

## تحلیل پارامتری و بهینه سازی سیکل تبرید اجکتوری فوق بحرانی همراه با سیال عامل های مختلف به کمک شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه سازی پرندگان

نوید فریدونی مهر<sup>۱\*</sup>، فواد نظری<sup>۲</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۸/۰۸	در این مقاله، به بررسی پارامتری و بهینه سازی سیکل تبرید اجکتوری همراه با سیال عامل های مختلف پرداخته شده است که قابلیت استفاده در بخشی از فرایند استفاده از انرژی خورشیدی را دارا می باشد. مزیت اصلی استفاده از اجکتور در سیکل های تبرید که معمولاً به جای کمپرسور بکار می رود، سادگی در ساخت و نگهداری، اطمینان پذیری بالا و هزینه ی کم می باشد. در این مطالعه، سیکل تبرید اجکتوری فوق بحرانی با استفاده از نرم افزار EES مدل خواهد شد و اثرات پارامترهای مختلف مانند دما و فشار اجزا گوناگون سیکل، بر روی ضریب عملکرد و نسبت مکش مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه، ضریب عملکرد سیکل تبرید اجکتوری فوق بحرانی برای ۴ سیال عامل مختلف به کمک ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه سازی پرندگان خواهد شد.
پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۱۸	
<b>واژگان کلیدی:</b>	
سیکل تبرید، سیکل فوق بحرانی، اجکتور، شبکه عصبی مصنوعی، الگوریتم بهینه سازی پرندگان.	

### ۱- مقدمه

یک اجکتور نوع ساده شده ای از یک پمپ خلأ یا کمپرسور می باشد که در آن هیچ گونه پیستون، شیر یا پروانه و دیگر اجزای متحرک وجود ندارد. به عبارتی دیگر، اجکتور در واقع نوعی پمپ خلأ است و تنها تفاوت آن این است که اساس کار آن بر پایه تبدیل انرژی جنبشی و فشاری به یکدیگر می باشد. قسمت های اصلی اجکتور شامل شیپوره سیال محرک، بخش مکش و پخش کننده می باشد. به طور کلی، موارد مصرف اجکتورها در سه دست کلی قابل توصیف می باشند: ۱- ایجاد خلأ، ۲- انتقال مواد، ۳- ایجاد اختلاط بین مواد که به منظور افزایش فشار سیالات یا تبادل حرارت بین

آن ها می باشد. اساس کار اجکتور بر پایه رابطه برنولی می باشد. بر طبق این رابطه، مقدار انرژی یک جریان پایدار و ثابت بوده و مقدار آن برابر است با مجموع انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و انرژی فشاری. بر اساس قانون بقای انرژی، این مقدار انرژی در صورت عدم اتلاف در اثر اصطکاک همواره مقداری ثابت است. اگر در جایی به دلیل تغییر سطح مقطع، سرعت سیال کاهش یابد، این مقدار انرژی به انرژی فشاری تبدیل می گردد و بالعکس با افزایش سرعت، فشار کاهش می یابد.

به علت گرمایش فزاینده ی زمین و به تبع آن تخریب لایه ی اوزون، مبردهای طبیعی به شدت مورد توجه قرار گرفته اند

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: nfreidoonimehr@yahoo.com

۱. کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان،

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان

۲. دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد همدان،

باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان

[۱]. مطالعه در مورد سیکل تبرید همراه با اجکتور پیشینه-ی بسیار گسترده‌ای دارد. ایده‌ی اولیه‌ی اجکتور در اوایل قرن بیستم توسط پارسون ارائه گردید و لبلانس در سال ۱۹۱۰ موفق به ساخت اولین نمونه از آن گردید. سادگی در ساخت، اطمینان‌پذیری بالا و هزینه‌ی کم از مزایای استفاده از سیکل تبرید با اجکتور در مقایسه با سایر سیکل‌های تبرید می‌باشد [۲].

ناکاگوا و تاکوچی [۳] تحلیلی تجربی در مورد سیستم اجکتور و استفاده از R134a انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ضریب عملکرد ده درصد نسبت به حالت عادی افزایش یافته است. ژنگ و ونگ [۴] از یک سیکل ترکیبی توان و تبرید اجکتور برای منابع گرمایی با درجه حرارت پایین استفاده کردند. شبیه‌سازی حکایت از وجود پتانسیل بالای تولید در سیکل مطرح شده دارد. هونگ و همکاران [۵] یک سیکل جدید تبرید جذبی ترکیبی از اجکتور را ارائه کردند. الخلیدی [۶] مطالعه‌ی تجربی در مورد دستگاه تبرید سیکل اجکتور با سیال عامل R113 انجام داد و به این نتیجه دست‌یافت که گستره‌ی عظیمی از میردها در این سیکل می‌تواند به کار گرفته شود. سان [۷] دریافت که میردهای مختلف تقریباً هیچ‌گونه تأثیری در تغییرات ضریب عملکرد سیکل در شرایط کاری ندارند. یو و همکاران [۸] افزایش چشمگیری در راندمان اجکتوری سیکل تبرید انبساطی ژول تامسون با اجکتور در مقایسه با سیکل اصلی ژول تامسون مشاهده کردند. تحقیقات یاپیچی [۹] نشان‌دهنده‌ی بهبود سیکل تبرید بخار با اجکتور به دلیل طراحی دقیق اجکتور می‌باشد. چن و یان [۱۰] رابطه‌ای برای ضریب عملکرد بهینه و نرخ تبرید ارائه نمودند.

در سالیان اخیر پژوهش‌های مختلفی در زمینه‌ی بهینه‌سازی سیکل‌های ترمودینامیکی انجام پذیرفته است. رشیدی و همکاران [۱۱] در پژوهشی از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل برای بهینه‌سازی و آنالیز پارامتری سیکل ارگانیک رانکین استفاده کردند. در پژوهشی دیگر آتش‌کاری و همکاران [۱۲] الگوریتم ژنتیک را برای بهینه‌سازی چند متغیره ترمودینامیکی موتور

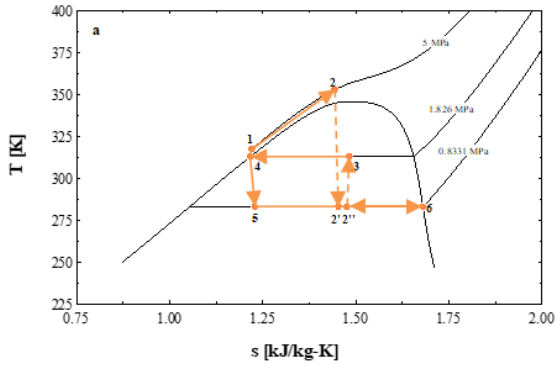
توربوجت مورد استفاده قرار دادند. زارع و همکاران [۱۳] بر طراحی بهینه مبدل گرمایی صفحه‌ای پره دار با استفاده از روش الگوریتم بهینه‌سازی زنبورعسل اقدام نمودند. جعفری و همکاران [۱۴] تلفات نیروگاه‌های سیکل ترکیبی را با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک کمینه نمودند. رشیدی و همکاران [۱۵] در پژوهشی دیگر از الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان و شبکه عصبی مصنوعی برای کمینه کردن میزان تولید انرژی در جریان روی یک دیسک دوار استفاده کردند. در پژوهشی دیگر نیز رشیدی و همکاران [۱۶] از ترکیب الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی برای بهینه‌سازی میزان بازده و کمینه‌سازی میزان انرژی یک سیکل ترمودینامیکی استفاده کردند.

در مطالعه حاضر، بهینه‌سازی و تحلیل سیکل تبرید فوق بحرانی اجکتوری همراه با سیال عامل‌های مختلف ارائه شده است. تمامی تحلیل‌های صورت پذیرفته در این مقاله بر مبنای قوانین اول و دوم ترمودینامیک و به کمک نرم‌افزار EES می‌باشند. در بخش دوم این پژوهش نیز از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان برای بهینه‌سازی ضریب عملکرد سیکل تبرید فوق بحرانی اجکتوری برای ۴ سیال عامل مختلف استفاده شده است. جنبه‌ی نوآوری این پژوهش، بهینه‌سازی عملکرد سیکل تبرید فوق بحرانی اجکتوری به کمک ترکیبی از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان می‌باشد که بر مبنای نظر نویسندگان، به جرات می‌توان بیان نمود که مطالعات بسیار محدودی در سال‌های اخیر در این زمینه صورت پذیرفته است.

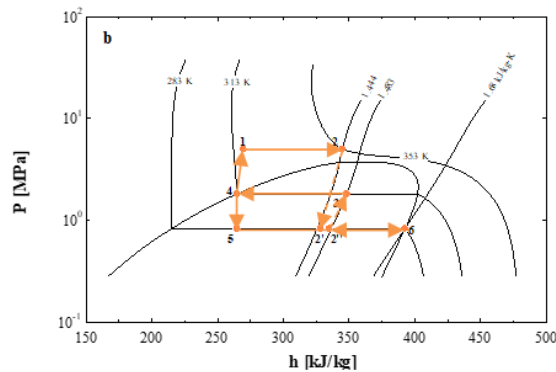
## ۲- توضیح سیکل و روابط حاکم بر اجزای

### آن

سیکل تبرید اجکتوری فوق بحرانی شامل اجزاء ژنراتور، چگالنده، تبخیرکننده، پمپ، شیر انبساطی و اجکتور می‌باشد. در این سیکل، بخار خروجی از ژنراتور در فشار بالا (به‌عنوان سیال اولیه) در درون نازل اجکتور جریان می‌یابد و بخار اشباع خروجی از تبخیرکننده در فشار پایین



شکل ۲- نمودار شماتیک دما برحسب انتروپی



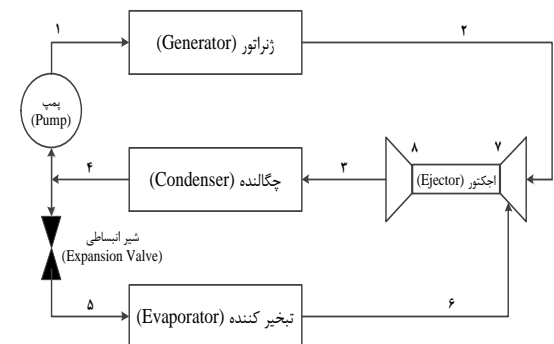
شکل ۳- نمودار شماتیک فشار برحسب انتالپی

جدول ۱- خواص ترمودینامیکی سیالات عامل

R502	R143a	R134a	R125	سیال عامل
۱۱۱/۶۳	۸۴/۰۴۱	۱۰۲/۰۳	۱۲۰/۲	وزن مولکولی <sup>۱</sup> (g/mol)
۳۵۵/۳۷۲	۳۴۵/۸۵۷	۳۷۴/۲۱	۳۳۹/۳۵	دمای بحرانی <sup>۲</sup> (K)
۴/۰۷۵	۳/۷۶۱	۴/۰۵۹۲۸	۳/۶۳	فشار بحرانی <sup>۳</sup> (MPa)
۲۲۷/۵۹۴	۲۲۵/۹۰۹	۲۴۷/۰۷۶	۲۲۴/۸۱۶	نقطه ذوب نرمال <sup>۴</sup> (K)

به منظور تحلیل فرایندهای صورت پذیرفته در سیکل مورد بررسی فوق، از نرم افزار<sup>۵</sup> EES استفاده می گردد. تمامی تحلیل های صورت پذیرفته در این سیکل، بر قوانین اول و دوم ترمودینامیک استوار است. با توجه به شکل ۱، معادلات

(به عنوان سیال ثانویه) را به داخل اجکتور می کشد. سپس، سیال اولیه و ثانویه در بخش اختلاطی با یکدیگر مخلوط می شوند و فشار خود را در بخش دیفیوزر بازیابی می کنند. سیال خروجی از اجکتور به سمت چگالنده جریان می یابد که در آن سیال مذکور متراکم خواهد شد و سپس سیال متراکم شده به دو بخش تقسیم خواهد شد؛ بخشی از آن دوباره به سمت ژنراتور پمپ خواهد شد و بخش دیگر، با عبور از شیر انبساطی وارد تبخیر کننده خواهد شد. لازم به ذکر است که سیال خروجی از چگالنده به صورت مایع اشباع می باشد. بخار خروجی از تبخیر کننده دوباره وارد اجکتور خواهد شد که به این صورت سیکل مورد بررسی کامل خواهد شد. در چنین سیکلی، هنگامی که سیستم حرارت را از منابع گرمایی در ژنراتور و کار خروجی را از پمپ به دست می آورد، اثرات سرمایشی در تبخیر کننده به وجود خواهد آمد و همچنین، اتلاف حرارت به محیط توسط چگالنده صورت خواهد پذیرفت. عملکرد سیکل مذکور با استفاده از میردهای R502 و R143a, R134a, R125 به عنوان سیال عامل مورد بررسی قرار گرفته شده است که خواص ترمودینامیکی آن ها در جدول ۱ آورده شده است. نمای کلی سیکل به همراه منحنی دما برحسب انتروپی و همچنین منحنی فشار برحسب انتالپی در شکل های ۱ تا ۳ به ترتیب آورده شده است.



شکل ۱- نمای کلی سیکل

4. Normal boiling point  
5. Engineering Equation Solver (EES)

1. Molecular weight  
2. Critical temperature  
3. Critical pressure

روابط بازده‌های قسمت‌های مختلف اجکتور از جمله نازل<sup>۶</sup>، بخش اختلاطی<sup>۹</sup> و دیفیوزر<sup>۱۰</sup> به صورت زیر بیان می‌شوند.

$$\eta_{nozzle} = \frac{h_2 - h_7}{h_2 - h_{7s}} \quad (9)$$

$$\eta_{mixing} = \left[ \frac{u_8(1+\mu)}{u_7} \right]^2 \quad (10)$$

$$\eta_{diffuser} = \frac{h_{3s} - h_8}{h_3 - h_8} \quad (11)$$

همچنین، رابطه قانون اول ترمودینامیک برای بخش‌های مختلف اجکتور نیز به صورت زیر درمی‌آید.

$$h_2 + u_2^2/2 = h_7 + u_7^2/2 \quad (12)$$

$$h_3 = h_8 + u_8^2/2 \quad (13)$$

$$h_3 = (h_2 + \mu h_6)/(1 + \mu) \quad (14)$$

ضریب عملکرد سیکل نیز به صورت زیر به دست می‌آید.

$$COP = \frac{\dot{Q}_{evap}}{\dot{Q}_{gen} + \dot{W}_{pump}} \quad (15)$$

فرضیات در نظر گرفته شده در بررسی این سیکل به صورت زیر می‌باشند.

(۱) فشار ژنراتور به صورت یک پارامتر طراحی مستقل در

این سیکل در نظر گرفته می‌شود.

(۲) ظرفیت سرمایشی  $(\dot{Q}_{evap})$  به مقدار ۱ کیلووات

در نظر گرفته می‌شود.

(۳) اتلاف مکانیکی و گرمایی برای تمامی اجزا سیستم

به غیر از اجکتور و پمپ نادیده در نظر گرفته می‌شود.

(۴) بازده آیزنتروپیک پمپ ۰/۷۵ می‌باشد.

موازنه انرژی ژنراتور<sup>۱</sup>، چگالنده<sup>۲</sup> و تبخیرکننده<sup>۳</sup> تحت شرایط حالت پایدار، به ترتیب، به صورت زیر آورده شده است.

$$\dot{Q}_{gen} = \dot{m}_{gen} (h_2 - h_1) \quad (1)$$

$$\dot{Q}_{cond} = \dot{m}_{cond} (h_3 - h_4) \quad (2)$$

$$\dot{Q}_{evap} = \dot{m}_{evap} (h_6 - h_5) \quad (3)$$

همچنین، روابط ترمودینامیکی حاکم بر بقیه اجزا سیکل به صورت زیر درمی‌آیند.

الف) شیر انبساطی<sup>۴</sup>:

انتالپی در دو طرف شیر انبساطی یکسان می‌ماند.

$$h_4 = h_5 \quad (4)$$

ب) پمپ<sup>۵</sup>:

بازده پمپ با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\eta_{pump} = \frac{h_{1s} - h_4}{h_1 - h_4} \quad (5)$$

لازم به ذکر است که در رابطه‌ی فوق زیرنویس s بیانگر شرایط مربوط به حالت آیزنتروپیک می‌باشد. کار پمپ نیز به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\dot{W}_{pump} = \dot{m}_{gen} (h_1 - h_4) \quad (6)$$

ج) اجکتور<sup>۶</sup>:

یکی از پارامترهای مهندسی مهم در اجکتورها، نسبت

مکش<sup>۷</sup> می‌باشد که به صورت نسبت نرخ جریان جرمی ثانویه

به اولیه بیان می‌شود.

$$\mu = \frac{\dot{m}_{evap}}{\dot{m}_{gen}} \quad (7)$$

معادله بقای جرم نیز به صورت زیر درمی‌آید:

$$\dot{m}_{gen} + \dot{m}_{evap} = \dot{m}_{cond} \quad (8)$$

6. Ejector  
7. Entrainment ratio  
8. Nozzle  
9. Mixing section  
10. Diffuser

1. Generator  
2. Condenser  
3. Evaporator  
4. Expansion valve  
5. Pump

شبکه عصبی داده‌هایش را در این لایه ورودی دریافت می‌کند. تعداد نرون‌ها در لایه ورودی به تعداد ورودی‌های مدل بستگی دارد. هر داده ورودی به یک نرون در لایه ورودی نیاز دارد.

۲- لایه میانی یا لایه مخفی

لایه میانی بین دولایه ورودی و خروجی قرار دارد. یک شبکه عصبی می‌تواند چندین لایه میانی داشته باشد. این لایه باعث می‌شود که شبکه بیاموزد و آموخته‌های قبلی را به ورودی‌های جدید تعمیم دهد.

۳- لایه خروجی

شبکه برای هر داده ورودی، یک یا چند خروجی با توجه به ورودی مسئله، ارائه می‌دهد. نرون‌های خروجی لایه را به وجود می‌آورند که به لایه خروجی موسوم است.

### ۳-۲- الگوریتم پس انتشار خطا

معمول‌ترین نوع از انواع روش‌های آموزش شبکه عصبی چندلایه، روش پس انتشار خطا می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۴ نمایش داده شده است، ساختار شبکه عصبی چندلایه‌ای که در این پروژه مورد استفاده قرار گرفته است، دارای یک لایه ورودی، یک لایه پنهان و یک لایه خروجی است. متغیرهای  $M$ ،  $N$  و  $L$  به ترتیب تعداد کل نرون‌های لایه‌های ورودی، پنهان و خروجی را نمایش می‌دهند. مقادیر  $W_{MN}$  وزن‌های بین لایه ورودی و لایه پنهان و مقادیر  $W_{LM}$  وزن‌های بین لایه پنهان و لایه خروجی را نمایش می‌دهند. فرایند عملکرد روش پس انتشار خطا شامل سه مرحله است.

الف) مرحله پیش‌خور

$$v_j = W_{LN}(n) \times u_{j+1}(n) \quad (16)$$

$$o_j(n) = \varphi \left( v_j(n) \right) = \frac{2}{1 + \exp \left( -v_j(2n) \right)} \quad (17)$$

۵) بخش‌های مختلف اجکتور دارای بازده‌های

$$\eta_n = 0.85, \eta_m = 0.95 \text{ و } \eta_d = 0.85 \text{ می‌باشند.}$$

برای ساده‌سازی فرض شده است که مقادیر بازده‌های پمپ و اجکتور ثابت می‌باشند.

### ۳- بهینه‌سازی به کمک الگوریتم پرندگان و شبکه عصبی مصنوعی

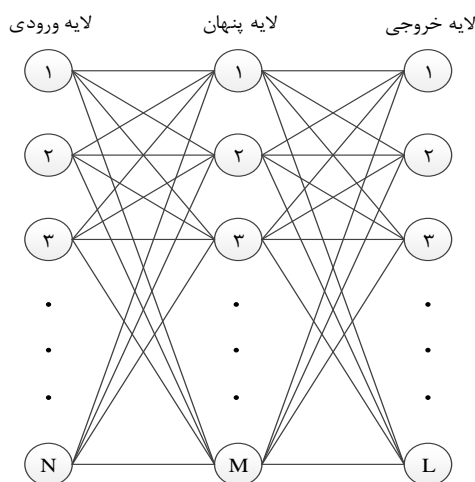
#### ۳-۱- شبکه عصبی

یک شبکه عصبی مصنوعی ایده‌ای است برای پردازش اطلاعات که از شبکه عصبی زیستی الهام گرفته شده است. پیاده‌سازی ویژگی‌های شگفت‌انگیز مغز در یک سیستم مصنوعی همیشه وسوسه‌انگیز و مطلوب بوده است. تحقیقات و علاقه‌مندی به شبکه‌های عصبی از زمانی شروع شد که مغز به‌عنوان یک سیستم دینامیکی با ساختار موازی و پردازشگری کاملاً مغایر با پردازشگرهای متداول شناخته شد. مغز به‌عنوان یک سیستم پردازش اطلاعات با ساختار موازی، از ۱۰۰ تریلیون ( $10^{11}$ ) نرون به هم مرتبط با تعداد ( $10^{16}$ ) ارتباط تشکیل شده است. نرون کوچک‌ترین واحد پردازشگر اطلاعات است که اساس عملکرد شبکه‌های عصبی را تشکیل می‌دهد. انواع ارتباط بین لایه‌ها و نیز ارتباط درون لایه‌ای انواع مختلفی از شبکه‌های عصبی را به وجود می‌آورد. در عمل با توجه به مسئله موردبررسی باید ساختاری مناسب با تعداد لایه‌ها و تعداد نرون‌های کافی در هر لایه به آن اختصاص داد.

شبکه‌های پرسپترون به‌ویژه پرسپترون‌های چندلایه که به شبکه‌های پیش‌خور چندلایه نیز مرسوم‌اند، در زمره کاربردی‌ترین شبکه‌های عصبی می‌باشند. این شبکه‌ها قادرند با انتخاب مناسب تعداد لایه و نرون‌ها که اغلب هم زیاد نیستند، یک نگاشت غیرخطی را به‌دقت دلخواه انجام دهند. یک شبکه پیش‌خور چندلایه حداقل از ۳ لایه اصلی تشکیل شده است:

۱- لایه ورودی

دارای یک سرعت است که هدایت حرکت ذره را بر عهده دارد. هر ذره با دنبال کردن ذرات بهینه در حالت فعلی، به حرکت خود در فضای مسئله ادامه می‌دهد.



شکل ۴- دیاگرام شماتیک شبکه عصبی پرسپترون چندلایه

در شروع الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان، گروهی از ذرات (راه‌حل‌ها) به صورت تصادفی به وجود می‌آیند و با به‌روز شدن در طی نسل‌ها سعی در یافتن راه‌حل بهینه می‌نمایند. در هر گام، هر ذره با استفاده از دو بهترین مقدار به‌روز می‌شود. اولین مورد، بهترین موقعیتی است که تاکنون ذره موفق به رسیدن به آن شده است. بهترین مقدار دیگری که توسط الگوریتم مورد استفاده قرار می‌گیرد، بهترین موقعیتی است که تاکنون توسط جمعیت ذرات به دست آمده است. در هر گام از اجرای الگوریتم پس از یافتن بهترین مقادیر، سرعت و مکان هر ذره به‌روز می‌شوند.

#### ۴- نتایج

##### ۴-۱- تحلیل سیکل تبرید اجکتوری فوق

##### بحرانی (TERC<sup>۲</sup>)

در ابتدا، برای اطمینان حاصل پیدا کردن از صحت نتایج به دست آمده مقایسه‌ای بین بخشی از نتایج به دست آمده در این مقاله با نتایج مرجع [۱۹] برای سیال عامل R134a صورت پذیرفته است. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، تطابق خوبی بین نتایج مشاهده می‌شود.

که  $O_j$  خروجی،  $u_j$  ورودی،  $u_{j+1}$  خروجی لایه پنهان و  $\phi$  یک تابع فعال‌ساز می‌باشد.

(ب) مرحله پس انتشار

$$\delta_j(n) = e_j(n) \times \phi'(v_j(n)) \quad (18)$$

که  $\delta_j$  نمایش‌دهنده تابع گرادیان محلی،  $e_j$  تابع خطا و  $d_j$  خروجی هدف می‌باشد.

(ج) بهبود مقادیر وزن‌ها

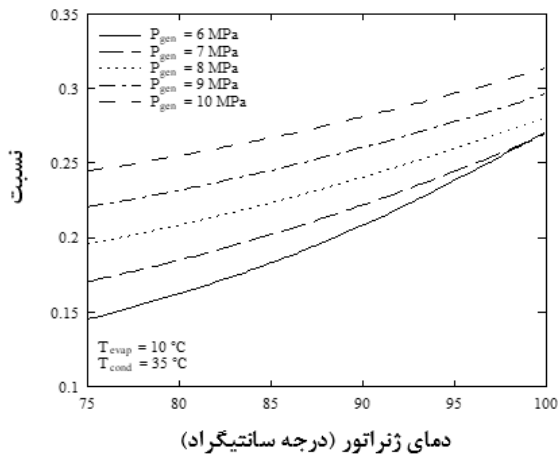
$$\begin{aligned} w_{NM}(n+1) &= w_{NM}(n) + \Delta w_{NM} \\ &= w_{NM}(n) + \eta \delta_j(n) o_j(n) \end{aligned} \quad (19)$$

که  $\eta$  نرخ آموزش است. با تکرار این سه مرحله مقدار تابع هدف صفر خواهد شد و یا به مقداری ثابت خواهد رسید [۱۷]. در این پژوهش در تمام لایه‌های شبکه عصبی از تابع فعال‌ساز تنسیگ<sup>۱</sup> استفاده شده است، که رابطه آن به صورت زیر است.

$$f(x) = 2 / (1 + \exp(-2x)) - 1 \quad (20)$$

##### ۳-۳- الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان

این روش یک تکنیک بهینه‌سازی فرا ابتکاری است که بر مبنای جمعیت کار می‌کند. این روش در سال ۱۹۹۵ توسط ابرهات و کندی ارائه شد [۱۸] و ایده اصلی آن از رفتار دسته‌جمعی پرندگان به هنگام جستجوی غذا الهام گرفته شده است. به این صورت که گروهی از پرندگان در یک فضای مشخص به صورت تصادفی به دنبال غذا می‌گردند. پرندگان برای یافتن محل غذا از دنبال کردن پرنده‌ای که کمترین فاصله را تا غذا دارد، استفاده می‌کنند. در الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان هر راه‌حل که به آن یک ذره گفته می‌شود معادل یک پرنده در الگوی حرکت جمعی پرندگان می‌باشد. هر ذره یک مقدار شایستگی دارد که توسط یک تابع شایستگی محاسبه می‌شود. هر چه ذره در فضای جستجو به هدف (غذا در مدل حرکت پرندگان) نزدیک‌تر باشد، شایستگی بیشتری دارد. همچنین هر ذره



شکل ۶- منحنی تغییرات نسبت مکش برحسب دمای ژنراتور برای مقادیر مختلف فشار ژنراتور برای سیال عامل R143a

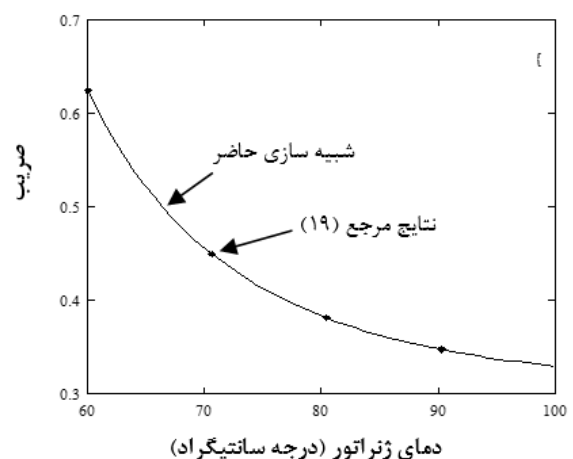
#### ۴-۲- روند بهینه‌سازی سیکل

فرآیند بهینه‌سازی سیکل تبرید اجکتوری فوق بحرانی با استفاده از روش ترکیبی هوش مصنوعی در این پژوهش شامل سه مرحله است. مرحله نخست شامل تحلیل ترمودینامیکی سیکل است که در بخش پیش صورت گرفت و نتایج آن مورد بحث و بررسی قرار گرفت. شکل‌های ۹ تا ۱۲ منحنی تغییرات ضریب عملکرد برحسب دمای خروجی ژنراتور به ازای مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده برای سیال عامل‌های مختلف نشان داده است. در بخش دوم از یک شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه برای تبدیل داده‌های ترمودینامیکی از حالت گسسته به حالت پیوسته استفاده شد. هدف از این کار تشکیل یک تابع هدف پیوسته می‌باشد که در بخش بهینه‌سازی مورد استفاده قرار گیرد. این عمل بر روی هر ۴ سیال عامل مورد بررسی صورت پذیرفت.

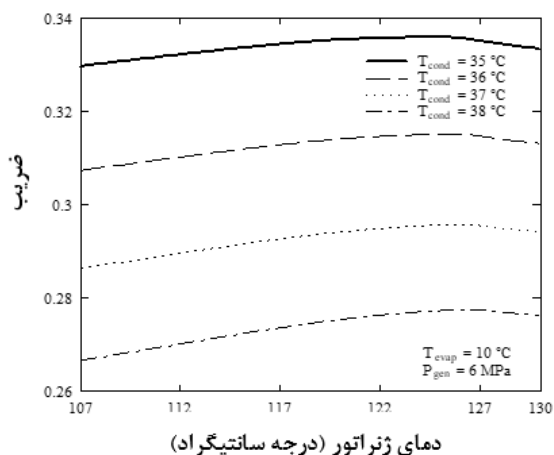
برای آموزش شبکه عصبی در این پژوهش از الگوریتم پس انتشار خطا که پیش‌تر توضیح داده شد استفاده گردید. فرایند آموزش شبکه عصبی در این پژوهش برای هر سیال عامل تا ۲۰۰۰ تکرار ادامه یافت. شبکه عصبی طراحی شده در این پژوهش شامل ۱ لایه ورودی، ۱ لایه میانی و یک لایه خروجی بود. تعداد نرون‌های لایه‌های ورودی، میانی و خروجی به ترتیب برابر با ۲، ۶ و ۱ بود. توابع فعال‌ساز بکار

شکل ۶ نشان‌دهنده‌ی اثرات تغییر در پارامترهای دما و فشار ژنراتور بر روی نسبت مکش در سیال عامل R143a می‌باشد. مشاهده می‌شود که با افزایش دما و فشار ژنراتور نسبت مکش نیز افزایش می‌یابد. به‌عنوان مثال در فشار ژنراتور ۶ مگا پاسکال، نسبت مکش در دمای ژنراتور ۷۵ درجه سانتی‌گراد از حدود ۰/۱۵ تا ۰/۲۵ در دمای ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تغییر خواهد کرد. همچنین، مشاهده می‌شود که تغییرات نسبت مکش در فشارهای ژنراتور پایین شتاب بیشتری را در بازه دمای ژنراتور مفروض در این مطالعه دارا می‌باشد.

اثرات تغییر در پارامترهای دما و فشار ژنراتور بر روی ضریب عملکرد برای سیال عامل R143a در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل قبل بیان شد، با افزایش دمای ژنراتور نسبت مکش نیز افزایش می‌یابد. بنابراین دبی جرمی سیال اولیه کاهش می‌یابد اما انتقال حرارت ژنراتور به ازای واحد جرم ژنراتور به دلیل افزایش دما، افزایش می‌یابد. نهایتاً انتقال حرارت ژنراتور افزایش می‌یابد و ضریب عملکرد کاهش می‌یابد و همان‌طور که نشان داده شده است با افزایش دمای ژنراتور، ضریب عملکرد چرخه نیز کاهش می‌یابد. همچنین، همان‌طور که مشخص است با افزایش فشار ژنراتور ضریب عملکرد چرخه نیز افزایش می‌یابد.



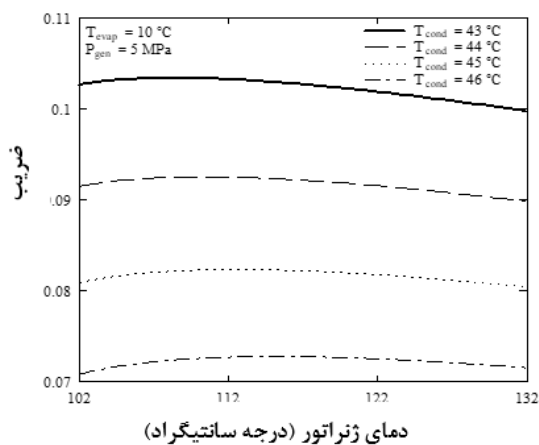
شکل ۵- اعتبارسنجی شبه‌سازی صورت پذیرفته در این مقاله با نتایج داده‌های مرجع [۱۹]



دمای ژنراتور (درجه سانتیگراد)

شکل ۱۰- منحنی تغییرات ضریب عملکرد برحسب دمای خروجی ژنراتور به ازای مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده برای سیال عامل R134a

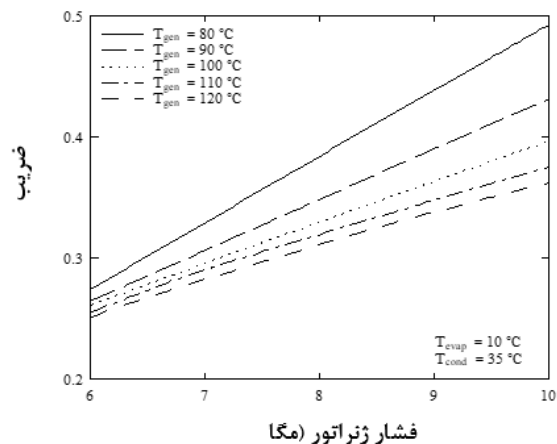
در الگوریتم پرندگان بکار رفته مقدار اندازه جمعیت برابر با ۷۸ و تعداد تکرار برابر با ۲۰۰ در نظر گرفته شد. مقادیر پارامتر شناختی، پارامتر اجتماعی و پارامتر انقباضی در الگوریتم پرندگان مورد استفاده در این پژوهش به ترتیب ۲، ۲ و ۱ در نظر گرفته شده است. در شکل‌های ۱۳ تا ۱۶ فرایند آموزش شبکه عصبی به کمک الگوریتم پس انتشار خطا برای ۴ سیال عامل مورد بررسی نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که رابطه متوسط مربعات خطا بصورت  $MSE = (1/n) \sum_{i=1}^n (o_i - t_i)^2$  تعریف می‌شود که  $n$  تعداد داده‌ها،  $o_i$  خروجی شبکه عصبی و  $t_i$  خروجی هدف می‌باشد.



دمای ژنراتور (درجه سانتیگراد)

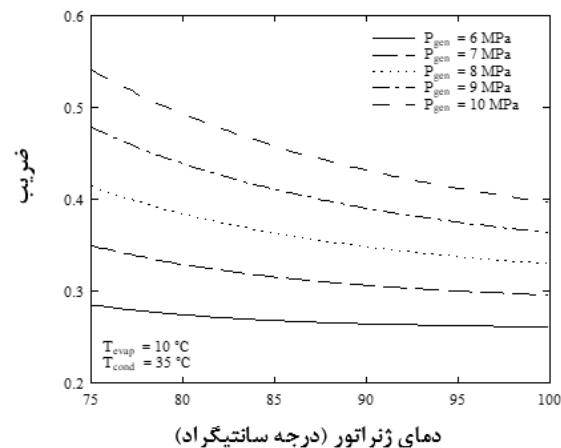
شکل ۱۱- منحنی تغییرات ضریب عملکرد برحسب دمای خروجی ژنراتور به ازای مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده برای سیال عامل R143a

رفته در لایه پنهان و لایه خروجی تابع تنسیگ می‌باشد که در رابطه شماره (۲۱) بیان گردید.



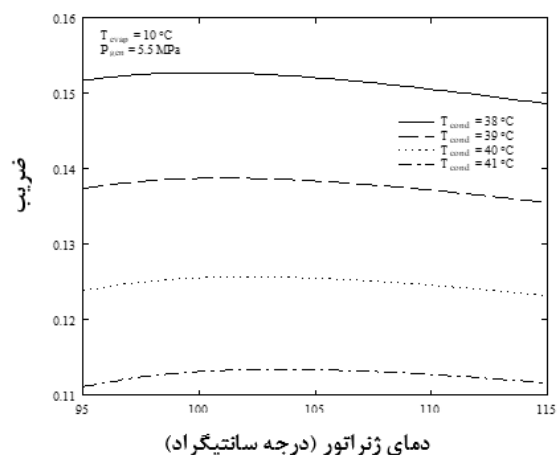
فشار ژنراتور (مگا)

شکل ۷- منحنی تغییرات ضریب عملکرد برحسب فشار ژنراتور برای مقادیر مختلف دمای ژنراتور برای سیال عامل R143a



دمای ژنراتور (درجه سانتیگراد)

شکل ۸- منحنی تغییرات ضریب عملکرد برحسب دمای ژنراتور برای مقادیر مختلف فشار ژنراتور برای سیال عامل R143a

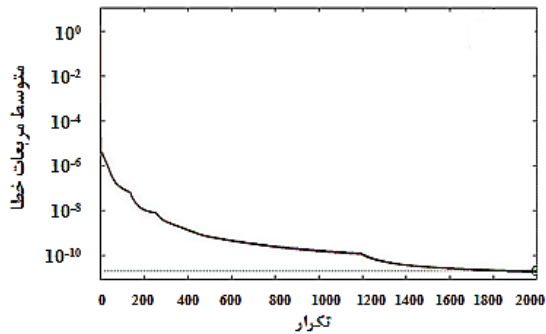


دمای ژنراتور (درجه سانتیگراد)

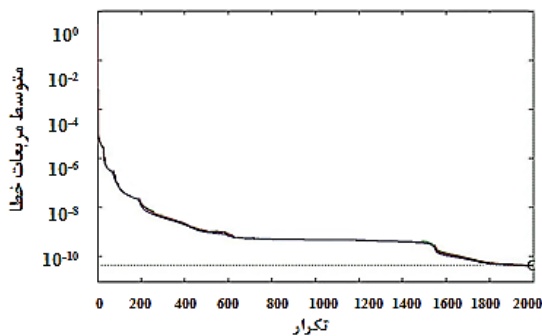
شکل ۹- منحنی تغییرات ضریب عملکرد برحسب دمای خروجی ژنراتور به ازای مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده برای سیال عامل R125



داده شده است. در فرایند بهینه‌سازی به کمک هوش مصنوعی از نرم‌افزار متلب<sup>۱</sup> استفاده شده است.



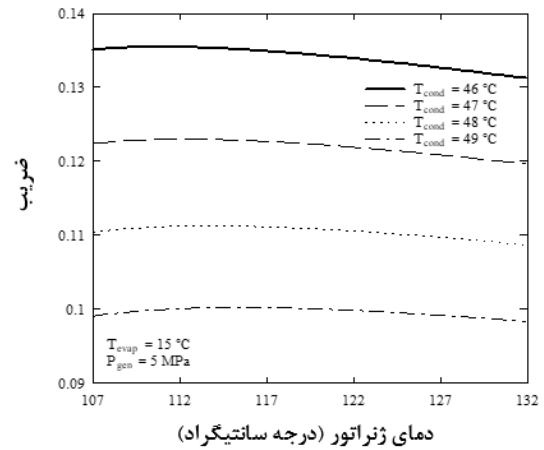
شکل ۱۵- فرایند آموزش دهی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا به کمک نرم‌افزار متلب برای R143a



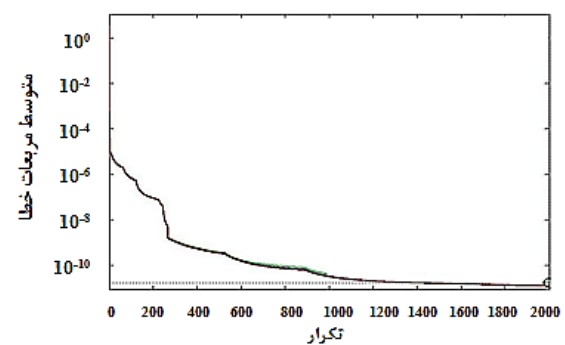
شکل ۱۶- فرایند آموزش دهی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا به کمک نرم‌افزار متلب برای R502

### ۳-۴- نتایج بهینه‌سازی

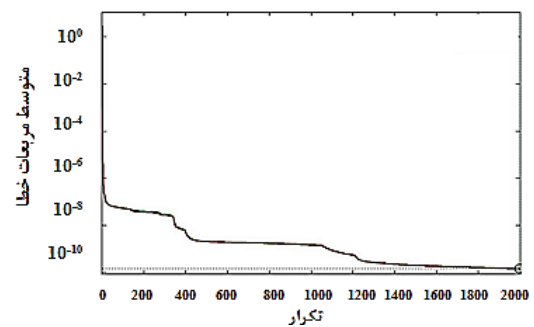
با بررسی نمودارهای ۱۷ تا ۲۰ فرایند بهینه‌سازی ضریب عملکرد سیکل مورد بررسی مشاهده می‌شود. همان‌طور که برای سیال عامل R125 در شکل ۱۷ مشاهده می‌شود، مقدار بیشینه ضریب عملکرد دست‌یافته شده برابر با ۰/۲۰۱ می‌باشد. شکل ۱۸ مقدار بهینه سیکل را با سیال عامل R134a نشان می‌دهد. مقدار بیشینه ضریب عملکرد دست‌یافته شده برای R134a برابر با ۰/۴۳۶ می‌باشد. همچنین همان‌طور که برای سیال عامل R143a در شکل ۱۹ مشاهده می‌شود مقدار بیشینه ضریب عملکرد دست‌یافته شده برابر با ۰/۱۴ می‌باشد. شکل ۲۰ مقدار بهینه سیکل را با سیال عامل R502 نشان می‌دهد. مقدار



شکل ۱۲- منحنی تغییرات ضریب عملکرد بر حسب دمای خروجی ژنراتور به ازای مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده برای سیال عامل R502



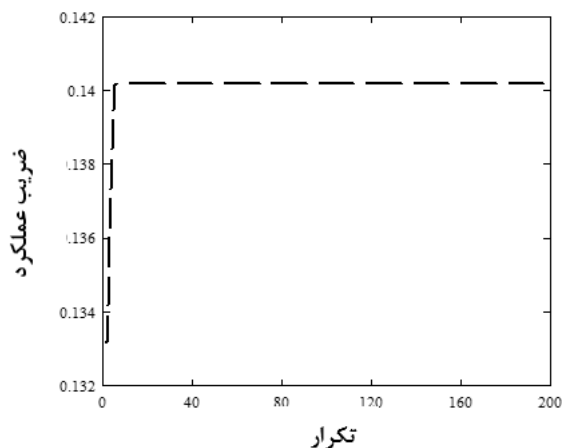
شکل ۱۳- فرایند آموزش دهی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا به کمک نرم‌افزار متلب برای R125



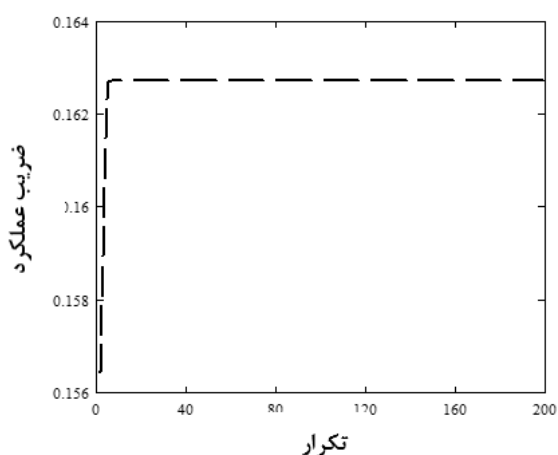
شکل ۱۴- فرایند آموزش دهی شبکه عصبی مصنوعی با استفاده از الگوریتم پس انتشار خطا به کمک نرم‌افزار متلب برای R134a

همچنین در شکل‌های ۱۷ تا ۲۰ فرایند بهینه‌سازی به کمک الگوریتم پرنده‌گان که در نهایت منجر به دستیابی به ضریب عملکرد بهینه برای سیکل مورد بررسی است نمایش

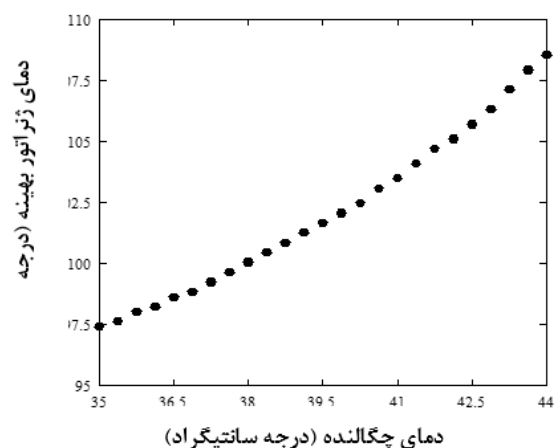
1. MATLAB Commercial Software



شکل ۱۹- تکرارهای متعدد فرایند بهینه‌سازی الگوریتم پرندگان با استفاده از نرم‌افزار متلب برای سیال عامل R143a

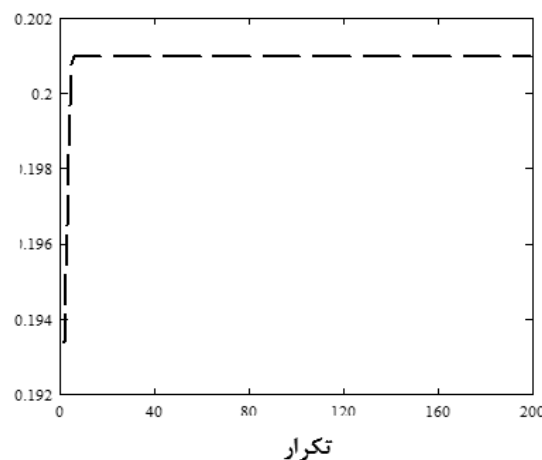


شکل ۲۰- تکرارهای متعدد فرایند بهینه‌سازی الگوریتم پرندگان با استفاده از نرم‌افزار متلب برای سیال عامل R502



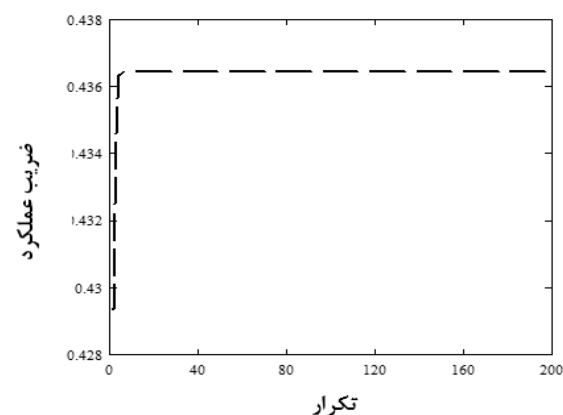
شکل ۲۱- منحنی تغییرات دمای خروجی از ژنراتور بهینه برحسب مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده به منظور دستیابی به حداکثر ضریب عملکرد برای سیال عامل R125

بیشینه ضریب عملکرد دست‌یافته شده برای R502 برابر با ۰/۱۶۳ می‌باشد.



شکل ۱۷- تکرارهای متعدد فرایند بهینه‌سازی الگوریتم پرندگان با استفاده از نرم‌افزار متلب برای سیال عامل R125

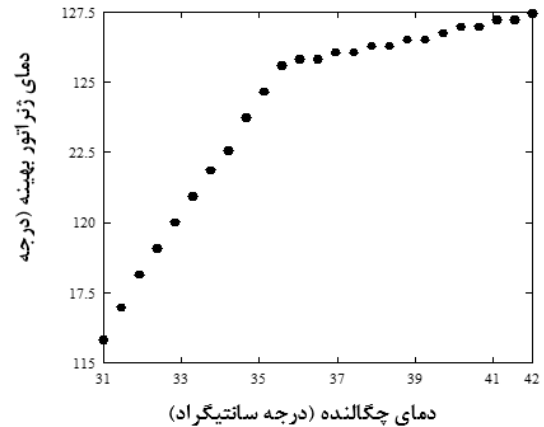
در این پژوهش همچنین ۴ نمودار دیگر بر اساس نتایج بهینه‌سازی سیکل ارائه شده است که به شرح زیر است. همان‌طور که در شکل ۲۱ مشاهده می‌شود منحنی تغییرات دمای خروجی از ژنراتور بهینه برحسب مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده به منظور دستیابی به حداکثر ضریب عملکرد برای سیال عامل R125 رسم گردیده است. به عبارات دیگر در این شکل مقادیر دمای خروجی ژنراتور در حالتی که ضریب عملکرد بیشینه است برحسب دمای خروجی از چگالنده رسم گردیده است.



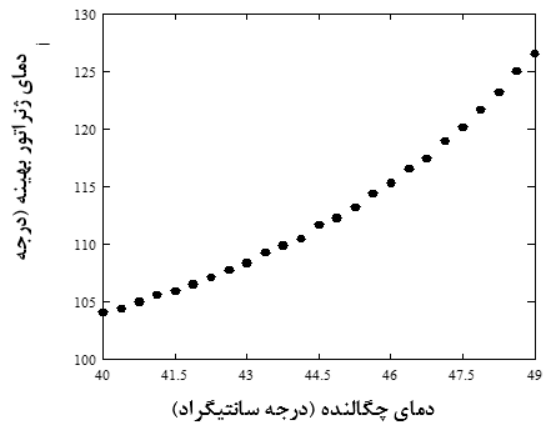
شکل ۱۸- تکرارهای متعدد فرایند بهینه‌سازی الگوریتم پرندگان با استفاده از نرم‌افزار متلب برای سیال عامل R134a

### ۵- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

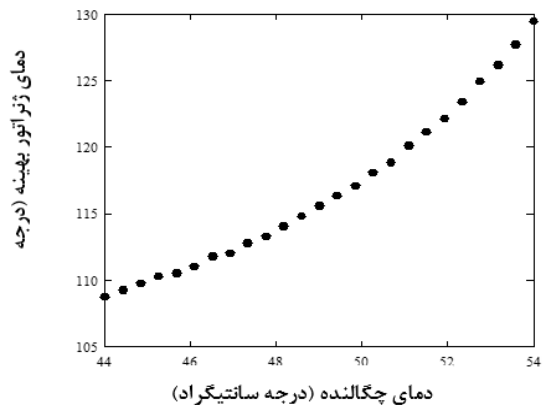
در این مقاله، در گام اول مدلی ریاضی برای تحلیل پارامتری سیکل تبرید اجکتوری فوق بحرانی همراه با سیال عامل‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار EES بر مبنای قوانین اول و دوم ترمودینامیک ارائه شده است. در ادامه، اثرات پارامترهای مختلف مانند دما و فشار نقاط مختلف سیکل بر روی ضریب عملکرد و نسبت مکش موردبررسی قرار گرفته شده است. در گام دوم این پژوهش از ترکیب شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان برای بهینه‌سازی ضریب عملکرد سیکل مفروض برای ۴ سیال عامل مختلف استفاده شده است. در این پژوهش از شبکه عصبی مصنوعی برای تبدیل داده‌های ترمودینامیکی از حالت گسسته به پیوسته و در نتیجه تشکیل تابع هدفی پیوسته استفاده شد و سپس از الگوریتم بهینه‌سازی پرندگان برای بهینه‌سازی تابع هدف ایجاد شده استفاده گردید. سپس مقادیر بیش‌ترین ضریب عملکردها برای ۴ سیال عامل بکار رفته در این پژوهش، R502، R125، R134a، R143a، به دست آمد.



شکل ۲۲- منحنی تغییرات دمای خروجی از ژنراتور بهینه برحسب مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده به‌منظور دستیابی به حداکثر ضریب عملکرد برای سیال عامل R134a



شکل ۲۳- منحنی تغییرات دمای خروجی از ژنراتور بهینه برحسب مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده به‌منظور دستیابی به حداکثر ضریب عملکرد برای سیال عامل R143a



شکل ۲۴- منحنی تغییرات دمای خروجی از ژنراتور بهینه برحسب مقادیر مختلف دمای خروجی چگالنده به‌منظور دستیابی به حداکثر ضریب عملکرد برای سیال عامل R502

## ۶- مراجع

- [1] G. Lorentzen, (1994) "Revival of Carbon Dioxide as a Refrigerant". International Journal of Refrigeration, vol. 17, No. 5, pp. 292-301.
- [2] J. Yu, J., H. Chen, H., Y. Ren, and Y. Li, (2006) "A New Ejector Refrigeration System with an Additional Jet Pump". Applied Thermal Engineering, Vol. 26, No. 2, pp. 312-319.
- [3] M. Nakagawa, and H. Takeuchi, (1998) "Performance of Two Phase Ejector in Refrigeration Cycle", presented at the Proceedings of 3rd International Conference on Multiphase Flow, France.
- [4] B. Zheng, and Y. Weng, (2010) "A Combined Power and Ejector Refrigeration Cycle for Low Temperature Heat Sources". Solar Energy, Vol. 84, No. 5, pp. 784-791.
- [5] D. Hong, G. Chen, L. Tang, and Y. He, (2011) "A Novel Ejector-Absorption Combined Refrigeration Cycle". International Journal of Refrigeration, Vol. 34, No.7, pp. 1596-1603.
- [6] N. Al-Khalidy, (1998) "An Experimental Study of an Ejector Cycle Refrigeration Machine Operating on R113: Etude Expérimentale D'une Machine Frigorifique à Ejecteur au R113". International Journal of Refrigeration, Vol. 21, No. 8, pp. 617-625.
- [7] D. W. Sun, (1999) "Comparative Study of the Performance of an Ejector Refrigeration Cycle Operating with Various Refrigerants". Energy Conversion and Management, Vol. 40, No. 8, pp. 873-884.
- [8] J. Yu, G. Tian, and Z. Xu, (2009) "Exergy Analysis of Joule-Thomson Cryogenic Refrigeration Cycle with an Ejector". Energy, Vol. 34, No. 11, pp. 1864-1869.
- [9] R. Yapıcı, (2008) "Experimental Investigation of Performance of Vapor Ejector Refrigeration System Using Refrigerant R123". Energy Conversion and Management, Vol. 49, No. 5, pp. 953-961.
- [10] J. Chen, and Z. Yan, (1988) "Optimal Performance of an Endoreversible-Combined Refrigeration Cycle". Journal of Applied Physics, Vol. 63, No. 10, pp. 4795-4798.
- [11] M. Rashidi, N. Galanis, F. Nazari, A. Basiri Parsa, and L. Shamekhi, (2011) "Parametric Analysis and Optimization of Regenerative Clausius and Organic Rankine Cycles with Two Feedwater Heaters Using Artificial Bees Colony and Artificial Neural Network". Energy, Vol. 36, No. 9, pp. 5728-5740.
- [12] K. Atashkari, N. Nariman-Zadeh, A. Pilechi, and A. Jamali, X. Yao, (2005) "Thermodynamic Pareto Optimization of Turbojet Engines Using Multi-Objective Genetic Algorithms", International Journal of Thermal Sciences, Vol. 44, No. 11, pp. 1061-1071.
- [۱۳] زارع، بعنونی و قنبرزاده (۱۳۹۱)، "طراحی بهینه مبدل گرمایی صفحه‌ای پره‌دار با روش الگوریتم بهینه‌سازی زنبور عسل"، مجله مهندسی مکانیک مدرس، سال ۱۲، شماره ۵، صفحه ۲۲-۲۹.
- [۱۴] جعفری، بهبهانی نیا و انگارنویس (۱۳۹۱)، "بهینه‌سازی دو هدفه تولید گرمایش از تلفات نیروگاه‌های سیکل ترکیبی"، مجله مهندسی مکانیک مدرس، سال ۱۲، شماره ۴، صفحه ۱۲۰-۱۳۲.
- [15] M. Rashidi, M. Ali, N. Freidoonimehr, and F. Nazari, (2013) "Parametric Analysis and Optimization of Entropy Generation in Unsteady MHD Flow Over a Stretching Rotating Disk Using Artificial Neural Network and Particle Swarm Optimization Algorithm". Energy, Vol. 55, pp. 497-510.
- [16] M. Rashidi, O. Anwar Bég, A. Basiri Parsa, and F. Nazari, (2011) "Analysis and Optimization of a Transcritical Power Cycle with Regenerator Using Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy, Vol. 225, No. 6, pp. 701-717.
- [17] J. Wu, and J. Chan, (2009) "Faulted Gear Identification of a Rotating Machinery Based on Wavelet Transform and Artificial Neural Network", Expert Systems with Applications, Vol. 36, No. 5, pp. 8862-8875.
- [18] J. Kennedy, and R. Eberhart, (1995) "Particle Swarm Optimization", IEEE International Conference on Neural Networks: Proceedings, the University of Western Australia, Perth, Western Australia.

- [19] J. Yu, and Z. Du, (2010) "Theoretical Study of a Transcritical Ejector Refrigeration Cycle with Refrigerant R143a", *Renewable Energy*, Vol. 35, No. 9, pp. 2034-2039.