

بررسی اقتصادی بهترین روش خنک کاری هوای ورودی به توربو کمپرسور گازی

محمد طهماسب زاده بایی^۱، حسین صیادی^۲، رضا مهربانی پور^۳

^۱ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، tahmasebzadeh68@gmail.com

^۲ دانشیار گروه سیستم انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، sayyaadi@kntu.ac.ir

^۳ دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، mehrabi84@gmail.com

چکیده

در این مقاله روش خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور به سه روش برای ارتقاء راندمان نیروگاه گازی شیراز واحد کرافت بررسی شده است. روش اول استفاده از سیستم پاشش آب به هوای ورودی به کمپرسور را مورد بررسی قرار داده و دبی جرمی بهینه آب پاششی محاسبه شده است. در روش دوم تأثیر حضور چیلر الکتریکی آب-خنک مورد بررسی قرار گرفته و مشخصات چیلرهای الکتریکی بهینه گزارش شده است. در روش سوم استفاده از چیلر(های) جذبی بررسی شده است. بر اساس افت دمای حاصل و کمترین تعداد چیلر، مشخصات چیلر جذبی بهینه ارائه شده و زمان بازگشت سرمایه برای چیلر(های) انتخابی محاسبه شده است. در نهایت با استفاده از معیارهای اقتصادی و مهندسی مناسبترین روش برای خنک کاری هوای ورودی معرفی شده است. در این مقاله بررسی روش های خنک کاری هوای ورودی به چندین روش با استفاده از نرم افزار ترموفلو انجام گرفته است.

کلید واژه:

سیکل گازی، خنک کاری هوای ورودی، راندمان انرژی

مقدمه

انرژی نیروگاه و بازگشت سرمایه به عنوان دو تابع هدف می باشند. در نهایت یک جبهه بهینه دوهدفه پرتو^۱ با استفاده از توابع هدف ارائه شده و نقطه بهینه نهایی از جبهه مذکور با استفاده از روش های تصمیم سازی فازی بلمن-زاده^۲، TOPSIS و LINMAP انتخاب می شود. سپس مشخصات فنی و اقتصادی نقطه بهینه نهایی انتخاب شده آورده شده است.

یکی از مشکلات اصلی سیکل های گازی، راندمان پایین آن می باشد. بنابراین ارتقاء راندمان از اهمیت بسزایی برخوردار است.

در مطالعه حاضر، ابتدا به مدلسازی ترمودینامیکی سیکل گازی موجود پرداخته ایم. این مدلسازی توسط کدنویسی MATLAB صورت گرفته و نتایج حاصل از کد با برخی از داده های ثبت شده در سایت مقایسه شده و صحت کد نوشته شده، بررسی شده است. در قدم بعدی، به مدلسازی و بهینه سازی سیکل با خنک کاری هوای ورودی با ۳ روش فاک، چیلر تراکمی و چیلر جذبی صورت گرفته است. بهینه سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام گرفته است. در این بهینه سازی راندمان

1 - Pareto optimum frontier

2 - Bellman-Zadeh fuzzy decision making

دهمین همایش بین المللی انرژی

۱- کلیاتی راجع به سیکل موجود

سیکل توربین گاز مورد مطالعه، یکی از هفت واحد تولید توان در نیروگاه گازی شیراز است که به نام واحد کرافت است و شامل یک توربین گاز زیمنس مدل V93.1 است.

جدول ۱: مشخصات توربین گازی مورد بررسی [۱]

سازنده	Kraftwerk Union AG
نوع توربین	V 93.1
تعداد طبقات	۴
سرعت روتور (rpm)	۳۰۰۰
دبی دود ورودی به توربین با سوخت گازوئیل در شرایط ISO* (kg.s ⁻¹)	۳۴۸/۶
دبی دود ورودی به توربین با سوخت گاز طبیعی در شرایط ISO (kg.s ⁻¹)	۳۴۷/۸
دمای گاز ورودی به توربین در شرایط بار پایه و توان نامی (°C)	۸۵۰
دمای گاز ورودی به توربین در شرایط بار پیک و توان نامی (°C)	۸۷۰

* منظور از شرایط ISO فشار ۱۰۱۳ بار، دمای ۱۵ °C و رطوبت نسبی ۶۰٪ است.

۲- مدل سازی سیکل توربین گاز

۱-۲ مدل سازی ترمودینامیکی

۱-۱-۲ فرضیات

فرضیاتی که در مدل سازی ترمودینامیکی در نظر گرفته شده اند:

- سیکل توربین گاز در شرایط پایدار کار می کند.
- برای هوا و محصولات احتراقی از قانون مخلوط گازهای ایده آل استفاده می شود.
- سوخت مورد استفاده گاز طبیعی با LHV=49980 kJ/kg در نظر گرفته شده است.
- اتلاف حرارتی به محیط در محفظه احتراق برابر ۲٪ ارزش حرارتی پایین سوخت بوده و بقیه اجزای سیستم آدیاباتیک هستند.
- در هر جزء از سیستم نسبت افت فشار ثابت است.

۲-۱-۲ معادلات حاکم

از آوردن معادلات حاکم و روابط کمپرسور، توربین گاز، محفظه ی احتراق و خنک کننده ها صرف نظر شده است [۵]. [۶].

۳- تصمیم سازی

۱-۳ بی مقیاس کردن

مقیاس اندازه گیری شاخص های کمی می تواند با یکدیگر متفاوت باشد برای انجام عملیات ریاضی باید همه را بی مقیاس کنیم. روش های مختلفی برای بی مقیاس کردن وجود دارد که عبارتند از الف- بی مقیاس کردن خطی ب- بی مقیاس کردن اقلیدسی ج- بی مقیاس کردن فازی [۱۱].

الف- بی مقیاس کردن خطی: در این روش برای شاخص های با جنبه مثبت هر ارزش r_{ij} را به حداکثر موجود از ستون j تقسیم می کنیم:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{r_j^*} \quad r_j^* = \max_i r_{ij} \quad (1)$$

و برای شاخص های با جنبه منفی، با معکوس کردن نتیجه، آن را به جنبه مثبت تبدیل می کنیم:

$$n_{ij} = \frac{\frac{1}{r_{ij}}}{\max_i (\frac{1}{r_{ij}})} \quad (2)$$

در این حالت n_{ij} خطی بوده و کلیه نتایج به یک نسبت خطی تبدیل می شوند. در نتیجه ترتیب نسبی از نتایج موجود، یکسان باقی می ماند.

ب- بی مقیاس کردن اقلیدسی: در این روش برای هر ارزش r_{ij} داریم:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}} \quad (3)$$

به علت تبدیل غیر خطی، این روش منجر به مقیاس های اندازه گیری با طول مساوی نشده، ترتیب نسبی نتایج به خصوص برای مقادیر کمینه و بیشینه در این روش یکسان باقی نمی ماند. این روش در بعضی از روش های تصمیم گیری به کار می رود.

ج- بی مقیاس کردن فازی: در این روش برای شاخصی با جنبه مثبت داریم:

دهمین همایش بین المللی انرژی

مرحله پنجم: در این مرحله بزرگترین مقدار Cl_{i+} انتخاب می‌شود.

$$n_{ij} = \frac{r_{ij} - r_j^{min}}{r_j^* - r_j^{min}} \quad (4)$$

و برای شاخص با جنبه منفی:

$$n_{ij} = \frac{r_j^* - r_{ij}}{r_j^* - r_j^{min}} \quad (5)$$

مقیاس اندازه‌گیری در این روش بین صفر و یک بوده و منجر به یک تغییر متناسب در نتایج نمی‌شود.

۳-۲-۳ مدل تصمیم‌سازی LINMAP

این روش مشابه روش تصمیم‌سازی TOPSIS می‌باشد، با این تفاوت که در مرحله چهارم، جواب نهایی، نقطه متناظر با کمترین مقدار d_{i+} انتخاب می‌شود.

۳-۲ مدل‌های تصمیم‌سازی

۴- نتایج

در این پژوهش، برای بررسی اثرات خنک‌کاری هوای ورودی از نرم‌افزار ترموفلو^۱ استفاده شده است و خنک‌کاری به سه طریق پاشش آب به هوای ورودی کمپرسور (سیستم Fog)، چیلر الکتریکی آب-خنک و چیلر جذبی انجام گرفته است.

نتایج حاصل از خروجی نرم‌افزار ترموفلو برای توربین Siemens V93.1 در شرایط دمای محیط 15°C و فشار $1/0.13$ بار و رطوبت نسبی ۶۰ درصد، در جدول ۲ ارائه شده است که نشان دهنده ی شبیه سازی با درصد خطای ناچیز است.

۳-۲-۱ مدل تصمیم‌سازی فازی بلمن-زاده

برای استفاده از این روش مراحل زیر را به ترتیب انجام می‌دهیم [۱۲]:

مرحله اول: ابتدا لازم است تا ماتریس تصمیم‌گیری D را بسته به بیشینه‌سازی یا کمینه‌سازی توابع هدف به روش فازی بی-بعد کنیم تا ماتریس N_D حاصل گردد.

مرحله دوم: مقدار کمینه هر ردیف ماتریس N_D را به دست می‌آوریم.

مرحله سوم: نقطه متناظر با مقدار بیشینه ماتریس حاصل در مرحله دوم را به عنوان جواب بهینه نهایی انتخاب می‌کنیم.

۳-۲-۲ مدل تصمیم‌سازی TOPSIS

برای انتخاب نقطه بهینه از میان نقاط موجود با استفاده از روش TOPSIS مراحل زیر را طی می‌کنیم [۱۱]:

مرحله اول: ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری را با استفاده از رابطه بی‌مقیاس کردن اقلیدسی به ماتریس N_D تبدیل می‌کنیم.

مرحله دوم: حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل را مشخص می‌کنیم.

مرحله سوم: در این مرحله فواصل (d_{i+}, d_{i-}) محاسبه می‌شوند. d_{i+} فاصله هر جواب از جواب ایده‌آل و d_{i-} فاصله هر جواب از جواب ضد ایده‌آل است.

مرحله چهارم: نزدیکی نسبی به نقطه ایده‌آل محاسبه می‌شود:

$$Cl_{i+} = \frac{d_{i-}}{d_{i+} + d_{i-}} \quad (6)$$

دهمین همایش بین المللی انرژی

جدول ۵: مقایسه راندمان آگزرژی در شرایط وجود و عدم وجود سیستم پاشش آب در دمای کمینه سایت (با دبی آب پاششی 1 kg.s^{-1} و $0.2/1$)

میزان تغییر	با وجود fogger	بدون fogger	مشخصه سیکل
+۰.۰۵	۲۵/۷۲	۲۵/۶۷	راندمان آگزرژی (%)
+۰.۰۹۵	۵۵۸۹۳	۵۵۳۶۸	توان تولیدی (kW)
+۰.۰۷۷	۴/۱۰۲۴	۴/۰۷۱۱	مصرف سوخت kg.s^{-1}

با توجه به جداول ۳ الی ۵ پاشش آب در دمای کمینه تاثیر ناچیزی دارد. تأثیرات تغییرات شرایط آب و هوایی در طول دوازده ماه سال در جدول ۶ ارائه شده است.

جدول ۶: تأثیر تغییرات شرایط آب و هوایی بر مشخصات اصلی سیکل گازی در شرایط عدم پاشش و پاشش آب

دما	رطوبه	دبی	افزایش	افزای	افزایش
ماه	متوسط	بهینه	راندمان	ش	مصرف
($^{\circ}\text{C}$)	ط (%)	پاششی (kg.s^{-1})	آگزرژی (%)	توان (%)	سوخت (%)
۱	۱۴/۴	۵۳	۰/۵۲۳	۳/۰۵	۲/۵۲
۲	۲۲/۳	۳۴	۰/۹۶۵	۰/۳۳	۴/۶۰
۳	۲۶/۴	۲۶	۱/۲۲۸	۰/۴۴	۶/۰۵
۴	۲۹/۴	۲۶	۱/۳۱	۰/۴۷	۶/۶۶
۵	۳۰/۲	۲۸	۱/۲۸۳	۰/۴۶	۶/۶۰
۶	۲۶/۴	۳۲	۱/۱۰۱	۰/۴۰	۵/۴۵
۷	۲۰/۵	۳۳	۰/۹۴	۰/۳۰	۴/۴۶
۸	۱۵/۹	۴۹	۰/۶۰۴	۰/۱۶	۲/۸۸
۹	۸/۴	۶۹	۰/۲۸۳	۰/۰۷	۱/۲۷
۱۰	۷/۹	۶۱	۰/۳۵۴	۰/۰۸	۱/۵۷
۱۱	۹/۵	۵۶	۰/۴۲۴	۰/۱۰	۱/۹۱
۱۲	۱۴/۱	۴۶	۰/۶۱۲	۰/۱۵	۲/۹۰

شکل های ۱، ۲ و ۳ نتایج ارائه شده در جدول ۸ را به صورت نمودار نمایش می دهند.

جدول ۲: مقایسه مشخصات اصلی نیروگاه گازی شیراز واحد کرافت با نتایج مدل نرم افزاری در شرایط ISO (دبی ها kg.s^{-1} هستند)

مشخصه سیکل	مقدار از کاتالوگ توربین	مقدار به دست آمده از نرم افزار	مقدار خطا
راندمان	۲۶٪	۲۶/۵۱٪	۰/۰۵۱
دبی هوا	۳۴۳/۴	۳۳۳/۵	۰/۰۲۸
دبی سوخت	۴/۴	۴/۴۳	۰/۰۰۶

۵-۱- خنک کاری با روش پاشش آب به ورودی کمپرسور

با اعمال دمای متوسط $18/8^{\circ}\text{C}$ ، رطوبت نسبی ۴۲٪ و دمای بیشینه سایت $40/6^{\circ}\text{C}$ و رطوبت نسبی ۲۶٪ و همچنین دمای کمینه سایت $3/5^{\circ}\text{C}$ و رطوبت ۶۲٪ و انتخاب fogger با کارایی ۰/۸۵ نتایج در جداول ۳ الی ۵ ارائه شده است.

جدول ۳: مقایسه راندمان آگزرژی در شرایط وجود و عدم وجود سیستم پاشش آب در دمای متوسط سال (با دبی آب پاششی 1 kg.s^{-1} و $0.75/77$)

مشخصه سیکل	بدون وجود fogger	در شرایط وجود fogger	میزان تغییر
راندمان آگزرژی (%)	۲۴/۸۰	۲۵/۰۴	+۰/۰۲۴
توان تولیدی (kW)	۴۷۹۰۸	۵۰۰۹۳	+۰/۴/۵
مصرف سوخت kg.s^{-1}	۳/۶۴۶۲	۳/۷۷۶۶	+۰/۳/۶

جدول ۴: مقایسه راندمان آگزرژی در شرایط وجود و عدم وجود سیستم پاشش آب در دمای بیشینه سایت (با دبی آب پاششی 1 kg.s^{-1} و $1/599$)

مشخصه سیکل	بدون وجود fogger	با وجود fogger	میزان تغییرات
راندمان آگزرژی (%)	۲۳/۶۷	۲۴/۲۹	+۰/۰/۶۲
توان تولیدی (kW)	۴۰۵۵۱	۴۵۳۶۷	+۰/۱۱/۸
مصرف سوخت (kg.s^{-1})	۳/۲۳۴۱	۳/۵۲۵۹	+۰/۰/۹

دهمین همایش بین المللی انرژی

برای سیکل موجود چیلرهای الکتریکی آب-خنک توانایی کاهش دمای هوای محیط را از 5°C تا 23°C دارا باشند نتایج به دست آمده در جدول ۸ آورده شده است که بهترین حالت، کاهش ۱۸ درجه سانتیگرادی دمای محیط توسط چیلر است. سپس با استفاده از سه روش تصمیم‌سازی فازی، TOPSIS و LINMAP چیلر بهینه انتخاب شده است که مشخصات چیلر بهینه انتخاب شده و تأثیرات آن بر سیکل موجود در جدول ۹ آورده شده است. (هر سه روش منجر به انتخاب یک چیلر شده‌اند).

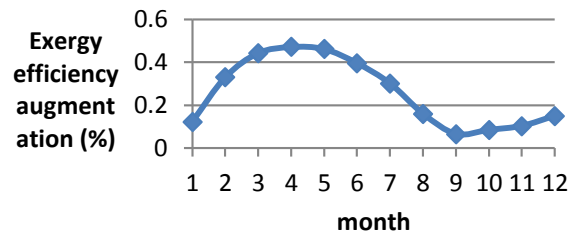
برای محاسبه زمان بازگشت سرمایه چیلر الکتریکی آب-خنک از رابطه زیر استفاده شده است:

$$p = \frac{CC}{C_W - OMC - C_f - C_p - C_{W, \text{chiller}}} \quad (7)$$

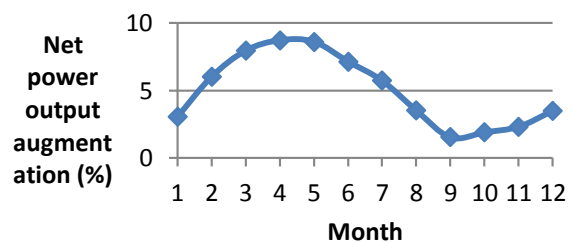
در این رابطه هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، CC ، به صورت هزینه مربوط به خود چیلرها به علاوه هزینه تجهیزات، معادل با ۴۰۰۰۰۰ دلار است. C_W هزینه حاصل از فروش الکتریسیته اضافی تولیدی، OMC هزینه تعمیر و نگهداری سالیانه که برابر با ۳۵۰۰۰ دلار در نظر گرفته شده است، C_f هزینه مصرف سوخت بیشتر، C_p هزینه حاصل از مصرف انرژی الکتریکی توسط پمپ‌ها و $C_{W, \text{chiller}}$ هزینه برق مصرفی خود چیلر است. قیمت فروش الکتریسیته تولیدی $173/22 \text{ Rial/kWh}$ و قیمت سوخت نیز 49 Rial/m^3 در نظر گرفته شده است [۴].

جدول ۸: نتایج حاصل از بهینه‌سازی چیلرهای الکتریکی آب-خنک و تأثیرات آن بر سیکل موجود

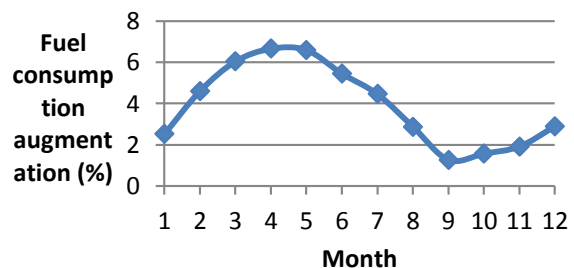
میزان افت دما توسط چیلر الکتریکی آب-خنک ($^{\circ}\text{C}$)	افزایش راندمان اگزرژی سیکل (%)	افزایش توان خالص تولیدی (kW)	بازگشت سرمایه (سال)
۵	۰/۰۷	۱۳۶۹	۲۴/۲۳
۶	۰/۰۹	۱۶۶۳	۱۵/۶۵
۷	۰/۱۲	۱۹۶۱	۱۱/۷۹
۸	۰/۱۴	۲۲۶۱	۹/۶۳
۹	۰/۱۷	۲۵۶۲	۸/۲۷
۱۰	۰/۲۰	۲۸۶۳	۷/۳۶
۱۱	۰/۲۳	۳۱۶۱	۶/۷۳
۱۲	۰/۲۵	۳۴۵۵	۶/۳۰
۱۳	۰/۲۶	۳۷۴۳	۶/۰۱



شکل ۱: تأثیر تغییرات دما و رطوبت نسبی بر میزان افزایش راندمان اگزرژی سیکل در اثر پاشش آب



شکل ۲: تأثیر تغییرات دما و رطوبت نسبی بر میزان افزایش توان خالص تولیدی سیکل در اثر پاشش آب



شکل ۳: تأثیر تغییرات دما و رطوبت نسبی بر میزان افزایش سوخت مصرفی در اثر پاشش آب

۲-۵ خنک‌کاری توسط چیلر الکتریکی آب-خنک

با فرض آنکه از چیلر مورد نظر در شش ماه گرم سال استفاده شود و سیکل گازی در ۹۰٪ زمان کل سال مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. متوسط دما در شش ماه گرم سال 26°C ، متوسط رطوبت نسبی ۲۹٪ و فشار محیط ۰/۸۴۷ بار است. مشخصات سیکل در این شرایط مطابق جدول ۷ است.

جدول ۷: مشخصات اصلی سیکل گازی موجود در شرایط آب و هوایی مربوط به ماه‌های گرم سال

مقدار	مشخصه
۲۴/۴۶	راندمان اگزرژی (%)
۴۵۴۶۶	توان خالص تولیدی (kW)
۳/۵۰۸۱	مصرف سوخت (kg.s^{-1})

دهمین همایش بین المللی انرژی

جدول ۹: مشخصات چیلرهای الکتریکی آب-خنک بهینه شده انتخاب شده توسط تصمیم ساز (LINMAP، TOPSIS و فازی)

مشخصه	مقدار
تعداد چیلرها به ازای هر توربین گاز	۳
ظرفیت هر چیلر در شرایط موجود (ton/chiller)	۴۹۷/۶
مصرف انرژی الکتریکی چیلر (kW/ton)	۰/۶۵۵۹
COP	۴/۷۸۸
دمای آب خنک شده (°C)	۳
کارایی کوئل چیلر	۰/۸۷۲۶
دبی آب خنک شده به ازای هر چیلر (kg.s ⁻¹)	۴۱/۸
مصرف انرژی الکتریکی پمپ	۴۹/۵۹
مجموع قیمت چیلرها (\$)	۶۸۰۷۰۰
راندمان انرژی سیکل (%)	۲۴/۷۲
میزان بهبود در راندمان انرژی (%)	+۰/۲۶
توان خالص تولیدی سیکل (kW)	۵۰۵۲۲
میزان بهبود در توان خالص تولیدی (%)	+۱۱/۱
مصرف سوخت (kg.s ⁻¹)	۳/۸۵۹۴
میزان افزایش در مصرف سوخت (%)	+۱۰
بازگشت سرمایه (سال)	۵/۷۶

۵-۳ خنک کاری با استفاده از چیلر جذبی

در اینجا فرضیات شرایط محیطی، مدت زمان به کارگیری و محدودیت کاهش دمایی هوا همانند قسمت قبل (چیلر الکتریکی) فرض شده است. با استفاده از نرم افزار ترموفلو نتایج به دست آمده در جدول ۱۰ آورده شده است. جدول ۱۰: نتایج حاصل از بهینه سازی چیلرهای جذبی و تأثیرات آن بر سیکل موجود

میزان افت دما توسط چیلر جذبی (°C)	افزایش راندمان انرژی سیکل (%)	افزایش توان خالص تولیدی (kW)	بازگشت سرمایه (سال)
۵	۰/۲۳	۱۶۸۰	۱۹/۱۸
۶	۰/۲۸	۲۰۱۶	۱۴/۴۲
۷	۰/۳۲	۲۳۵۲	۱۱/۷۲
۸	۰/۳۶	۲۶۸۹	۹/۹۹
۹	۰/۴۱	۳۰۲۵	۸/۷۹
۱۰	۰/۴۶	۳۳۶۱	۷/۹۲

۱۴	۰/۲۷	۴۰۲۵	۵/۸۱
۱۵	۰/۲۷	۴۲۹۹	۵/۶۹
۱۶	۰/۲۷	۴۵۶۳	۵/۶۵
۱۷	۰/۲۷	۴۸۱۶	۵/۶۷
۱۸	۰/۲۶	۵۰۵۶	۵/۷۶
۱۹	۰/۲۴	۵۲۸۲	۵/۹۲
۲۰	۰/۱۹	۵۴۵۴	۶/۴۵
۲۱	۰/۱۳	۵۵۶۸	۷/۴۴
۲۲	۰/۰۵	۵۶۵۱	۸/۷۴
۲۳	-۰/۰۴	۵۶۹۹	۱۰/۵۸

در ادامه ماتریس D ماتریس های سه بعدی تصمیم اند که دارای ۱۹ ردیف و سه ستون تصمیم شامل افزایش راندمان انرژی، افزایش توان خالص تولیدی (کیلووات) و بازگشت سرمایه (سال) است.

در ادامه این ماتریس تصمیم را به صورت اقلیدسی برای روش های تصمیم سازی TOPSIS و LINMAP و به صورت فازی برای روش تصمیم سازی فازی بی بعد سازی می کنیم.

$\Delta \varepsilon$	ΔW	P
0.07	1369	24.22
0.09	1663	15.65
0.12	1961	11.78
0.14	2261	9.62
0.17	2562	8.27
0.20	2863	7.36
0.23	3161	6.73
0.25	3455	6.30
0.26	3743	6.00
0.27	4025	5.80
0.27	4299	5.69
0.27	4563	5.65
0.27	4816	5.67
0.26	5056	5.76
0.24	5282	5.92
0.19	5454	6.45
0.13	5568	7.44
0.05	5651	8.74
-0.04	5699	10.57

با به کار بستن روش های تصمیم سازی LINMAP، TOPSIS و فازی به طور جداگانه یک بردار تصمیم واحد از ماتریس D انتخاب می شود که در آن میزان افت دما توسط چیلر آب-خنک معادل ۱۸°C تعیین می گردد. بر این اساس جدول ۹ مشخصات نهایی چیلر الکتریکی آب-خنک انتخاب شده توسط تصمیم سازهای TOPSIS، LINMAP و فازی را ارائه می نماید.

دهمین همایش بین المللی انرژی

۵۱۸۳۶	توان خالص تولیدی سیکل (kW)
+۱۴/۰۱	میزان بهبود در توان خالص تولیدی (%)
۳/۸۷۹۴	مصرف سوخت (kg.s^{-1})
+۱۰/۵۸	میزان افزایش در مصرف سوخت (%)
۵/۵۱	بازگشت سرمایه (سال)

زمان بازگشت سرمایه با چیلر جذبی از رابطه ی (۹) به دست می آید که تمامی پارامترهای آن مشابه رابطه ی (۷) تعریف می شود.

$$p = \frac{CC}{C_W - OMC - C_F - C_P} \quad (9)$$

هزینه های سرمایه گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری مورد نیاز برای چیلر جذبی در جدول ۱۲ آمده است.

زمان بازگشت سرمایه برای استفاده از چیلرهای جذبی با مشخصات ذکر شده برابر با ۵/۵۱ سال به دست آمده است.

از آنجا که استفاده از چیلر الکتریکی مصرف برق زیادی را به همراه دارد و از طرفی افزایش راندمان انرژی بسیار ناچیزی را به همراه دارد، استفاده از این نوع خنک کننده منطقی به نظر نمی رسد. ولی چیلر جذبی مصرف برق را به نیروگاه تحمیل نمی کند، و قابلیت تولید توان بیشتر و افزایش راندمان انرژی بالاتر را دارا می باشد، لذا در میان تمامی روش های بررسی شده، و با توجه به زمان بازگشت سرمایه، استفاده از این روش به عنوان روش برگزیده پیشنهاد می گردد. خلاصه مشخصات چیلر انتخاب شده در جدول ۱۳ آمده است.

جدول ۱۲: هزینه سرمایه گذاری اولیه و تعمیر و نگهداری چیلر جذبی

تجهیز	تعداد	هزینه سرمایه گذاری (\$)	هزینه تعمیر و نگهداری (\$)
چیلر جذبی	۳	۱۰۱۱۲۰۰	۲۰۰۰۰
برج خنک کن	۳	۵۹۴۰۰	۸۰۰
HRSG	۱	۳۳۱۳۰۰	۱۰۰۰۰
پمپ آب خنک کن	۳	۱۳۳۵۰	۲۷۰
پمپ آب سرد شده	۳	۲۲۵۰	۱۰۰
پمپ آب کندانس	۳	۱۵۰۰	۶۵
پمپ آب تغذیه	۳	۱۸۰۰	۵۰
سیستم کنترل	۱	۳۵۰۰۰۰	۱۵۰۰۰
مجموع هزینه ها		۱۷۷۰۸۰۰	۴۶۲۸۵

میزان افت دما توسط چیلر جذبی ($^{\circ}\text{C}$)	افزایش راندمان انرژی سیکل (%)	افزایش توان خالص تولیدی (kW)	بازگشت سرمایه (سال)
۱۱	۰/۵۰	۳۶۹۷	۷/۲۷
۱۲	۰/۵۳	۴۰۳۱	۶/۷۸
۱۳	۰/۵۷	۴۳۶۵	۶/۴۰
۱۴	۰/۶۰	۴۶۹۹	۶/۱۰
۱۵	۰/۶۳	۵۰۳۳	۵/۸۷
۱۶	۰/۶۶	۵۳۶۷	۵/۷۱
۱۷	۰/۷۰	۵۷۰۱	۵/۵۹
۱۸	۰/۷۳	۶۰۳۶	۵/۵۳
۱۹	۰/۷۷	۶۳۷۰	۵/۵۱
۲۰	۰/۸۰	۶۷۰۴	۵/۶۶
۲۱	۰/۸۴	۷۰۳۸	۵/۹۶
۲۲	۰/۸۸	۷۳۶۷	۶/۳۵
۲۳	۰/۹۱	۷۶۸۹	۶/۸۵

سپس سه روش فازی، TOPSIS و LINMAP مشابه

قبل انجام شده و بهترین حالت برای قرارگیری چیلر جذبی در شرایطی است که در این شرایط چیلر توانایی کاهش ۱۹ درجه سانتیگراد دمای محیط را داشته باشد (هر سه روش منجر به انتخاب یک چیلر شده اند). مشخصات چیلر جذبی بهینه انتخاب شده و تأثیرات آن بر سیکل موجود در جدول ۱۱ آمده است

جدول ۱۱ : مشخصات چیلرهای جذبی بهینه شده انتخاب شده توسط

تصمیم ساز (LINMAP، TOPSIS و فازی)

مشخصه	مقدار
تعداد چیلرها به ازای هر توربین گاز	۳
ظرفیت هر چیلر در شرایط موجود (ton/chiller)	۵۲۷/۳
COP	۰/۷۰۷
دمای آب خنک شده ($^{\circ}\text{C}$)	۳/۳۳
کارایی کویل چیلر	۰/۸۳۸۲
دبی آب خنک شده به ازای هر چیلر (kg.s^{-1})	۴۴/۲۹
مصرف انرژی الکتریکی پمپها (kW)	۵۲/۵
مجموع قیمت چیلرها (\$)	۱۰۱۱۲۰۰
راندمان انرژی سیکل (%)	۲۵/۲۳
میزان بهبود در راندمان انرژی (%)	+۰/۷۷

دهمین همایش بین المللی انرژی

قدردانی و تشکر:

این پژوهش به عنوان بخشی از قرارداد پژوهشی ۴۸۸۰۳۰ با شرکت سهامی برق منطقه ای فارس توسط دکتر حسین صیادی دانشیار گروه سیستم های انرژی دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی و تیم همراه به عنوان مجری طرح صورت گرفته است.

مراجع:

[1] Kraftwerk Union catalogues for Shiraz gas power plant "List of contents" volume I, Section 6, 1977

[۲] توکلی علیرضا "مدل انتخاب و اولویت بندی روش های انتقال تکنولوژی (مطالعه موردی: میکروالکترونیک)", دانشگاه علم و صنعت ایران، ۱۳۷۹

[3] Bellman R., Zadeh L.A., "Decision making in a fuzzy environment" management Sci; 17:141-164, 1970

[۴] ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷، معاونت امور برق و انرژی، تهیه و تدوین دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی

[۵] حاتمی پور محمدصادق "افزایش توان خروجی و بازده توربین گاز با استفاده از حرارت اگزوز در یک سیکل تبرید جذبی برای پایین آوردن دمای هوای ورودی کمپرسور"، سومین همایش ملی انرژی ایران

[6] H. Sayyaadi, H.R. Aminian "Design and optimization of a non-TEMA type tubular recuperative heat exchanger used in a regenerative gas turbine cycle" Energy, pp. 1647-1657, 2010

جدول ۱۳: خلاصه مشخصات چیلر انتخاب شده با فرایند تصمیم سازی چند معیاره (Fuzzy, LINMAP, TOPSIS)

مشخصات	چیلر جذبی	چیلر تراکمی
بازگشت سرمایه (سال)	۵/۵۱	۵/۷۶
بهبود توان (کیلووات)	۶۳۷۰	۵۰۵۶
بهبود راندمان (/.)	۰/۷۷	۰/۲۶
توان خروجی (کیلووات)	۵۱۸۳۶	۵۰۵۲۲
راندمان اگزورژتیک (/.)	۲۵/۲۳	۲۴/۷۲
مصرف سوخت (کیلوگرم بر ثانیه)	۳/۸۷۹	۳/۸۵۹
تعداد چیلر (واحد)	۳	۳
ظرفیت چیلر (تن تبرید بر هر واحد)	۵۳۰	۵۰۰
میزان کاهش دما (سانتیگراد)	۱۹	۱۸
مصرف برق چیلرها (کیلووات)	۵۲/۵	۳۷۶
هزینه چیلرها (دلار)	۱۰۱۱۲۰۰	۶۸۰۷۰۰
هزینه سرمایه گذاری (دلار)	۱۷۷۰۸۰۰	۱۰۸۰۷۰۰
انتخاب نهایی	✓	

در نهایت قرار گرفتن چیلرهای جذبی با مشخصات ذکر شده در جدول ۱۳، منجر به افزایش راندمان اگزورژتی از ۲۴،۴۶٪ به ۲۵،۲۳٪، افزایش توان تولیدی از ۴۵۴۶۶ Kw به ۵۱۸۳۶Kw و همچنین کاهش مصرف سوخت از ۳/۸۵۹ m³/year به ۳/۸۷۹ m³/year می شود.

۵- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله، خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور سیکل ساده موجود به روش های پاشش آب به هوای ورودی، استفاده از چیلر تراکمی و استفاده از چیلر جذبی با استفاده از نرم افزار ترموفلو مورد بررسی قرار گرفت. از نتایج به دست آمده در هر روش، در نهایت استفاده از چیلر جذبی با توجه به اهداف افزایش راندمان، افزایش توان تولیدی سیکل و همچنین پایین بودن زمان بازگشت سرمایه، به عنوان مناسب ترین روش برای خنک کاری هوای ورودی به کمپرسور پیشنهاد گردید. خلاصه مشخصات سیکل دارای چیلر جذبی بهینه در جدول ۱۱ آورده شده است.