‌های اولیه بسیار مثبت ارزیابی شده است (موس و همکاران[1]، ۲۰۰۵).

گروهی از محققان با مطالعه بر روی اجرای سیستم تولید هم‌زمان در هنگ‌کنگ و پس از محاسبه‌ی ظرفیت سرمایشی مورد نیاز در حدود ۲۰۰ مگاوات، سیستم مربوط را به عنوان سیستم مطلوب و اقتصادی از جهت تولید و مصرف انرژی پیشنهاد داده‌اند(چاو و همکاران[2]، ۲۰۰۵).

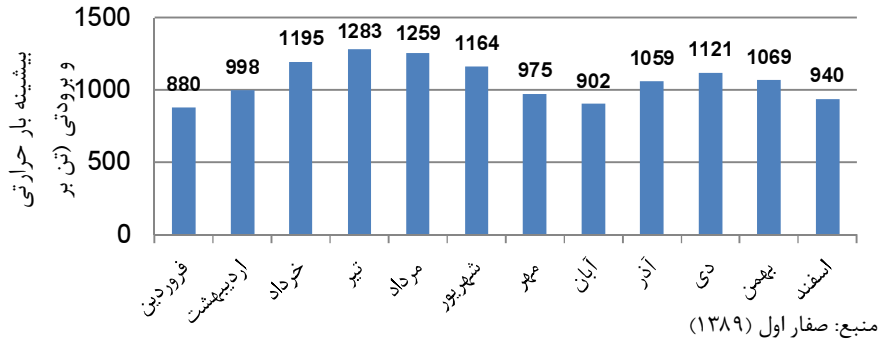
۳- روش مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات

در این مطالعه ابتدا نیازهای حرارتی مصرف کنندگان توسط نرم‌افزارهای کریر[3] و ای‌کوئست[4] مشخص شده است. این نرم‌افزارها ابزار قدرتمندی برای محاسبه‌ی بارهای حرارتی و برودتی، انتخاب دستگاه‌های تهویه و آنالیز اقتصادی انرژی می‌باشند(صفار اول، ۱۳۸۹). برای محاسبه‌ی بارهای گرمایشی، سرمایشی و آب گرم شهرک، ابتدا ساختمان‌های موجود در هرقسمت بر حسب نوع کاربری (مسکونی، تجاری و خدماتی)، سطح زیربنا، مشخصات بلوک‌ها، متوسط سطح اشغال هر بلوک بر حسب متر مربع و مشخصات معماری به دسته‌های مختلف تقسیم شدند. سپس بار بر واحد سطح برای هر دسته ساختمانی محاسبه شده و از ضرب آن در زیربنای کل ساختمان‌های هم دسته و جمع بار محاسبه شده برای دسته‌های گوناگون در هر قسمت، بار کل به دست آمده است. سپس، مقدار بخار مورد نیاز برای تأمین نیازهای مصرف‌کنندگان محاسبه شده است. نرم‌افزار کریر دارای دو زیر مجموعه و روش برای محاسبه است. یک روش بلوک لود یا بار کلی و دیگری روش آنالیز ساعتی یا هپ که جهت محاسبات بار گرمایش و سرمایش استفاده می‌شود. با توجه به نیاز تغییرات ساعتی، بارها برای استفاده از انرژی مازاد نیروگاه پرند، از روش هپ استفاده شده، اما از آن‌جاکه بار جزء به جزء فضاهای داخلی مورد نیاز نبوده و هدف تعیین بار گرمایش و سرمایش کل بخش‌ها می‌باشد، هریک از ساختمان‌ها به‌صورت یک زون یا فضا در نظر گرفته شده است[5].

1- Moss et al
2- Chow et al
3- Carrier
4- E-Quest
5- Handbook of Carrier System Design (2003)

از روش بلوک لود به منظور محاسبه‌ی کل بار ساختمان و انتخاب دستگاه‌های موتورخانه استفاده شده است. نرم‌افزار ای‌کوئیست، یک ابزار شبیه‌سازی انرژی نیمه گرافیکی است وبه عنوان ابزار دیگری برای محاسبه‌ی بارهای سرمایشی گرمایشی مورد استفاده قرار گرفته است. این نرم‌افزار، امکان معرفی شرایط آب و هوایی، جزئیات مصالح معماری و ابعاد ظاهری، نحوه‌ی کاربری و شرح سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی را با جزئیات بالا فراهم می‌کند. در نهایت با استفاده از شبیه ساز DOE[1]، به صورت ساعتی مصرف انرژی، آب گرم و برق مورد نیاز و تلفات حرارتی را تحلیل کرده و گزارش می‌کند. ابتدا واحدهای ساختمانی تمامی بلوک‌های موجود در شهرک در ای‌کوئست شبیه‌سازی و بار حرارتی آن‌ها محاسبه شده و سپس با توجه به تعداد بلوک‌ها در هر بخش، بار حرارتی و برودتی کل به‌دست آمده است در گام بعدی از تقسیم بار بیشینه‌ی محاسبه شده در هر ماه سال توسط ای‌کوئست بر مقداری که قبلا توسط کریر در همان ماه محاسبه شده، یک ضریب تصحیح به‌دست آمده است. تمام مقادیر به‌دست آمده است. توسط نرم‌افزار ای‌کوئست در آن ماه در این ضرایب تصحیح، ضرب شده و آن به عنوان تغییرات بار ساعتی در ماه مذکور در نظر گرفته می‌شود این عمل در ماه‌های مختلف انجام شده و در نهایت منحنی تغییرات بار حرارتی در ۸۷۶۰ ساعت یک سال به‌دست آمده است. در این‌جا منظور از بارهای حرارتی، مجموع بار سرمایی و گرمایی و حرارت مورد نیاز جهت تأمین آب گرم مصرفی است.

بدین ترتیب بیشینه‌ی بار حرارتی مورد نیاز شهرک برای ماه‌های مختلف به‌صورت نمودار زیر به‌دست آمده است.



منبع: صفار اول (۱۳۸۹)

شکل ۶ - تغییرات ماهیانه‌ی بیشینه‌ی بخار مصرفی بر حسب تن بخار اشباع ۱۰ بار

1- Department of Energy

محاسبه‌ی انرژی اتلافی نیروگاه

برای استفاده از انرژی اتلافی نیروگاه، می‌بایستی پتانسیل تولید انرژی از دود خروجی توربین‌های گازی برآورد شود. برای این منظور ابتدا مشخصات توربین‌های گازی موجود در نیروگاه شناسایی می‌شود. پارامترهای مورد نظر عبارتند از: دمای ورودی به توربین، تعداد واحدها، راندمان حرارتی آن‌ها، توان خروجی، عمر تجهیزات، دبی خروجی و متوسط دمای دود خروجی از توربین‌ها. هم‌چنین وضعیت عملکرد توربین‌ها در بارگذاری‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. نیروگاه پرند سال ۱۳۸۱ به بهره‌برداری رسیده است و تقریبا در هشت کیلومتری شهرک پرند در ارتفاع ۱۱۹۰ متری از سطح دریا قرار دارد. در این نیروگاه، ۶ واحد توربین گازی نوع زیمنس مدل V94/2 با توان نامی ۱۵۹ مگاوات نصب شده است و فضای داخلی نیروگاه به گونه‌ای است که امکان نصب بویلر بازیاب، در جلو توربین‌های گاز وجود دارد.

برای محاسبه‌ی انرژی اتلافی توربین‌های گازی، دو روش وجود دارد:

در روش اول، انرژی دود خروجی برابر است با حاصل‌ضرب دبی جرمی دود در آنتالپی دود در اختلاف دما تا دمای دود خروجی که معمولا بالاتر از دمای نقطه‌ی شبنم است. برای محاسبه‌ی دبی گازهای خروجی از دودکش که برابر با دبی جرمی هوا و سوخت است، براساس آنالیز دود خروجی، نسبت هوا به سوخت تعیین می‌شود سپس با معلوم بودن دبی سوخت ورودی، دبی هوای ورودی تعیین می‌شود. دمای دود خروجی نیز با دماسنج مناسب در بازه‌ی آزمون ثبت می‌شوند و از دماهای ثبت شده متوسط‌گیری می‌شود.

در روش دوم که در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته، استفاده از موازنه انرژی (خروجی منهای ورودی) است که عبارت است از اختلاف انرژی سوخت ورودی به هر واحد که حاصل‌ضرب دبی سوخت در ارزش حرارتی پایین آن است و مجموع برق تولیدی و تلفات انرژی آن واحد که برابر انرژی دود خروجی می‌باشد. البته انرژی دود خروجی تا رسیدن به دمای دود در خروج از بویلر بازیاب گرما درنظر گرفته می‌شود.

برای استفاده از انرژی اتلافی نیروگاه هم می‌توان از توربین گاز به تنهایی و هم از چرخه‌ی سیکل ترکیبی استفاده کرد. در حالت اول، هدف از تولید بخار به منظور تأمین نیازهای گرمایشی و سرمایشی خواهد بود. اما در حالت دوم هدف از تولید بخار از انرژی اتلافی نیروگاه، علاوه بر تأمین نیازهای گرمایشی- سرمایشی، استفاده از بخار مازاد در

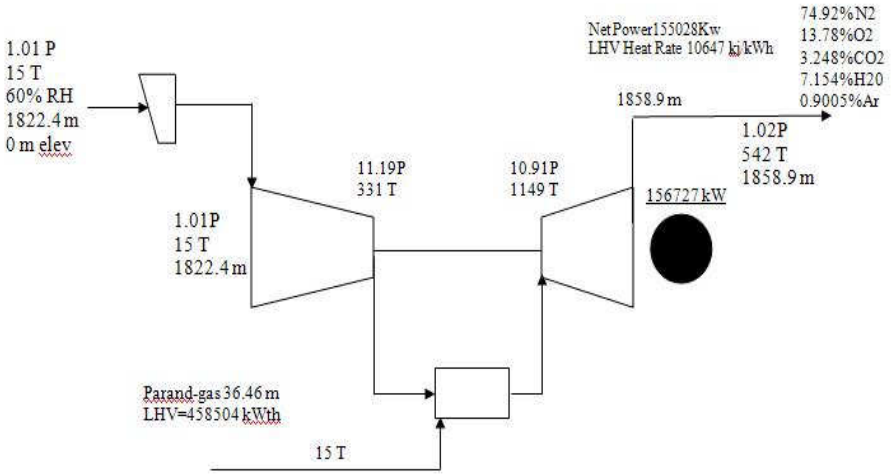
توربین بخار برای تولید توان است. در این حالت یک چرخه‌ی ترکیبی شامل: توربین گاز، بویلر بازیاب گرما، توربین بخار، واحد کندانسور و سیستم خنک‌کن می‌باشد.

به دلیل این که بیش‌تر توربین‌های بخار موجود با فشار و دمای بالا طراحی می‌شود، بویلر بازیاب متصل به توربین، باید متناسب با شرایط کاری توربین طراحی شود که از لحاظ دما و فشار بسیار فراتر از شرایط مورد نیاز برای مصرف است. بنابراین باید با نصب مبدل‌های واسطه یا تجهیزات کاهش فشار و دما، بخار تولیدی را به شرایط مورد نیاز برای مصرف رساند که در نتیجه هزینه‌ی اضافه‌ی دیگری به پروژه تحمیل می‌شود و هم‌چنین راندمان بویلر بازیاب گرما نیز کاهش می‌یابد، در این مطالعه توربین گازی با ظرفیتی متناسب با انرژی حرارتی مورد نیاز در محل مصرف، مورد بررسی قرار گرفته است. برای برآورد انرژی قابل دسترسی، توربین گازی با استفاده از نرم‌افزار ترموفلو ابتدا در شرایط استاندارد و سپس در شرایط محیطی شبیه‌سازی و حداکثر انرژی قابل بازیافت بررسی و پتانسیل‌سنجی شده است. مدل‌سازی توربین گازی در شرایط استاندارد در زیرمجموعه‌ی جی‌تی‌پرو از نرم‌افزار ترموفلو انجام شد و مدل‌سازی در شرایط محیطی شهرک نیز در زیرمجموعه‌ی جی‌تی مستر نرم‌افزار انجام گرفته است. برای شبیه‌سازی، مدل «V۹۴/۲ » شرکت زیمنس که در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار موجود بود و از همه به نوع توربین‌های گازی نیروگاه نزدیک‌تر بود، انتخاب شده است. مشخصات توربین شبیه‌سازی شده در جدول ۲ و شکل ۷ نشان داده شده است.

جدول۲- نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی سیکل توربین گاز در دمای محیط

خلاصه خصوصیات سیستم طراحی شده						
	توان خروجی		شدت حرارت LHV (Kj/kWh)		بازده الکتریکی LHV%	
	ترم ژنراتور	خالص	ترم ژنراتور	خالص	ترم ژنراتور	خالص
توربین گازی	۱۳۷۰۴۰		۱۰۵۵۷		۳۴/۱۰	
کل طرح	۱۳۷۰۴۰	۱۳۵۴۵۱	۱۰۵۵۷	۱۰۶۸۱	۳۴/۱۰	۳۳/۷۰
عملکرد توربین گازی SGT5-2000E						
	توان ناخالص خروجی kW	ناخالص LHV بازده ٪	شدت جریان حرارتی LHV ناخالص kJ/kWh		جریان Exh. t/h	دمای Exh. C
به ازای واحد	۱۳۷۰۴۰	۳۴/۱۰	۱۰۵۵۷		۱۶۲۸	۵۴۳
کل	۱۳۷۰۴۰	-	-		۱۶۲۸	-
تعداد توربین گازی					۱	
بار توربین گازی					۱۰۰	٪
HHV مواد شیمیایی سوختی به ازای هر توربین گازی					۴۴۵۰۷۷	kW
LHV مواد شیمیایی سوختی به ازای هر توربین گازی					۴۰۱۸۸۶	kW

منبع: یافته های تحقیق



منبع: یافته های تحقیق

شکل ۷- شکل شماتیک توربین گاز- فلودیاگرام در شرایط محیطی

محاسبات حرارتی بویلر

برای محاسبات حرارتی بویلر بازیاب بایستی شرایط دبی، دما و ترکیبات اجزای دود ورودی به بویلر بازیاب مشخص باشد. دبی و دمای دود و آنالیز محصولات احتراق در دود خروجی از توربین‌های گازی «زوریا»[1]، از شبیه‌سازی چرخه‌ی توربین‌های گاز به‌دست آمده است. با توجه به این‌که دما و دبی دود خروجی از توربین گاز در دماهای مختلف متفاوت است و این مقادیر با انرژی قابل بازیافت از بویلرهای بازیاب مرتبط است، رفتار توربین گاز در دماهای مختلف و نتایج پارامترهای مورد نیاز در بارگذاری‌های مختلف بررسی شده است. از بررسی‌های انجام شده مشخص شده است با افزایش دمای محیط، توان تولیدی توربین‌های گازی و درنتیجه انرژی قابل بازیافت، کاهش می‌یابد هم‌چنین دبی دود خروجی از توربین‌ها در ماه‌های گرم سال به کم‌ترین مقدار خود می‌رسد و بیش‌ترین میزان آن در حالتی است که توربین با ۱۰۰٪ بار کارکند.

به دلیل این‌که شرایط بخار مورد نیاز در محل مصرف باید متناسب کار برای تجهیزات منتخب برای تولید گرمایش و سرمایش و آب گرم مصرفی باشد، هدف از تولید بخار، تأمین بخار اشباع با فشار ۱۰ بار و دمای $۱۸۰^{\circ}C$ در محل مصرف است که مناسب استفاده در چیلرهای جذبی خواهد بود. با توجه به فاصله‌ی حدود ۸۰۰۰ متری بین نیروگاه تا شهرک با لحاظ افت فشار و افت دمای خط انتقال در طول مسیر، بخار تولیدی در بویلرهای بازیاب، بایستی به‌صورت فوق گرم با فشار ۳۵ بار و دمای $۲۸۰^{\circ}C$ تولید شود. برآورد بخار مورد نیاز شهرک حداقل نیاز بخار ماهانه، ۸۸۰ تن بر ساعت و حداکثر بخار مورد نیاز در تیرماه برابر ۱۲۸۳ تن بر ساعت در شرایط اشباع با فشار ۱۰ بار می‌باشد که معادل ۱۲۴۲ تن بر ساعت بخار با فشار ۳۵ بار و دمای $۲۸۰^{\circ}C$ است. برای بالاتر رفتن توجیه اقتصادی طرح و کاهش بخار تلف شده در خارج از ساعات پیک مصرف، تعداد بویلرهای بازیاب درنظر گرفته‌شده برمبنای متوسط نیاز بخار ماهانه‌ی شهرک که ۱۰۷۰ تن بر ساعت می‌باشد، تعیین شده است. بدین ترتیب برای تأمین بار حرارتی مورد نیاز شهرک چهار بویلر بازیاب با ظرفیت یکسان برای بازیافت انرژی اتلافی دود خروجی چهار توربین گازی نیروگاه درنظر گرفته شده و کمبود انرژی مورد نیاز در شرایط اوج مصرف نیز با درنظر گرفتن مشعل کانالی با احتراق تکمیلی، تأمین شده است. در شکل ۸، تغییرات مقدار بخار تولیدی در ماه‌های مختلف سال برای واحدهای

1- Zaria

گازی نیروگاه پرند در حالت با استفاده از احتراق تکمیلی کانالی و بـدون آن نشـان داده شده است.

شکل ۸- بخار تولیدی چهار واحد بویلر بازیاب نیروگاه پرند در حالت بدون استفاده از مشعل کانالی و با استفاده از مشعل کانالی

همان‌طور که در شکل ۸ نیز مشخص شده‌است، به غیر از چهار ماه گرم سال که نیاز سرمایشی افزایش می‌یابد، در بقیه‌ی ماه‌های سال بدون اسـتفاده از مشـعل کمکـی نیـز امکان تأمین انرژی حرارتی تنها با چهار بویلر بازیاب، فراهم خواهد بـود، بنـابراین بـرای بیش‌ترین بازیابی انرژی با درنظرگرفتن مسائل اقتصادی، یک بویلر افقی لوله‌ی آب تـک فشاره با هوازدای[1] یک‌پارچه که دارای اکونومایزر[2] و مجهز به مشعل کانـالی بـا احتـراق تکمیلی برای تأمین شرایط اضطراری باشد، با چرخش طبیعـی آب در اپراتـور بـا دمـای ۸۵°c آب کندانس برگشتی به بویلر، به منظور تولید بخـار ۳۵ بـار و دمـای ۲۸۰°c بـا راندمان متوسط ۷۵٪ توسط نرم‌افزار ترموفلو طراحی شده است.

براساس محاسبات انجام شده، بخار خروجی از هر بویلر بازیاب، در حالت مبنا حـدود ۲۶۸ تن بر ساعت و در حالت احتراق تکمیلی حدود ۳۰۵ تن بر ساعت است، بنابراین با به‌کارگیری چهار عدد بویلر بازیاب گرما بدون احتراق تکمیلی کانالی مـی‌تـوان متوسـط بخار مورد نیاز شهرک را تأمین کرد ولی اوج مصرف با استفاده از احتراق تکمیلی کانـالی تأمین می‌شود. نتایج طراحی بویلر بازیاب مورد نظر در جدول ۳ آمده است:

1- Deaerator
2- Economizer

جدول ۳- نتایج طراحی بویلر بازیاب ۳۵ بار نیروگاه پرند توسط نرم‌افزار ترموفلکس

پارامترهای طراحی	واحد	مقادیر
بار توربین گازی	%	۱۰۰
دمای محیط	°C	۱۵
داده‌های مربوط به گازهای خروجی از توربین گاز		
دبی خروجی از توربین گازی	t/h	۱۶۲۲
دمای خروجی از توربین گازی	°C	۵۴۳
بخار مبدل بازیاب در خروجی از دی‌سوپرهیتر		
دبی بخار در خروجی از دی‌سوپرهیتر	t/h	۲۶۷,۶
دمای بخار در خروجی از دی‌سوپرهیتر	°C	۲۸۰
دماهای مربوط به بخار /آب		
آب ورودی به اکونومایزر (فشار بالا)	°C	۱۶۷,۳
آب خروجی ازاکونومایزر (فشار بالا)	°C	۲۲۱,۷
بخار ورودی به سوپرهیتر	°C	۲۴۴
بخار خروجی از سوپرهیتر	°C	۲۹۶
فشارهای مربوط به بخار/ آب		
فشار پایین درام	bar	۷,۲
فشار بالا درام	bar	۳۶
بخار ورودی به سوپرهیتر	bar	۳۶
بخار خروجی از سوپرهیتر	bar	۳۵
دمای گاز		
دمای گاز بعد از DB(Duct burner)	°C	۵۴۳
دمای گاز قبل از سوپرهیتر	°C	۵۲۳,۸
دمای گاز قبل از تبخیرکننده ۳	°C	۵۰۰,۶
دمای گاز قبل از اکونومایزر	°C	۲۵۰,۸
دمای گاز قبل از تبخیرکننده فشار پایین	°C	۲۱۳,۵
دمای گاز قبل از پیش گرم‌کن	°C	۱۸۳,۳
دمای گاز در دودکش	°C	۱۵۹,۷
راندمان بویلر بازیاب	%	۷۴

منبع: یافته های تحقیق

۴- تحلیل اقتصادی

در ادامه نیز تحلیل اقتصادی انجام گرفته است و برای این کار فرضیات زیر درنظر گرفته شده است:

- هزینه‌ی تولید هر کیلووات ساعت برودت حدود ۷۹۳ ریال و هزینه‌ی تولید هر کیلو وات‌ساعت حرارت حدود ۴۷۰ ریال با قیمت گاز طبیعی ۲۹۰ریال بوده و بیشینه‌ی بار حرارتی مورد نیاز شهرک ۵۰۳ مگاوات و بیشینه‌ی بار برودتی مورد نیاز ۷۲۳ مگاوات می‌باشد و زمان کارکرد سیستم‌های گرمایشی ۴۵۰۰ ساعت در سال و زمان کارکرد سیستم‌های سرمایشی ۲۷۰۰ ساعت در سال است. (پاکدین، جواد، ۱۳۸۹)
- طول بهره‌برداری از طرح ۲۰ سال و مدت اجرای طرح ۴ سال در نظر گرفته شده است.
- براساس توصیه‌ی سازمان توسعه‌ی صنعتی ملل متحد (۱۹۸۶)، تورم در سال‌های بهره‌برداری از طرح، صفر در نظر گرفته شده است. بنابراین محاسبات، بدون لحاظ تورم و با درنظر گرفتن نرخ تنزیل حقیقی انجام شده‌است. (سازمان توسعه‌ی صنعتی ملل متحد (۱۹۸۶)
- نرخ تنزیل در پروژه یا حداقل نرخ بازدهی مورد انتظار سرمایه‌گذار، معادل ۱۶ درصد در نظر گرفته شده است.
- در تحلیل‌ها یک دلار معادل ۱۰۰۰۰ ریال و یک یورو معادل ۱۴۰۰۰ ریال درنظر گرفته شده‌است.

به این ترتیب چهار بخش عمده‌ی هزینه در نظر گرفته شده است:

- هزینه‌های مهندسی، تأمین کالا، ساخت، نصب و راه‌اندازی بخش تولید که بیش از ۸۰٪ آن را هزینه‌های ارزی شامل می‌شود. (پاکدین، ۱۳۸۹)
- هزینه‌های سالیانه‌ی تعمیرات و نگهداری در بخش تولید که بنا به استعلام از کارشناسان نیروگاه پرند، تقریبا حدود ۴٪ از هزینه‌ی تجهیزات و نصب و ساخت مربوط به هزینه‌ی تعمیرات- نگهداری در نیروگاه پرند می‌باشد. (پاکدین، ۱۳۸۹)
- هزینه‌های مربوط به خطوط لوله، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری مربوط به طراحی، خرید، اجرا و بهره برداری از خطوط لوله‌ی انتقال بخار و برگشت آب کندانس از فاصله‌ی نیروگاه پرند تا کلکتور مشترک در ورودی شهرک که تقریبا ۸ کیلومتر

می‌باشد، به‌طورکلی حدود ۱۰۰۰ میلیارد ریال درنظر گرفته شده است. هم‌چنین برای هزینه‌ی مربوط به تعمیرات و نگهداری خطوط لوله نیز با تقریب ۱٪ از هزینه‌ی سرمایه‌گذاری، ۱۰ میلیارد ریال در سال برآورد شده است. [www.ifco.ir]

- هزینه‌ی مربوط به سوخت مصرفی در مشعل‌های کمکی بویلرهای بازیاب که فقط در چهار ماه سال برای جبران کمبود در شرایط پیک مصرف، وارد مدار تولید می‌شوند. مصرف سوخت در مشعل‌های هر یک از بویلرهای بازیاب حدود ۷ تن بر ساعت است و با توجه به اینکه چهار بویلر بازیاب وجود دارد، مصرف سوخت حدود ۲۹ تن بر ساعت می‌رسد. به این ترتیب براساس متوسط مصرف سوخت ماهیانه در مشعل‌های بویلر بازیاب که ۳۸۲۱۶ مترمکعب بر ساعت است و هر ماه ۷۴۴ ساعت می باشد، میزان کل سوخت مصرفی بویلرها، ۲۸۴۳۲۵۴۷ مترمکعب در ماه می‌شود.

هم‌چنین درآمدهای حاصل از تأمین نیاز گرمایشی- سرمایشی شهرک با استفاده از انرژی اتلافی نیروگاه پرند نیز محاسبه شده است. از آن‌جایی که با اجرای سیستم تولید هم‌زمان توان، گرما و سرما، بازده‌ی حرارتی توربین‌ها افزایش یافته و هم‌چنین با تأمین گرمایش، سرمایش و آب گرم مورد نیاز مراکز مصرف از طریق راه‌اندازی این سیستم، مصرف‌کنندگان از مصرف سوخت برای تولید گرمایش، سرمایش و آب گرم به صورت منفرد بی‌نیاز می‌شوند، لذا می‌توان میزان سوخت صرفه‌جویی شده را به عنوان یکی از عمده‌ترین صرفه‌های اجرای طرح مزبور مورد نظر قرار داد که توجیه‌پذیری اقتصادی طرح را بیش‌تر نشان می‌دهد. در این قسمت برای محاسبه‌ی میزان درآمد حاصل از اجرای طرح تأمین نیاز گرمایشی- سرمایشی شهرک به‌صورت متمرکز، فقط درآمد حاصل از تأمین نیاز حرارتی و برودتی شهرک طبق فرضیات گفته شده منظور شده است. بدین صورت که مقدار توان گرمایش مورد نیاز ضرب در هزینه‌ی تولید هر کیلو وات‌ساعت حرارت، ضرب در تعداد ساعات گرمایش مورد نیاز، به‌علاوه‌ی مقدار توان سرمایش مورد نیاز ضرب در هزینه‌ی تولید هر کیلو وات‌ساعت برودت، ضرب در تعداد ساعات سرمایش مورد نیاز شده و در قیمت گاز طبیعی ضرب شده است. سپس دو فاکتور اقتصادی NPV[1] و IRR[2]، برای ارزیابی سیستم تولید هم‌زمان یاد شده با استفاده از محیط اکسل، محاسبه شده است. ابتدا تمامی هزینه‌های مربوط به سرمایه‌گذاری،

1- Net Present Value
2- Internal Rate of Returne

تعمیرات- نگهداری، هزینه‌ی سرمایه‌گذاری و اجرا خطوط انتقال بخار و برگشت آب کندانس از نیروگاه پرند تا ورودی شهرک و برعکس، هزینه‌ی تعمیرات- نگهداری مربوط به خطوط لوله و هزینه‌ی سوخت برای مدت ۲۴ سال (۴ سال زمان اجرای طرح و ۲۰ سال طول بهره‌برداری از طرح) در محیط اکسل با علامت منفی وارد شده و مجموع هزینه‌ها به‌دست می‌آید. سپس درآمد حاصل از تأمین انرژی تولیدی برای شهرک را نیز محاسبه کرده و از زمان بهره برداری از طرح، وارد می‌شود. مجموع درآمد و کل هزینه‌ی طرح با نرخ بهره ۰,۱۶ می‌باشد. و از آن‌جایی‌که مقادیر NPV و IRR به ترتیب، ۷۲۸۹۷۸۶ میلیون ریال و ۷۳٪ به‌دست آمده است، روش تولید هم‌زمان با استفاده از بازیاب حرارت از دود خروجی از توربین‌های گازی نیروگاه، توجیه اقتصادی خواهد داشت. (جدول محاسباتی در محیط اکسل در ضمیمه‌ی مقاله (پیوست الف) آمده است)

۵- نتیجه‌گیری وپیشنهادات

در این پروژه، تأمین انرژی مورد نیاز شهرک پرند با استفاده از بازیافت انرژی اتلافی توربین‌های گازی نیروگاه پرند مورد مطالعه قرارگرفته است. برای این منظور، نیاز حرارتی ساختمان‌های موجود توسط نرم‌افزارهای کارآمد برمبنای رعایت مبحث ۱۹ ساختمان و رعایت الگوی مصرف و هندبوک اشری، شبیه‌سازی شده و کمینه و بیشینه‌ی نیاز حرارتی به ترتیب ۸۸۰ تن بر ساعت در فرودین ماه و ۱۲۸۳ تن بر ساعت در تیرماه، بخار اشباع ۱۰ بار برآورد شده است.

دبی و دمای دود و آنالیز محصولات احتراق در دود خروجی از توربین‌های گازی «زوریا» با شبیه‌سازی چرخه‌ی توربین‌های گاز توسط نرم‌افزار جی‌تی‌پرو محاسبه شده است. دبی جرمی خروجی از توربین گاز از ۱۷۶۳ تن بر ساعت تا ۱۴۹۰ تن بر ساعت در دماهای مختلف متفاوت است و دمای گاز خروجی از توربین نیز از حدود $۵۶۰^{\circ}C$ تا $۵۲۰^{\circ}C$ متغیر می‌باشد. به این ترتیب، یک بویلر افقی لوله‌ی آب تک‌فشاره با هوازدای یکپارچه مجهز به اکونومایزر و مشعل کانالی با احتراق تکمیلی برای تأمین شرایط اضطراری و با چرخش طبیعی آب در اپراتور، به منظور تولید بخار ۳۵ بار و دمای $۲۸۰^{o}c$ با راندمان متوسط ۷۵٪ توسط نرم‌افزار ترموفلو طراحی شده است. به منظور تأمین نیاز حرارتی شهرک، با توجه به دبی و دمای دود خروجی از توربین‌های گازی نیروگاه و متوسط نیاز حرارتی شهرک، چهار بویلر بازیاب با ظرفیت یکسان در نظر گرفته شده و برای کمبود انرژی در زمان اوج مصرف نیز از مشعل‌های کمکی (داکت

برنر) برای بویلرهای بازیاب استفاده شده است. در نهایت تحلیل اقتصادی انجام گرفته و از آن‌جایی‌که مقادیر NPV و IRR به ترتیب، ۷۲۸۹۷۸۶ میلیون ریال و ۷۳٪ به‌دست آمده است، به نظر می‌رسد روش تولید هم‌زمان با استفاده از بازیاب حرارت از دود خروجی از توربین‌های گازی نیروگاه، توجیه اقتصادی داشته باشد.

پیشنهادات

در این مطالعه فقط در مورد تأمین نیاز حرارتی شهرک با استفاده از چهار توربین گازی بررسی انجام شده است در ادامه می‌توان امکان بازیافت حرارت را برای هر شش توربین گازی نیروگاه پرند انجام داد و با استفاده از سیکل ترکیبی و توربین بخار، انرژی الکتریکی نیز تولید کرد و تحلیل اقتصادی انجام داد و با مطالعه‌ی حاضر مقایسه نمود. هم‌چنین در این مطالعه تحلیل اقتصادی از دیدگاه ملی بررسی شده است، می‌توان تحلیل اقتصادی را از دیدگاه نیروگاه و فروش بخار به شهرک مسکونی و صنعتی پرند نیز مورد بررسی قرار داد.

فهرست منابع

اسکونژاد، محمد مهدی (۱۳۷۹)؛ *اقتصاد بهزیستی*، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

داوودیان، مجید (۱۳۷۷)؛ *ارزیابی طرح‌های صنعتی*، سازمان مدیریت صنعتی، تهران.

سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور، معاونت امور فنی و دفتر نظارت و ارزیابی طرح‌ها، راهنمای تهیه‌ی گزارش توجیه طرح، جلد اول و دوم، نشریه‌ی ۳۱۲۲، مرکز مدارک علمی و انتشارات، چاپ اول.

صفاراول، مجید (۱۳۸۹)؛ *بررسی تأمین نیازهای گرمایشی- سرمایشی فازهای ۵ و ۶ شهرک پرند با توجه به تقاضای ماهانه‌ی گرمایش و سرمایش مورد نیاز*، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت.

عمیـــد پ.(۱۳۸۹)، «*بررسی فنی و اقتصادی تولید پراکنـده و هـم‌زمـان سـرما، گرمـا و توان الکتریکی برای یک مجموعه مسکونی*»، پایـان نامـه‌ی کارشناسـی ارشـد، دانشـگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مکانیک.

پاکدین، جواد (۱۳۸۹)؛ *قیمت‌گذاری و تعیین هزینه‌هـای انـرژی حرارتـی و برودتـی بـا درنظرگرفتن پارامترهای تأثیرگذار از قبیل زمان، میزان و نـوع مصـرف و غیـره*، شـرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت.

فهرست بهای تخصصـی تأسیسـات نفـت، گـاز و پتروشـیمی، پیوسـت ۵، دسـتورالعمل نحوه‌ی تعیین قیمت جدید، ۱۳۸۹ www.ifco.ir

Cardona E., Piacentino A., (2004), *A Vvalidation Mmethodology for a Ccombined Heating Cooling and Power (CHCP) pilot plant*, Int. J. of Energy resource technology, ASME, Vol. 126, P. 285 – 292.

Cardona E., Piacentino A. (2003), *A methodology for sizing a regeneration plant in Mediterranean areas*, Int. J. of Applied Thermal Engineering, Vol. 23, P 1665 – 1680.

Cardona E., Piacentino A. (2008), *An original multi-objective criterion for the design of small-scale polygeneration systems based on realistic operating conditions*, Int. J. of Applied Thermal Engineering, Vol. 28, P. 2391 – 2404.

Chow, T.T., W.H. Au, Raymond Yau, Vincent Cheng, Apple Chan a, K.F. Fong, *Applying district-cooling technology in Hong Kong*, Applied Energy 80 (2005) 169–185

COGEN Europe (2001); *The European educational tool on cogeneration*, (www.cogen.org), 2nd ed., Dec. 2001.

Demski, R., S. Mischek, D. Karafa, D. Martindale (2009); *How to identify a Good CHP project*, 2009 ASHRAE winter conference, 25 Jan. 2009.

Fairchild P. (2002); Integrated *energy systems: technologies, program structure, and applications*, Oak Ridge National Laboratory, April 2002.

Horlock, J. H. (2003); *Advanced Gas Turbine Cycle*, Elsevier Science.

International Energy Agency (IEA), CHP (2008), *Combined Heat and Power*, Evaluating the Benefits of Greater Global Investment, OECD/IEA, 2008.

Giaccone, L., A. Canova, *Economical comparison of CHP systems for industrial user with large steam demand*, Journal of Applied Energy 86 (2009) 904–914

Kong, X.Q., R.Z. Wang, X.H. Huang, *Energy efficiency and economic feasibility of CCHP driven by stirling engine*, Energy Conversion and Management 45 (2004) 1433–1442

Mikalse, R., Y.D. Wang, A.P. Roskilly, *A comparison of Miller and Otto cycle natural gas engines for small scale CHP applications*, Journal of Applied Energy 86 (2009) 922–927

Moss, R.W., A.P. Roskilly, S.K. Nanda, *Reciprocating Joule-cycle engine for domestic CHP systems*, Applied Energy 80 (2005) 169–185

Roger W. Haines, Lewis Wilson, (2003), Handbook *of Carrier System Design*, McGraw-Hill Publication, Fifth Edition, United State of America.

Savola, T., C.J. Fogelholm, *Increased power to heat ratio of small scale CHP plants using biomass fuels and natural gas*, Energy Conversion and Management 47 (2006) 3105–3118.

Streckiene, G., V. Martinaitis, A. N. Andersen, J. Katz,; *Feasibility of CHP-plants with thermal stores in the German spot market*, Journal of Applied Energy 86 (2009) 2308–2316

The National Renewable Energy Laboratory (NREL), Department of Energy (DOE), Office of Energy Efficiency and Renewable Energy (EERE) and the Gas Research Institute (GRI), Gas-fired distributed energy resource technology characterizations, October 2003

Website Address: Available in www.cat.com

Website Address: Available in www.mitsubishi-motors.com

Wen Guo, (2009), The state-of-the art of tri-generation and its application in tertiary sector, Institute for Promotion of Innovative Technologies (Italy), ISNOVA, Dec. 2009.

پیوست الف: محاسبه NPV و IRR طرح تولید متمرکز در محیط اکسل

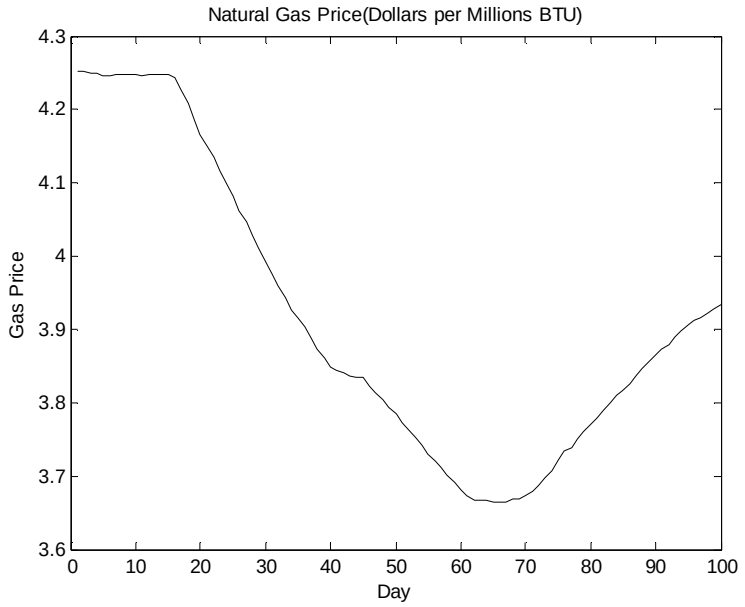
سال	هزینه‌ی تعمیرات نگهداری خط لوله (میلیون ریال)	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری خط لوله (میلیون ریال)	هزینه‌ی سرمایه‌گذاری (میلیون ریال)	هزینه‌ی تعمیرات نگهداری (میلیون ریال)	هزینه‌ی سوخت در بخش تولید میلیون ریال	کل هزینه‌های طرح (میلیون ریال)	درآمد حاصل از تأمین نیاز گرمایشی- سرمایشی میلیون ریال	NPV
۱	۰	۰	-۱۵٤٤۸۸	۰	۰	-۱۵٤٤۸۸	۰	-۱۵٤٤۸۸
۲	۰	۰	-۳٤۷۵۹۸	۰	۰	-۳٤۷۵۹۸	۰	-۳٤۷۵۹۸
۳	۰	-۵۰۰۰۰۰	-۱۱۵۸٦٦	۰	۰	-٦۱۵۸٦٦	۰	-٦۱۵۸٦٦
٤	۰	-۵۰۰۰۰۰	-۱۵٤٤۸۸	۰	۰	-٦۵٤٤۸۸	۰	-٦۵٤٤۸۸
۵	-۱۰۰۰۰	۰	۰	۰	-۸۲٤۵	-۱۸۲٤۵	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۹۳٦۱۵
٦	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۷	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۸	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۹	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱۰	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱۱	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱۲	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱۳	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱٤	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱۵	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱٦	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱۷	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱۸	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۱۹	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۲۰	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۲۱	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۲۲	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۲۳	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
۲٤	-۱۰۰۰۰	۰	۰	-۱۹۷۷۵	-۸۲٤۵	-۳۸۰۲۰	۲٦۱۱۸٦۰	۲۵۷۳۸٤۰
IRR								۷۳٪
NPV								۷،۲۸۹،۷۸

پیوست

پیش‌بینی قیمت گاز با شبکه‌ی عصبی(روزانه، دلار)

۳.۷۷۸۷۳	۳.۶۷۱۶۶	۳.۸۴۴۷۱۹	۴.۱۵۰۱۸۸	۴.۲۵۱۳۶۳
۳.۷۹۰۱۱	۳.۶۶۵۶۲۲	۳.۸۴۰۲۳۱	۴.۱۳۵۳۲۹	۴.۲۵۱۷۳۵
۳.۸۰۰۴۷۴	۳.۶۶۵۵۴۱	۳.۸۳۶۱۸۲	۴.۱۱۶۴۷۸	۴.۲۵۰۴۸۲
۳.۸۰۹۴۸۶	۳.۶۶۵۸۸۹	۳.۸۳۳۸۹۸	۴.۰۹۶۳۸۹	۴.۲۵۰۱۱۶
۳.۸۱۶۷۶۶	۳.۶۶۴۹۶۶	۳.۸۳۳۴۰۵	۴.۰۸۱۰۸۷	۴.۲۴۶۷۱۱
۳.۸۲۶۷۳	۳.۶۶۵۳۱۶	۳.۸۲۲۲۲	۴.۰۶۱۶۶۶	۴.۲۴۵۴۴۸
۳.۸۳۶۹۲	۳.۶۶۴۳۹۵	۳.۸۱۳۲۱	۴.۰۴۶۷۵۵	۴.۲۴۷۰۸۸
۳.۸۴۶۸۴۴	۳.۶۶۷۸۳۲	۳.۸۰۴۶۰۲	۴.۰۲۸۵۳۷	۴.۲۴۸۲۶۸
۳.۸۵۶۳۷۵	۳.۶۶۹۴۸۲	۳.۷۹۳۷۶۹	۴.۰۱۰۰۵۹	۴.۲۴۷۸۶۴
۳.۸۶۴۸۷۸	۳.۶۷۲۴۵۹	۳.۷۸۵۳۱۸	۳.۹۹۲۹۸۲	۴.۲۴۶۸۴۲
۳.۸۷۳۸۶۶	۳.۶۷۸۵۳۵	۳.۷۷۳۷۶	۳.۹۷۵۶۴۹	۴.۲۴۶۷۶۶
۳.۸۸۰۱۶	۳.۶۸۶۶۹۸	۳.۷۶۳۵۷	۳.۹۵۹۲۳۷	۴.۲۴۸۳۸۴
۳.۸۸۸۶۶۸	۳.۶۹۶۷۱۲	۳.۷۵۲۸۹۹	۳.۹۴۲۳۵۶	۴.۲۴۸۵۳۴
۳.۸۹۷۳۴۶	۳.۷۰۷۶۲۸	۳.۷۴۱۴۵۹	۳.۹۲۶۹۳۳	۴.۲۴۷۲۷۴
۳.۹۰۵۷۱۷	۳.۷۲۰۸۴۴	۳.۷۳۰۱۱۳	۳.۹۱۶۲۱۹	۴.۲۴۸۲۴۵
۳.۹۱۲۵۶۸	۳.۷۳۳۱۱	۳.۷۱۹۶۵۸	۳.۹۰۳۳۵۷	۴.۲۴۴۰۲۵
۳.۹۱۶۴۰۲	۳.۷۳۸۷۶	۳.۷۱۱۳۶۶	۳.۸۸۷۸۸۴	۴.۲۲۷۸۷۷
۳.۹۲۱۶۱۲	۳.۷۵۰۱۷۹	۳.۷۰۰۷۵۶	۳.۸۷۳۸۰۵	۴.۲۰۸۰۱۱
۳.۹۲۹۳۵۲	۳.۷۶۱۳۸۷	۳.۶۹۰۷۹	۳.۸۶۰۱۲	۴.۱۸۶۰۵۹
۳.۹۳۵۰۲۴	۳.۷۷۰۴۴۴	۳.۶۸۰۷۳۷	۳.۸۴۹۲۱۷	۴.۱۶۶۱۴۹

منبع: محاسبات تحقیق



پیش بینی قیمت گاز با مدل LSTAR

روز	۲۰۱۲/۳/۱۱	۳/۱۲	۳/۱۳	۳/۱۴	۳/۱۵	۳/۱۶	۳/۱۷	۳/۱۸	۳/۱۹
پیش بینی	۴/۲۴۷	۴/۲۴۴	۴/۲۴۱	۴/۲۳۷	۴/۲۳۴	۴/۲۲۹	۴/۲۲۵	۴/۲۱۹	۴/۲

منبع: محاسبات تحقیق

خروجی نرم افزار

نتایج تخمین مربوط به بررسی فرض رفتار غیر خطی آزمون RESET

Dependent Variable: RES
Method: Least Squares
Date: 11/13/12 Time: 20:50
Sample (adjusted): 2 4338
Included observations: 4337 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.034507	0.018287	-1.886974	0.0592
GA(-1)	0.029072	0.013596	2.138296	0.0325
FIT^2	-0.008356	0.003696	-2.260532	0.0238
FIT^3	0.000986	0.000421	2.342500	0.0192
FIT^4	-3.93E-05	1.62E-05	-2.427933	0.0152

R-squared	0.002517	Mean dependent var	-1.67E-05
Adjusted R-squared	0.001596	S.D. dependent var	0.198213
S.E. of regression	0.198055	Akaike info criterion	-0.399393
Sum squared resid	169.9259	Schwarz criterion	-0.392043
Log likelihood	871.0835	Hannan-Quinn criter.	-0.396798
F-statistic	2.732382	Durbin-Watson stat	1.982270
Prob(F-statistic)	0.027498		

در خروجی فوق RES، GA و FIT به‌ترتیب پسماند برآورد شده از مدل خودرگرسیون، قیمت گاز و مقادیر پیش‌بینی شده قیمت گاز است.

آزمون بررسی معناداری ضرایب FIT ها یا (α_hها) یا آزمون وجود رفتار غیرخطی

Wald Test:
Equation: RESET

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	3.638804	(3, 4332)	0.0123
Chi-square	10.91641	3	0.0122

Null Hypothesis Summary:

Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.
C(3)	-0.008356	0.003696
C(4)	0.000986	0.000421
C(5)	-3.93E-05	1.62E-05

Restrictions are linear in coefficients.

آزمون تراسویترا

Dependent Variable: RES
Method: Least Squares
Date: 12/19/11 Time: 10:52
Sample (adjusted): 2 4338
Included observations: 4337 after adjustments

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-0.097773	0.039957	-2.446952	0.0144
GA(-1)	0.081817	0.032125	2.546825	0.0109
GA(-1)^2	-0.022291	0.008275	-2.693749	0.0071
GA(-1)^3	0.002427	0.000842	2.883246	0.0040
GA(-1)^4	-8.94E-05	2.91E-05	-3.078049	0.0021

R-squared	0.003813	Mean dependent var	-1.67E-05
Adjusted R-squared	0.002893	S.D. dependent var	0.198213
S.E. of regression	0.197926	Akaike info criterion	-0.400693
Sum squared resid	169.7051	Schwarz criterion	-0.393343
Log likelihood	873.9025	Hannan-Quinn criter.	-0.398098
F-statistic	4.144750	Durbin-Watson stat	2.049968
Prob(F-statistic)	0.002362		

آزمون وجود رفتار انتقال ملایم (STAR)

Wald Test:
Equation: STAR

Test Statistic	Value	df	Probability
F-statistic	5.521956	(3, 4332)	0.0009
Chi-square	16.56587	3	0.0009

Null Hypothesis Summary:

Normalized Restriction (= 0)	Value	Std. Err.
C(3)	-0.022291	0.008275
C(4)	0.002427	0.000842
C(5)	-8.94E-05	2.91E-05

Restrictions are linear in coefficients.