

تعیین ظرفیت بهینه اجزاء نیروگاه های کوچک پراکنده^۱ CHCP با مدل برنامه ریزی خطی^۲ TOSCS در ساختمان های مسکونی , تجاری , اداری

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

آزمایشگاه Cogeneration

Bathae@eetd.Kntu.ac.ir

Fax: (021)862066

واژه های کلیدی : تعیین ظرفیت بهینه , بهینه سازی , *TOSCS, CHCP*

۱- چکیده :

در این مقاله با استفاده از مدل برنامه ریزی خطی *TOSCS* اجزاء سیستم تولید همزمان برق , گرما و سرما بطور بهینه انتخاب شده است . اجزاء این مدل شامل دستگاه *CHP* , بویلر گازی کمکی , چیلر جذبی , میزان خرید برق از شبکه می باشد. در حقیقت , حل این مدل نوع و ظرفیت بهینه اجزای مذکور را با توجه به بارهای الکتریکی , گرمایی , و نیز سرمایه اولیه محدود , تعیین می کند. در تابع هدف , بازده اقتصادی کل این سیستم طی کل دوره بهره برداری بیشینه می شود. نتایج تعیین ظرفیت بهینه مدل از لحاظ فنی مورد بحث قرار گرفته و در ادامه با یک مثال نمونه و موضوع مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است .

۲- مقدمه :

نظام اقتصاد متغیر انرژی , همراه با ابتکارات تنظیم و قانون گذاری , بر بازده مصرف انرژی در تمام بخش ها تاکید دارد . نیروگاه های کوچک تولید همزمان برق و گرما که از گاز شهری برای

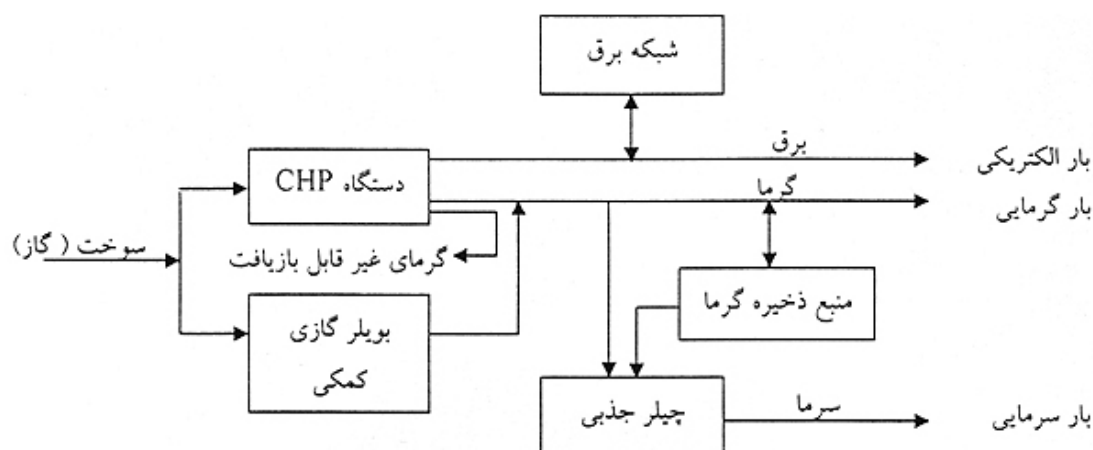
۱- (ترکیبی از برق, گرما و سرما) Combined Heat and Cold and Power

۲- (تعیین بهینه فنی - اقتصادی ظرفیت اجزاء سیستم های تولید همزمان - برق, گرما و سرما) تولید
Techno-economic Optimal Sizing of Cogeneration System

تأمین نیازهای الکتریکی و گرمایی استفاده می کند ، بسیار مورد توجه محافل علمی جهان است . گر چه مفهوم تولید محلی برق و استفاده از انرژی گرمایی بازیافت شده از سیکل تولید برق برای نیازها ، مساله جدیدی نیست ، لکن با وجود ، اقتصاد بهبود یافته تولید ، انتقال و توزیع برق ، در دسترس بودن سوخت های ارزان ، و موانع و محدودیت های قانونی ، همه باعث عدم توسعه تولید محلی و تولید همزمان بوده است [۱].

برای آشنایی با این نیروگاه ها ، در شکل (۱) طرحواره جریان انرژی در نیروگاه های کوچک تولید همزمان برق ، گرما و سرما نشان داده شده است .

از آنجایی که میزان سرمایه گذاری همواره یکی از مشکلات اساسی می باشد ، بنابراین لازم است تا یک مجموعه تولید همزمانی را بگونه ای انتخاب کرد که هم بار الکتریکی ، گرمایی و سرمایی را تأمین کند و هم اینکه مجموع هزینه های اولیه از حداکثر سرمایه گذاری اولیه ممکن بیشتر نشود، از طرف دیگر ، سود کل فروش برق مازاد به شبکه بیشتر شود. در صورت عدم استفاده از این مدل جدید ، یعنی TOSCS ، مثلاً در انتخاب تجربی سیستم های تولید همزمان ، شامل ظرفیت و نوع ، دستگاه CHP و بویلر گازی کمکی و سایر اجزاء ممکن است بهینه نباشد و ضمناً مصرف سوخت و آلاینده‌گی بیشتر منجر به سرمایه گذاری بیشتر و خسارت مالی و زیست محیطی زیادی شود .

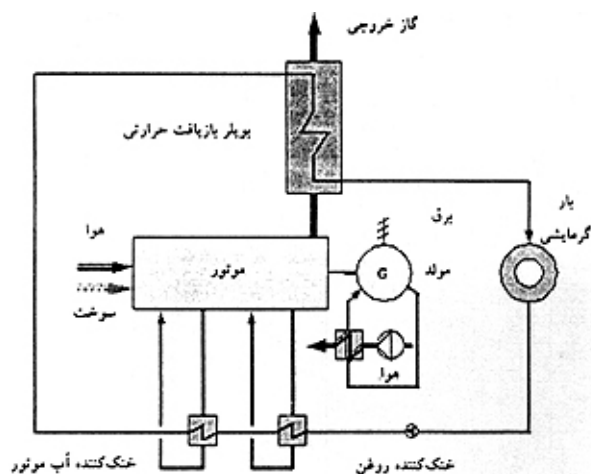


شکل ۱: طرحواره جریان انرژی در یک نیروگاه کوچک تولید همزمان برق ، گرما و سرما

۳- انواع سیستم های تولید همزمان :

در این سیستم ، محور یک موتور احتراق داخلی گاز سوز رفت و برگشتی (پیستونی) را با محور یک ژنراتور سنکرون یا آسنکرون بهم متصل می کنیم . در شکل (۲) ، طرحواره یک نیروگاه کوچک تولید همزمان با موتور گاز سوز رفت و برگشتی نشان داده شده است . موتور با مصرف سوخت ، توان مکانیکی تولید می کند که این توان از طریق محور به ژنراتور منتقل می شود و ژنراتور توان مکانیکی را به توان الکتریکی تبدیل می نماید . گرمای ناشی از فرآیند تولید برق ، از

بدنه موتور ، اگزوز و روغن موتور ، توسط مبدل گرمایی بازیافت می شود تا نیاز بارهای گرمایی را تأمین کند . در صورت نیاز به سرمایش ، می توان بخشی از این گرمای بازیافت شده را به چیلر

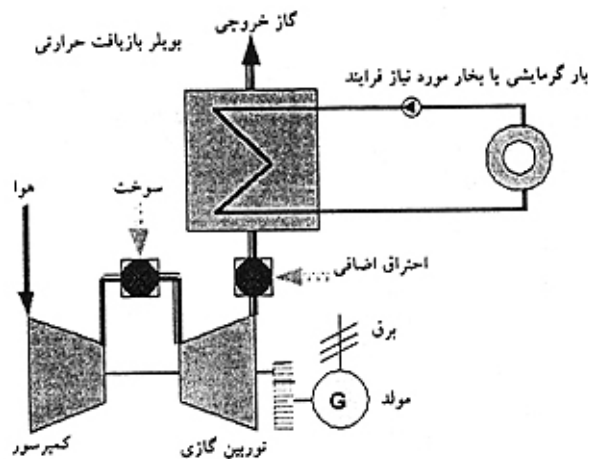


شکل ۲: نیروگاه کوچک تولید همزمان برق و گرما با موتور

گازسوز رفت و برگشتی

جذبى وارد کرد تا خروجى سرمایی را از چیلر جاذبى دریافت کرد [۷].

این سیستم ها انواع گوناگونی دارند. در سیستم نشان داده شده در شکل ۳، هوای فشرده خارج شده از کمپرسور وارد محفظه احتراق می شود و پس از ترکیب با سوخت و احتراق ، گاز و دود تولید می شود. میکروتوربین با منبسط کردن گاز دود ، برق تولید می کند. گرمای ناشی از فرایند تولید برق نیز برای تأمین بارهای گرمایی توسط مبدل گرمایی ، بازیافت می شود. برای تولید سرمایش نیز می توان همانند قبل از یک چیلر جاذبى استفاده کرد . سیستم مورد بحث در این مقاله با موتور گاز سوز رفت و برگشتی است اما براحتی می توان داده های سیستم تولید همزمان میکروتوربینی را در بانک اطلاعاتی مدل وارد کرد و بدین ترتیب قابلیت مدل را افزایش داد .



شکل ۳: نیروگاه کوچک تولید همزمان برق و گرما با توربین

گازی

۴- تعیین بهینه ظرفیت اجزاء سیستم های تولید همزمان :

تعیین ظرفیت بهینه یک سیستم تولید همزمان به نسبت زیادی به معیار بکار رفته و محیط در نظر گرفته شده برای سیستم و حداکثر میزان سرمایه گذاری ممکن و شرایط اقتصادی کشور دارد. هر تغییری در معیار یا محیط در نظر گرفته شده، تعیین ظرفیت بهینه سیستم تولید همزمان را تغییر خواهد داد. با این وجود، اکثر تولید کنندگان، بویژه شرکت های صنعتی، عموماً ظرفیت اجزاء سیستم تولید همزمان خود را بگونه ای تعیین می کنند تا تنها جوابگوی نیازهای بخار در فرایندهایشان باشد [۲].

دو روشی که در تعیین ظرفیت بهینه اجزاء سیستم های تولید همزمان استفاده می شود، شبیه سازی و بهینه سازی است. در روش شبیه سازی، تعدادی از حالت ها که بیشتر مورد نظر هستند تحلیل می شوند تا بهترین حالت تعیین شود. در روش بهینه سازی، تمام ظرفیت های ممکن بررسی می شوند و بهترین آنها انتخاب می شود. این دو روش مزایا و معایب متفاوتی را دربر دارند.

۵- معرفی مدل TOSCS:

این مدل که برای سیستم های تولید همزمان متصل به شبکه است، می توان تنها با حذف پارامترهای مربوط به شبکه، از آن برای سیستم های تولید همزمان منفرد (Stand-Alone) استفاده کرد. این مدل، خطی و پیوسته است. یک بانک اطلاعاتی، این مدل را تغذیه می کند، بطوری که این مدل، حالت ها را از این بانک اطلاعاتی انتخاب می کند. هر چه حجم داده های این بانک اطلاعاتی بیشتر باشد، نتایج دقیقتر و متنوع تری می توان بدست آورد. خواهیم دید در تابع هدف از نقطه نظر اقتصادی در این مدل استفاده شده است.

در ضمیمه (۱)، جدول های مربوط به بانک اطلاعاتی آورده شده اند.

در ادامه، به معرفی پارامترهای مدل می پردازیم.

۵-۱- پارامترها و متغیرها :

i: کد مربوط به شرکت سازنده

j: کد مربوط به ظرفیت دستگاه

۵-۱-۱- متغیرهای ظرفیت :

C_{Pij}^M (CPX): ظرفیت تولید برق دستگاه تولید همزمان (KW الکتریکی)

C_{Hij}^M (CHX): ظرفیت باز یافت گرما از دستگاه تولید همزمان (KW گرمایی)

(XHZ) C_{Hij}^H : ظرفیت تولید گرما توسط بویلر گازی کمکی (KW گرمایی)
 (CCW) C_{ij}^C : ظرفیت تولید سرما توسط چیلر جذبی (KW برودتی)

۵-۱-۲. پارامترهای قیمت :

P_P^{NW} (PV): قیمت برق خریداری شده از شبکه برق محلی (ریال)
 P_{ij}^M (PX): قیمت دستگاه CHP (ریال)
 P_{ij}^H (PZ): قیمت بویلر گازی کمکی (ریال)
 P_{ij}^{CH} (PW): قیمت دستگاه چیلر جذبی (ریال)
 Else: قیمت تجهیزات دیگر (ریال)
 P_{NG} (PG): قیمت سوخت (گاز طبیعی) (m^3 /ریال)

۵-۱-۳. پارامترهای هزینه های تعمیرات و نگهداری :

S_{ij}^M (SX): هزینه تعمیرات و نگهداری دستگاه CHP (kwh /ریال)
 S_{ij}^C (SZ): هزینه تعمیرات و نگهداری بویلر گازی کمکی (Kwh /ریال)
 S_{ij}^{CH} (SW): هزینه تعمیرات و نگهداری چیلر جذبی (Kwh /ریال)

۵-۱-۴. پارامترهای سرمایه گذاری اولیه :

I_{max} (INVEST): حداکثر سرمایه گذاری ممکن ($year$ /ریال)

۵-۱-۵. پارامترهای مصرف سوخت :

V_{ij}^M (VX): مصرف سوخت دستگاه CHP (m^3 /year)
 V_{ij}^H (VZ): مصرف سوخت بویلر گازی کمکی (m^3 /year)

۵-۱-۶. پارامترهای بار پیک :

L_P^{peak} (LP): بار پیک الکتریکی (kw)
 L_H^{peak} (LH): بار پیک گرمایی (kw)
 L_C^{peak} (LC): بار پیک سرمایی (m^3 /year)

۵-۱-۷. پارامترهای درآمد :

q_P^{NW} (QP): قیمت برق فروشی به شبکه برق (kwh /ریال)
 q_H^L (QH): قیمت گرمای فروشی به بار محلی (kwh /ریال)

(QC) q_C^L : قیمت سرمایه فروشی به بار محلی (kwh/ریال)

۵-۱-۸. متغیرهای تصمیم گیر:

$X_{P_{ij}}^M$ (X): مربوط به دستگاه CHP

$X_{H_{ij}}^H$ (Z): مربوط به بویلر گازی کمکی

$X_{C_{ij}}^{CH}$ (W): مربوط به چیلر جذبی

۵-۱-۹. متغیر پیوسته:

X_P^{NW} (V): برق خریداری شده از شبکه محلی برق (kwh)

۵-۱-۱۰. پارامترهای دیگر:

$\alpha_H \rightarrow c$: بازده فنی چیلر جذبی

η : بازده عملی چیلر جذبی

β : ضریب افزایش سالانه درآمدها

γ : ضریب افزایش سالانه هزینه ها

marr: حداقل نرخ بازگشت سالیانه

n: طول مدت بهره برداری (سال)

۵-۲. تابع هدف:

هدف این مدل عبارتست از انتخاب مناسب اجزای سیستم تولید همزمان بطوری که با در نظر گرفتن تمام درآمدها و هزینه ها ، ارزش زمان حال کل جریان نقدی سود ، طی n سال بهره برداری ، بیشینه شود [۳ و ۴ و ۵ و ۶].

که در آن $k = (1 + marr)^n$

$$\begin{aligned}
 f(x) &= NPV \text{ of benefit cash flow} \rightarrow \max \\
 &= \{ q_P^{NW} * (\sum X_{P_{ij}}^M C_{P_{ij}}^M) * \Delta \gamma \phi , \\
 &+ q_H^L * (\sum X_{P_{ij}}^M C_{H_{ij}}^M + \sum X_{H_{ij}}^H C_{H_{ij}}^H) * \Delta \gamma \phi , \\
 &+ q_C^L * \sum X_{C_{ij}}^{CH} C_{C_{ij}}^{CH} * \Delta \gamma \phi . \} \\
 &* \left\{ \frac{marr * k - marr + \beta * k - \beta - marr * \beta * n}{marr^2 * k} \right\} \\
 &- (\sum X_{P_{ij}}^M p_{ij}^M + \sum X_{H_{ij}}^H p_{ij}^H + \sum X_{C_{ij}}^{CH} p_{ij}^{CH}) \\
 &- \{ (\sum X_{P_{ij}}^M S_{ij}^M C_{P_{ij}}^M + \sum X_{H_{ij}}^H S_{ij}^H C_{H_{ij}}^H
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + \sum X_{C_{ij}}^{CH} S_{ij}^{CH} C_{C_{ij}}^{CH}) * \lambda \gamma \varphi . \\
& + P_{NG} * (\sum X_{P_{ij}}^M V_{ij}^M + \sum X_{H_{ij}}^H V_{ij}^H) \\
& - p_P^{NW} * X_P^{NW} \} \\
& * \left\{ \frac{marr * k - marr + \gamma * k - \gamma - marr * \gamma * n}{marr^2 * k} \right\}
\end{aligned}$$

۵-۳. محدودیت ها :

$$\sum X_{P_{ij}}^M = 1 \quad (1)$$

$$\sum X_{H_{ij}}^H \leq 1 \quad (2)$$

$$\sum X_{C_{ij}}^{CH} = 1 \quad (3)$$

$$\sum X_{P_{ij}}^M C_{P_{ij}}^M + X_P^{NW} \geq L_P^{peak} \quad (4)$$

$$\sum X_{P_{ij}}^M C_{H_{ij}}^M + \sum X_{H_{ij}}^H C_{H_{ij}}^H \geq \quad (5)$$

$$L_H^{peak} + L_C^{peak} / \alpha_{H \rightarrow C}$$

$$\sum X_{C_{ij}}^{CH} C_{C_{ij}}^{CH} \geq \quad (6)$$

$$\frac{(\sum X_{P_{ij}}^M C_{H_{ij}}^M + \sum X_{H_{ij}}^H C_{H_{ij}}^H) \alpha_{H \rightarrow C}}{\eta_{practical}}$$

$$\sum X_{P_{ij}}^M p_{ij}^M + \sum X_{H_{ij}}^H p_{ij}^H + \quad (7)$$

$$\sum X_{C_{ij}}^{CH} p_{ij}^{CH} + Else \leq I_{max} \quad (8)$$

$$X_{P_{ij}}^M = (0, 1); X_{H_{ij}}^H = (0, 1); X_{C_{ij}}^{CH} = (0, 1); X_P^{NW} > 0.$$

۶- نتایج مطالعه نمونه :

این مدل با استفاده از نرم افزار LINGO¹ بطور نمونه حل شده است . بطور نمونه ، اگر بارهای الکتریکی ، گرمایی و سرمایی مکان مورد نظر بترتیب برابر ۲۰kw, ۴۰kw, ۴۰ kw و مدت بهره برداری برابر ۱۰ سال و حداقل نرخ بازگشت داخلی سرمایه برابر ۲۰٪ و کل سرمایه گذاری اولیه

¹ - LINear Global Optimization

برابر ۲۰۴۰۰۰۰۰۰ ریال (۱۶۰۰۰۰۰۰۰ ریال از این مقدار بابت تجهیزات دیگر است) باشند , طبق بانک اطلاعاتی , نتایج مدل عبارتند از :

$$X_{P_{ij}}^M = 40kW; \quad X_{H_{ij}}^H = 50kW; \quad X_{C_{ij}}^{CH} = 100kW$$

$$X_P^{NW} = 0kWh$$

مقدار تابع هدف (کل سود سالیانه) : ۱۴۵۲۹۸۴۰۰۰ ریال
/ :

در محاسبه سود فرض شده است که تمام انرژی های تولید شده به فروش برسد . زمان بازگشت سرمایه را می توان با کاهش دادن مدت بهره برداری به نحوی که سود سالیانه در کل دوره بهره برداری صفر شود , بدست آورد .

۷- نتیجه گیری :

با این مدل جدید TOSCS برای سیستم تولید همزمان , می توان ظرفیت بهینه اجزاء سیستم را تعیین کرد . برای مثال , این مدل بیان می کند که کدام ظرفیت (j) از دستگاه CHP از کدام شرکت سازنده (i) مناسب است . همین گونه برای بویلر گازی , چیلر جذبی و غیره می توان انجام داد . بنابراین , همزمان با در نظر گرفتن تأمین بارها , اجزای بهینه سیستم انتخاب می شوند , در نتیجه , حداکثر سود کل نتیجه می شود . میزان قابلیت مدل , به گستردگی و کامل بودن بانک اطلاعاتی , و دقت آن به دقت داده های موجود در بانک اطلاعاتی بستگی دارد .

۸- مراجع :

1) Dilip R. Limaye, "Industrial Cogeneration Applications," Fairmont Press, INC., 1985.

2) Hu, S. David, "Cogeneration," RPC Publ. Hayward, California, 1985.

۳) اسکویی نژاد م.م, "اقتصاد مهندسی", ویرایش دوم, مرکز نشر دانشگاه امیر کبیر, سال ۱۳۸۰

4) Bazara, M.S., Jarvis, J.J., "Linear Programming and Network Flows," John Wiley & Sons Inc., 2. Edition, 1990

۵) هیلیر, ف.س., لیبرمن, ج.ج., "برنامه ریزی خطی", ترجمه محمد مدرس و اردوان آصف
وزیری, چاپ پنجم, انتشارات تندر, جلد اول, سال ۱۳۷۱

6) "Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering," John G. Webster, Editor, John Wiley & Sons Inc., 1999.

7) United Nations, "Guide Book on Cogeneration as a means of Pollution and Control and Energy Efficiency in Asia," UN press, 2001

ضمیمه ۱: بانک اطلاعاتی اجزاء نیروگاه کوچک تولید
همزمان استفاده شده در این مقاله

قیمت ها بر حسب ریال و ظرفیت ها بر حسب kW هستند.

جدول ۱: بانک اطلاعاتی ظرفیت الکتریکی CHP

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۱۰	۲۰	۳۰	۱۰۰
۲	۲۰	۳۰	۴۰	۲۰۰

جدول ۲: بانک اطلاعاتی ظرفیت گرمایی CHP

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۱۵	۳۰	۴۵	۱۵۰
۲	۳۰	۴۵	۶۰	۳۰۰

جدول ۳: بانک اطلاعاتی ظرفیت گرمایی بویلر کمکی

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۵	۱۰	۲۰	۵۰
۲	۱۰	۱۵	۳۰	۱۰۰

جدول ۴: بانک اطلاعاتی ظرفیت برودتی چیلر جذبی

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۱۰	۱۵	۲۰	۱۰۰
۲	۵	۱۰	۱۵	۵۰

جدول ۵: بانک اطلاعاتی قیمت CHP

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۷۲E۶	۱۳۶E۶	۱۹۲E۶	۵۶۰E۶
۲	۱۲۸E۶	۱۷۶E۶	۲۴۰E۶	۹۶۰E۶

جدول ۶: بانک اطلاعاتی قیمت بویلر کمکی

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۴E۶	۸E۶	۱۶E۶	۳۶E۶
۲	۱۶E۶	۲۴E۶	۴۸E۶	۱۴۴E۶

جدول ۷: بانک اطلاعاتی قیمت چیلر جذبی

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۱۶۰E۶	۲۴۰E۶	۳۲۰E۶	۱۴۴۰E۶
۲	۵۶E۶	۱۱۲E۶	۱۶۰E۶	۵۲۰E۶

جدول ۸: بانک اطلاعاتی هزینه تعمیرات و نگهداری CHP

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴
۲	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸

جدول ۹: بانک اطلاعاتی هزینه تعمیرات و نگهداری بویلر کمکی

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۸۰	۸۰	۸۰	۸۰
۲	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴

جدول ۱۰: بانک اطلاعاتی هزینه تعمیرات و نگهداری چیلر جذبی

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۴۸	۴۸	۴۸	۴۸
۲	۶۴	۶۴	۶۴	۶۴

جدول ۱۱: بانک اطلاعاتی مصرف سوخت CHP

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۲۴۰۰۰	۴۸۰۰۰	۶۴۰۰۰	۲۴۰E۳
۲	۴۸۰۰۰	۶۴۰۰۰	۹۶۰۰۰	۴۸۰E۳

جدول ۱۲: بانک اطلاعاتی مصرف سوخت بویلر کمکی

$i \backslash j$	۱	۲	۳	۴
۱	۱۶۰۰۰	۳۲۰۰۰	۶۴۰۰۰	۱۶۰E۳
۲	۲۴۰۰۰	۵۶۰۰۰	۸۰۰۰۰	۲۴۰E۳

جدول ۱۳: بانک اطلاعاتی پارامترهای اقتصادی

پارامتر	مقدار
PV	۶/۹۶
PG	۷/۶۸
LP	۲۰
LH	۴۰
LC	۴۰
QP	۲۳۰
QH	۳۲۲
QC	۳۲۲
INVEST	۲۰۴۰۰۰۰۰۰
MARR	۰/۲
N	۱۰
ALFA	۰/۷
BETA	۰/۱
GAMA	۰/۱
ETA	۰/۸