

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۵/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۳۰

بهینه‌سازی چندهدفه عملکرد یک هواگرمن خورشیدی به همراه فین و بافل و بازچرخش با کمک الگوریتم ژنتیک

امین قلعه‌نوئی^۱، مجید سبزویشانی^{۲*}

^۱ دانشجوی دکتری، گروه تبدیل انرژی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

amin.ghalenoiei95@gmail.com

^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک و پژوهشگاه انرژی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

spooshan@kntu.ac.ir

چکیده: تمرکز کار حاضر بر روی عملکرد انرژی، انرژی و بهینه‌سازی پارامترهای یک هواگرمن خورشیدی به همراه فین، بافل و بازچرخش خارجی است. تأثیر پارامترهای هندسی و عملیاتی بر روی راندمان مؤثر و انرژی هواگرمن به صورت تئوری مورد تحلیل قرار گرفته است. معادلات تعادل انرژی و انرژی توسط کد توسعه‌یافته با استفاده از MATLAB حل شده است. علاوه بر این الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی طراحی و عملکرد پارامترهای هواگرمن خورشیدی به کار رفته است. فاصله بین فین‌ها (تعداد فین)، طول بافل، فاصله بین بافل‌ها و نسبت بازچرخش پارامترهایی است که مقادیر بهینه آن‌ها در اعداد رینولدز و تابش‌های مختلف با هدف رسیدن به بیشینه راندمان مؤثر و انرژی به دست آمد. مشخص شده است که استفاده از فین و بافل و بازچرخش در یک کلکتور خورشیدی صفحه‌تخت باعث بهبود راندمان گرمایی در تمامی حالات می‌شود. با این حال، با افزایش مقادیر دبی جرمی قدرت اضافی لازم برای غلبه بر افت فشار ممکن است عملکرد هواگرمن را از منظر انرژی و انرژی تخریب کند. بیشینه راندمان مؤثر و انرژی به دست آمده برای رینولدزهای مختلف به ترتیب برابر ۶۴/۱۵٪ و ۶۳/۳۴٪ است که در تابش 1200 W/m^2 حاصل شد. نتایج شبیه‌سازی مدل حاضر برای کلکتور پیشنهادی با مدل‌های موجود در منابع تأیید شده و مطابقت خوبی دارد.

واژه‌های کلیدی: هواگرمن خورشیدی، فین و بافل، بازچرخش، بهینه‌سازی، انرژی، الگوریتم ژنتیک.

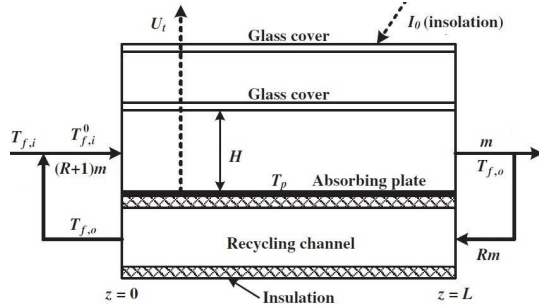
۱. مقدمه

بازچرخش تکنیک دیگری است که با افزایش سرعت جریان درون کانال، ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی میان صفحه جاذب و سیال عبوری و متعاقب آن نرخ انتقال حرارت را افزایش می‌دهد. محمدی و سبزویشانی تأثیر اضافه کردن بازچرخش به یک کلکتور بالاگذر به‌همراه فین و بافل را بررسی کردند؛ نتایج نشان داد راندمان گرمایی در حالتی که فین و بافل و بازچرخش همزمان به کار برده می‌شوند، بیشترین مقدار را دارد اما راندمان مؤثر برای همین ترکیب در دبی‌ها و نسبت بازچرخش بالا کمترین مقدار را داراست [۸]. هو و همکاران از بازچرخش در یک کلکتور هواگرمن دوگذره با صفحه جاذب چین‌دار استفاده کردند که هوا از بالا و پایین صفحه جاذب عبور می‌کرد [۹]. سینگ و دیمان بازچرخش را به یک کلکتور با بستر فشرده اضافه کردند و عملکرد آن را به‌صورت تئوری و تجربی بررسی نمودند [۱۰]. سینگ عملکرد یک کلکتور هواگرمن را با دو کانال با سطح مقطع‌های نیم‌دایروی و مثلثی را تحت عملیات بازچرخش بررسی کرد [۱۱]. مشخص شد استفاده از بازچرخش در هر دو مدل باعث افزایش راندمان کلکتور می‌شود. همچنین مشخص شد راندمان کلکتور با سطح مقطع نیم‌دایره به‌همراه بازچرخش ۳٪ بیشتر از راندمان کلکتور با سطح مقطع مثلث و بازچرخش است. این افزایش برای سطح مقطع مثلثی بدون بازچرخش ۱۷٪ است.

به‌منظور ایجاد توازن میان کیفیت انرژی به‌دست‌آمده و تلفات ناشی از اصطکاک که معمولاً هنگام استفاده از تکنیک‌های بهبود عملکرد رخ می‌دهد، تجزیه و تحلیل آگزرژی در مقایسه با تجزیه و تحلیل انرژی روش مناسب‌تری است. این تجزیه و تحلیل می‌تواند به‌عنوان روشی مفید برای تکمیل تجزیه و تحلیل انرژی در نظر گرفته شود [۱۲]. آگزرژی (یا در دسترس بودن) حداکثر پتانسیل کاری است که می‌تواند از یک نوع انرژی حاصل شود. ثابت شده است که آگزرژی ابزاری قدرتمند در طراحی، بهینه‌سازی و ارزیابی عملکرد سیستم‌های انرژی است [۱۳]. از این‌رو محققان توجه بسیاری به بررسی عملکرد مبتنی بر آگزرژی هواگرمن‌های خورشیدی نشان داده‌اند. ساراواناکومار و همکاران کلکتور با لبه‌های هلالی به‌همراه فین و بافل را از دید آگزرژی مطالعه کردند [۱۴]. لوان و فو به‌کمک داده‌های تجربی روابط مربوط به عدد ناسلت و ضریب اصطکاک را برای یک کلکتور با بافل‌های شیب‌دار به دست آوردند. همچنین عملکرد این کلکتور بر مبنای آگزرژی مورد تحلیل قرار گرفت [۱۵]. برخی پژوهشگران در مورد طراحی بهینه هواگرمن‌های خورشیدی تحقیق کرده‌اند. کالوگیرو از ترکیب شبکه‌های عصبی مصنوعی و الگوریتم‌های ژنتیک برای بهینه‌سازی سیستم انرژی خورشیدی با هدف به حداکثر رساندن منافع

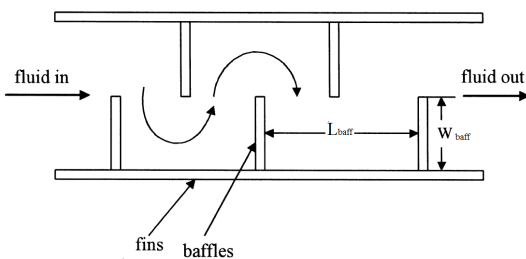
در بین انواع مختلف سیستم‌های خورشیدی، هواگرمن‌ها به‌دلیل سادگی در طراحی و نگهداری و همچنین کم‌هزینه بودن ساخت، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما نرخ پایین انتقال حرارت بین صفحه جاذب‌کننده تابش و جریان هوای عبوری که ناشی از خواص نامطلوب حرارتی-فیزیکی هواس است باعث کاهش بهره‌وری آن‌ها شده است [۱]. از این‌رو دانشمندان مطالعات خود را بر روی استراتژی‌های متنوع بهبود عملکرد متمرکز کردند. نشان داده شده است که اتصال فین‌ها و بافل‌ها روی صفحه جاذب تکنیکی مؤثر برای افزایش نرخ انتقال حرارت درون هواگرمن‌های خورشیدی است که به‌وسیله گسترش ناحیه تبادل حرارت میان صفحه جاذب و هوای عبوری و همچنین ایجاد تلاطم بیشتر در جریان صورت می‌گیرد. محمدی و سبزویشانی تأثیر اضافه کردن فین و بافل بر روی صفحه جاذب را بر عملکرد یک کلکتور بالاگذر به‌صورت عددی بررسی کردند [۲]؛ مشخص شد استفاده از فین و بافل باعث افزایش قابل توجه دمای خروجی و راندمان گرمایی نسبت به یک کلکتور ساده می‌شود اما افزایش تعداد فین‌ها و پارامترهای بافل ممکن است منجر به این شود که راندمان مؤثر کلکتور حتی از راندمان کلکتور ساده نیز کمتر شود. ساراواناکومار و همکاران به تحلیل گرمایی و هیدرولیکی استفاده همزمان لبه‌های هلالی به‌همراه فین و بافل در یک کلکتور هواگرمن پرداختند و تأثیر آن را بر روی راندمان گرمایی و راندمان مؤثر کلکتور بررسی کردند [۳]؛ مشخص شد با اضافه کردن فین و بافل، راندمان گرمایی و مؤثر کلکتور با لبه‌های هلالی به ترتیب ۲۸/۳ و ۲۷/۱٪ افزایش می‌یابد. موقعیت بافل درون یک کلکتور هواگرمن به‌منظور بررسی تأثیر آن بر روی عملکرد گرمایی و هیدرولیکی به‌صورت عددی و تجربی توسط شرف‌الدین و همکاران مورد مطالعه قرار گرفت. ۴ ترکیب مختلف بافل در رینولدزهای مختلف در نظر گرفته شد و مطالعه عددی بر روی آن صورت پذیرفت. مدل تجربی نیز برای صحت‌سنجی مدل عددی طراحی و ساخته شد. مشخص شد جانمایی صحیح بافل‌ها به‌شدت عملکرد ترموهیدرولیک کلکتور را بهبود می‌بخشد [۴]. هو و همکاران با اضافه کردن سوراخ‌هایی بر روی بافل تلاش نمودند عملکرد کلکتور به‌همراه بافل را بهبود ببخشند. آن‌ها برای این کار از اصول دیوارهای بادشکن استفاده کردند [۵]. تأثیر بافل موجی بر راندمان گرمایی کلکتور هواگرمن توسط فیوک و دانکوفسکی به‌صورت تجربی بررسی شد [۶]. هو و همکاران مشخص کردند پهنای اولین کانالی که توسط بافل درون کلکتور ایجاد می‌شود، تأثیر شگرفی بر روی راندمان گرمایی دارد درحالی‌که بر روی افت فشار تأثیر کمی می‌گذارد [۷].

بازچرخش خارجی کار می‌کند، در شکل (۱) نشان داده است. هواگرم‌کن در نظر گرفته‌شده شامل یک صفحه جاذب تخت می‌شود که به آن فین و بافل متصل شده است. همچنین از دو پوشش شیشه‌ای استفاده شده است تا میزان تلفات به هوای محیط از بالای کلکتور کاهش یابد. علاوه بر این یک کانال بازچرخش وجود دارد که به‌خوبی عایق شده و به‌همراه آن یک دستگاه بازچرخش در انتهای کانال بالایی قرار گرفته است. ترکیب صفحه جاذب و شیشه پایینی یک کانال ایجاد می‌کند که هوا با دبی \dot{m} و دمای $T_{f,i}$ از درون آن عبور می‌کند و به‌وسیله تابش خورشیدی جذب‌شده گرم می‌شود.



شکل (۱): طرح‌واره کلکتور بالاگذر به‌همراه بازچرخش

بخشی از هوایی که از کانال بالایی خارج می‌شود، به‌طرف کانال پایینی که کاملاً عایق است هدایت می‌شود. بعد از عبور از کانال پایینی، هوا با دبی $R\dot{m}$ و دمای $T_{f,o}$ پیش از اینکه برای بار دوم وارد کانال بالایی شود، با هوای ورودی مخلوط می‌شود. این کار باعث می‌شود که هوا با دبی $(1+R)\dot{m}$ و دمای $T_{f,i}^R$ وارد کانال بالایی شود و سپس این چرخه تکرار می‌شود. شکل (۲) طرح‌واره صفحه جاذب به‌همراه فین و بافل را نشان می‌دهد. فین‌ها و بافل‌های متصل شده به آن‌ها سطح تبادل حرارت را افزایش می‌دهند و همچنین منجر به افزایش اغتشاش درون کانال می‌شوند که در نتیجه انتقال حرارت از صفحه جاذب به هوا افزایش می‌یابد. عرض بافل‌ها (W_{baff}) و فاصله بین بافل‌ها (L_{baff}) دو پارامتر اصلی در بافل‌ها هستند.



شکل (۲): طرح‌واره صفحه جاذب به‌همراه فین و بافل

۲.۱. مدل‌سازی ریاضی و معادلات حاکم

در این بخش، معادلات حاکم بر کلکتور هواگرم به‌صورت یک‌بعدی و

اقتصادی آن استفاده کرده است [۱۶]. چنگ و لین از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی هندسی کولرهای حرارتی در یک حجم محدود استفاده کردند [۱۷]. وارون و همکاران از الگوریتم ژنتیک برای یافتن پارامترهای بهینه تنظیم‌شده برای به دست آوردن بهترین عملکرد حرارتی هواگرم‌کن خورشیدی استفاده کردند [۱۸]. متغیرهای بهینه‌سازی شامل عدد رینولدز، ضریب صدور جاذب، زاویه شیب و تعداد پوشش‌های شیشه‌ای بود. در محاسبه عملکرد حرارتی قدرت فن در نظر گرفته نشده بود. سیدارتها و همکاران از الگوریتم PSO برای بهینه‌سازی عملکرد کلکتور استفاده کردند [۱۹]. انصاری و بازرگان به‌صورت تجربی اثرات دنده‌های متوالی را بر روی عملکرد کلکتور هواگرم بررسی کردند [۲۰]. از روی معادلات نیمه‌تجربی، یک مدل برای کلکتور توسعه داده شد. سپس با کمک الگوریتم ژنتیک بهترین مقدار پارامترهای مؤثر را یافتند. دو تابع هدف در نظر گرفته شد که شامل راندمان مؤثر و یک اختلاف دمای معین می‌شد. کشاورزاده و احمدی از بهینه‌سازی چندهدفه با توجه به راندمان آگزرژی و نرخ کل هزینه به‌عنوان دو تابع هدف برای یک سیستم جدید تولید همزمان برق، گرما و سرما استفاده کردند [۲۱]. دزان و همکاران به تحلیل حساسیت پارامتری و بهینه‌سازی یک هواگرم‌کن خورشیدی به‌همراه چندین ردیف مغشوش‌کننده طولی پرداختند [۲۲].

با مروری بر کارهای گذشته مشخص می‌شود تاکنون تلاش‌های چندانی در راستای بهینه‌سازی رفتار هواگرم‌کن خورشیدی صورت نگرفته و در میان محدود کارهای موجود هم، در هیچ‌کدام همزمان از راندمان مؤثر و راندمان قانون دوم به‌عنوان توابع هدف استفاده نشده است. در مطالعه حاضر ابتدا یک مدل ریاضی برای ارزیابی رفتار یک هواگرم‌کن خورشیدی بالاگذر با بازچرخش خارجی در حالت پایدار به‌کمک کد MATLAB توسعه داده شده و به‌کمک آن تأثیر پارامترهایی نظیر نسبت بازچرخش، فاصله بین فین‌ها (تعداد فین‌ها)، عرض و فاصله بین بافل‌ها بر روی راندمان انرژی و آگزرژی کلکتور ارزیابی می‌شود. همچنین از پتانسیل الگوریتم ژنتیک برای برآورد بهترین عملکرد کلکتور سیستم خواهد شد. هدف از انجام تحقیق حاضر یافتن بهترین مقادیر پارامترهای اشاره‌شده برای رسیدن همزمان به بالاترین عملکرد انرژی و آگزرژی برای هواگرم‌کن خورشیدی در مقادیر مختلف عدد رینولدز و شدت تابش است. این کار یک ایده مناسب را برای تنظیمات واقعی ارائه می‌دهد.

۲. مدل‌سازی ریاضی

طرح‌واره یک هواگرم‌کن خورشیدی به‌همراه فین و بافل که تحت یک

معادله (۷) توزیع درجه حرارت توده سیال در طول جریان است. دمای سیال در خروجی به آسانی با جایگزین کردن شرایط $T_f = T_{f0}$ ، در $z = L$ به دست می آید.

۱.۱.۲. ضرایب انتقال حرارت

ضریب انتقال حرارت کلی U_L مجموع ضرایب انتقال حرارت از بالا و پایین کلکتور است:

$$U_L = U_T + U_b \quad (9)$$

انتقال حرارت جابه جایی از پایین کلکتور با وجود عایق به این صورت محاسبه می شود:

$$U_b = k_{ins} / \delta_{ins} \quad (10)$$

یک معادله تجربی برای ضریب اتلاف از بالای کلکتور خورشیدی به محیط توسط کلاین توسعه داده شده است [۱۸]:

$$U_t = \left\{ \frac{2(T_p / 520)}{\left[\frac{T_p - T_a}{2 + f} \right]^{0.43(1-100/T_p)} + \frac{1}{h_w}} \right\}^{-1} + \frac{\sigma(T_p + T_a)(T_p^2 + T_a^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p + 2 \times 0.00591 h_w} + \frac{2 \times 2 + f - 1 + 0.133 \varepsilon_p}{\varepsilon_g} - 2} \quad (11)$$

که در آن

$$f = (1 + 0.089 h_w - 0.1166 h_w \varepsilon_p)(1 + 0.07866 \times 2) \quad (12)$$

ضریب انتقال حرارت جابه جایی برای جریان هوای عبوری از روی سطح بیرونی پوشش شیشه ای به سرعت باد بستگی دارد. مک آدامز نتایج تجربی را به این شکل به دست آورد [۲]:

$$h_w = 5.7 + 3.8 V_w \quad (13)$$

که در آن واحدهای h_w و V به ترتیب W/m^2K و m/s هستند.

ضریب انتقال حرارت جابه جایی برای جریان آرام و همچنین جریان آشفتنه کاملاً توسعه یافته درون کانال به ترتیب از روابط (۱۴) و (۱۵) تخمین زده می شود [۸]:

$$Nu = \frac{h D_h}{k_f} = 4.4 + \frac{0.00398 (0.7 Re D_h / L)^{1.66}}{1 + 0.0114 (0.7 Re D_h / L)^{1.12}} \quad (14)$$

$$Nu = \frac{h D_h}{k_f} = 0.0158 Re^{0.8} \quad (15)$$

طول مشخصه قطر معادل مجراست که برای کانال ساده و کانال همراه با فین به ترتیب به این شکل می شوند:

$$D_h = \frac{4HB}{2(B+H)} \quad (16)$$

در جهت جریان در حالت پایا ارائه می شود. معادلات تعادل انرژی برای صفحه جاذب و هوای عبوری تحت این فرضیات در نظر گرفته شد: الف. ظرفیت گرمایی صفحه جاذب و عایقها قابل صرف نظر کردن است؛ ب. نشتی هوا از درون کلکتور و تلفات از گوشه ها قابل صرف نظر کردن است؛ ج. هوا و شیشه ها تشعشع خورشید را جذب نمی کنند؛ د. دمای هوا فقط در راستای جریان تغییر می کند. بر اساس فرضیات بالا، معادلات تعادل انرژی حالت پایدار صفحه جاذب و سیال به ترتیب بدین شرح است:

$$I \tau_g^2 \alpha_p = \phi h_{c,p,f} (T_p - T_f) + U_t (T_p - T_a) + U_b (T_p - T_a) \quad (1)$$

$$\left[\dot{m} (1 + R) C_p \right] \frac{dT_f}{dz} = \phi h_{c,p,f} B (T_p - T_f) \quad (2)$$

ϕ یک ضریب بی بعد است که بعد از ساده سازی معادلات انرژی، به واسطه حضور فین و بافل در معادله ظاهر شده و در عمل باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابه جایی ($h_{c,p,f}$) می شود. مقدار این ضریب برابر است با [۸]:

$$\phi = 1 + \frac{A_{fin}}{A_c} \eta_{fin} + \frac{A_{buff}}{A_c} \eta_{buff} \quad (3)$$

در رابطه (۳) η_{fin} راندمان فین نام دارد و برابر است با [۲۶]:

$$\eta_{fin} = \frac{\tanh(Mw_{fin})}{Mw_{fin}} \quad (4)$$

که در آن M به این صورت تعریف می شود:

$$M = \sqrt{\frac{2h_{c,p,f} (L + t_{fin})}{k L t_{fin}}} \quad (5)$$

η_{buff} نیز راندمان بافل می باشد که برای کلکتورهای بالاگذر مقدار آن برابر است با [۲]:

$$\eta_{buff} = 15.583 \left(\frac{W_{buff}}{D_h} \right)^{0.0518} \left(\frac{L}{L_{buff}} \right)^{-0.2274} \quad (6)$$

باید توجه داشت که در صورت استفاده از صفحه جاذب ساده، مقدار ϕ برابر با یک می شود و برای صفحه جاذب به همراه فین، فقط جمله اول و دوم معادله (۳) در نظر گرفته می شود.

با جایگذاری T_p از معادله (۱) در معادله (۲) و انتگرال گیری از آن به دست می آید:

$$\frac{dT_f}{dz} + \frac{F'B [U_t (T_f - T_a) - I \tau_g^2 \alpha_p]}{[\dot{m} (1 + R) C_p]} = 0 \quad (7)$$

که در آن

$$F' = \frac{\phi h_{c,p-f}}{\phi h_{c,p-f} + U_L} \quad (8)$$

$$F_R = \left[\frac{\dot{m}(1+R)C_p}{U_t A_C} \right] \left\{ 1 - \exp \left[- \frac{F' U_t A_C}{\dot{m}(1+R)C_p} \right] \right\} \quad (27)$$

در نهایت راندمان گرمایی کلکتور به این صورت تعریف می‌شود:

$$\eta_{th} = \frac{Q_u}{I A_C} \quad (28)$$

$$\eta_{th} = F_R \left\{ \tau_g^2 \alpha_p - \frac{U_t}{I} \left(\frac{R}{1+R} \right) (T_{f,o} - T_{f,i}) \right\} + (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (29)$$

یک تعریف جایگزین از بازده کلکتور در کنار معادله (۲۸) وجود دارد:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} C_p (T_{f,o} - T_{f,i})}{I A_C} \quad (30)$$

پس از تعیین راندمان کلکتور، دمای خروجی سیال به آسانی از معادله (۳۰) قابل دستیابی است:

$$T_{f,o} = T_{f,i} + (\eta_{th} I A_C / \dot{m} C_p) \quad (31)$$

حضور بافل‌ها هم باعث اغتشاش جریان می‌شود و هم سطح تبادل حرارت با هوا را افزایش می‌دهد. در نتیجه انتظار می‌رود راندمان گرمایی کلکتور در حضور بافل‌ها بیشتر شود. اما اضافه کردن هر نوع مانعی به کانال باعث افزایش افت فشار درون کانال می‌گردد و کار دمنده بیشتری را طلب می‌کند. در نتیجه بررسی عملکرد کلکتور (به خصوص در مواقعی که تعداد موانع یا دبی جرمی افزایش می‌یابد)، تنها بر مبنای راندمان گرمایی تحلیل درستی ارائه نمی‌دهد. در نتیجه نیاز است تا پارامتر قابل اعتمادتری معرفی گردد که کار دمنده را نیز در نظر بگیرد. از این رو راندمان مؤثر تعریف می‌شود تا نقش کار پمپ نیز در تعریف راندمان لحاظ شود [۸]:

$$\eta_{eff} = \frac{(Q_u - W_p / C_f)}{I A_C} \quad (32)$$

C_f ضریب تبدیل است و ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود.

۲.۲. تجزیه و تحلیل انرژی

با در نظر گرفتن حجم کنترل که در شکل (۴) نشان داده شده، تعادل انرژی کلی برای هواگرم‌کن خورشیدی [۱۴] به این صورت است:

$$Ex_i + Ex_s + Ex_w - Ex_o = IR \quad (33)$$

که Ex_i و Ex_o به ترتیب انرژی مرتبط با جریان جرمی ورودی و خروجی از حجم کنترل است. Ex_s انرژی تابش خورشید است که به شیشه می‌رسد و Ex_w انرژی کارهای ورودی مورد نیاز برای پمپاژ هوا درون کانال کلکتور است. برگشت‌ناپذیری روند گرمایش هوا با IR نشان داده می‌شود. برگشت‌ناپذیری یا از بین رفتن انرژی به دلیل اختلاف دما بین صفحه جاذب و خورشید، تلفات گرما به محیط و افت

$$D_h = \frac{2(HB - nh_{fin}t_{fin})}{(B+H) + n(h_{fin}+t_{fin})} \quad (17)$$

عدد Re برای کلکتور به همراه فین و تحت عملکرد بازچرخش

برابر است با

$$Re = \frac{\rho u D_h}{\mu_f} = \frac{2\dot{m}(1+R)}{\mu_f [(B+H) + n(h_{fin}+t_{fin})]} \quad (18)$$

۲.۱.۲. افت فشار و کار دمنده

افت فشار هوا درون کانال کلکتور بدون حضور بافل از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\Delta P = \frac{4fLu^2 \rho_f}{2D_h} \quad (19)$$

f ضریب اصطکاک است و برای رژیم جریان آرام درون کانال

بدون بافل برابر است با:

$$f = \frac{16}{Re} \quad (20)$$

درحالی‌که برای جریان آشفته درون کانال‌های بدون بافل مقدار

ضریب اصطکاک برابر است با [۲]:

$$f = 0.0791 Re^{-0.25} \quad (21)$$

در حالتی که بر روی صفحه جاذب فین و بافل قرار بگیرد، افت

فشار درون کانال از رابطه (۲۲) به دست می‌آید [۸]:

$$\Delta P = (1.465 \times 10^{-5}) Re^{1.94} \left(\frac{W_{baff}}{D_h} \right)^{2.6} \left(\frac{L}{L_{baff}} \right)^{1.2} \quad (22)$$

همچنین کار مورد نیاز برای دمنده برای اینکه هوا را درون کانال

پمپ کند، از رابطه (۲۳) به دست می‌آید [۸]:

$$W_p = \dot{m} \Delta P / (\rho \eta_{pm}) \quad (23)$$

که در آن η_{pm} راندمان موتور دمنده است و برابر با ۰/۸۵ در نظر گرفته می‌شود.

۲.۱.۳. راندمان کلکتور و دمای خروجی

هنگامی که دمای ورودی و خروجی مشخص شود، می‌توان گرمای مفید را از روابط (۲۴) و (۲۵) تخمین زد:

$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (24)$$

یا

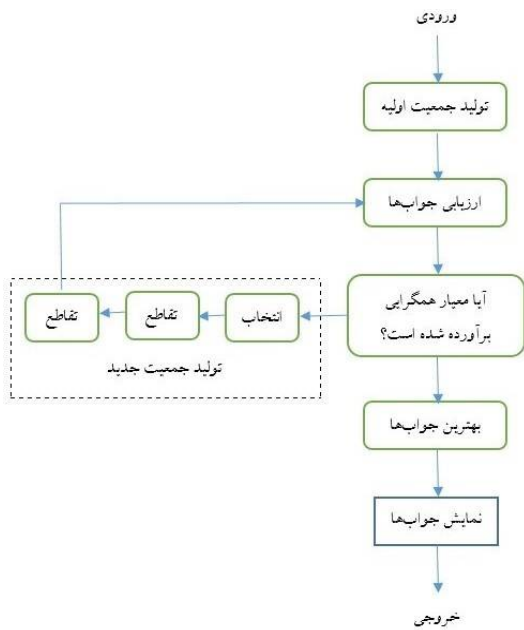
$$Q_u = \dot{m} C_p (T_{f,o} - T_{f,i}) \quad (25)$$

رابطه دیگری برای محاسبه گرمای مفید وجود دارد [۱۸]:

$$Q_u = F_R A_C [I \tau_g^2 \alpha_p - U_t (T_{f,i}^0 - T_a)] \quad (26)$$

که در آن F_R ضریب حذف گرماست.

۲. انتخاب والدین از میان جمعیت اولیه و ترکیب آن‌ها برای ایجاد جمعیت فرزندان از طریق فرایندهای طبیعی مانند تقاطع و جهش؛
 ۳. تولید نسل بعدی، مقایسه جواب‌ها، رتبه‌بندی آن‌ها و انتخاب بهترین‌ها؛
 ۴. اگر شرایط خاتمه محقق نشده باشد، روند از مرحله ۲ مجدداً تکرار می‌شود.
 در شکل (۴) طرح‌واره مراحل مختلف الگوریتم ژنتیک نمایش داده شده است.



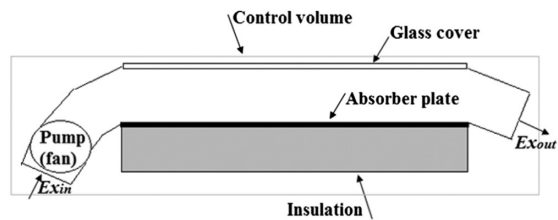
شکل (۴): طرح‌واره الگوریتم ژنتیک

اندازه جمعیتی بین ۱۰۰۰ تا ۵۰۰۰ کروموزوم ایجاد شد تا از استقلال نتایج از اندازه جمعیت اطمینان حاصل شود. به منظور ارزیابی عملکرد هواگرمن خورشیدی، دو تابع هدف در نظر گرفته شد که عبارت‌اند از: راندمان مؤثر و راندمان آگزرژی. از آنجاکه از هواگرمن خورشیدی در گرمایش فضا استفاده می‌شود بایستی بر روی جریان هوای عبوری از درون کلکتور، تفاوت دمای معینی ایجاد شود. در این مطالعه با توجه به محدوده به‌دست‌آمده از مدل‌سازی عددی، اختلاف دمای مورد نیاز (ΔT_r) ۵ و ۱۰ درجه کلوین به‌عنوان قید مورد بررسی قرار گرفت. تنظیمات الگوریتم ژنتیک در جدول (۱) آورده شده است.

جدول (۱): تنظیمات الگوریتم ژنتیک

اندازه جمعیت	۵۰۰۰-۱۰۰۰
شیوه انتخاب	رولت ویل
درصد تقاطع	۰/۸
درصد جهش	۰/۳
نرخ جهش	۰/۰۲

فشار در کانال اتفاق می‌افتد.



شکل (۳): حجم کنترل در نظر گرفته شده برای هواگرمن

Ex_o و Ex_i عبارت‌اند از:

$$Ex_i = (h_i - h_a) - T_a (S_i - S_a) \quad (34)$$

$$Ex_o = (h_o - h_a) - T_a (S_o - S_a) \quad (35)$$

از معادله (۳۶) به دست می‌آید [۱۴]:

$$Ex_s = IAC\psi = IAC \left(1 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right) + \frac{1}{3} \left(\frac{T_a}{T_s} \right)^4 \right) \quad (36)$$

که در آن ψ راندمان آگزرژی تابش است. با نادیده گرفتن افت فشار یا کار مورد نیاز پمپ، W_p ، آگزرژی مفید به‌دست‌آمده، Ex_u ، برابر می‌شود با:

$$Ex_u = Ex_o - Ex_i = \dot{m} [(h_o - h_i) - T_a (S_o - S_i)] \quad (37)$$

با این حال، با توجه به افت فشار یا کار پمپ و فرض کردن هوا به‌عنوان یک گاز تراکم‌ناپذیر یا گاز کامل، آگزرژی مفید به‌دست‌آمده، Ex_u ، از رابطه (۳۸) به دست می‌آید:

$$Ex_{u,p} = Ex_o - Ex_i - Ex_w = \dot{m} C_p \left[(T_o - T_i) - T_a \ln \left(\frac{T_o}{T_i} \right) \right] - \frac{T_a}{T_i} W_p \quad (38)$$

جمله $(T_a/T_i)W_p$ تخریب آگزرژی به دلیل افت فشار است.

۳.۲. بهینه‌سازی

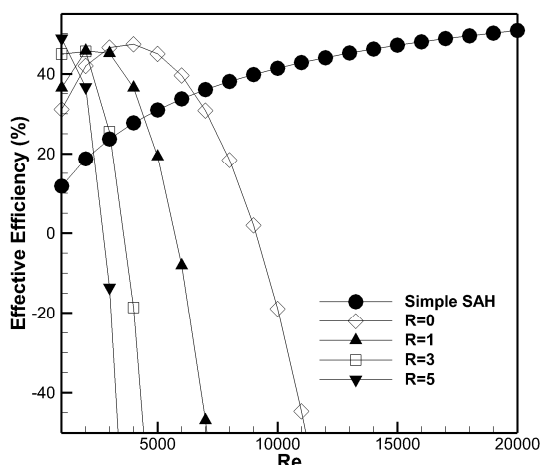
برای بهینه‌سازی پارامترهای طراحی از الگوریتم ژنتیک [۱۸، ۲۰ و ۲۳] استفاده شده است. الگوریتم ژنتیک (GA) روش جست‌وجوست که در محاسبات برای یافتن راه‌حل‌های دقیق یا تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جست‌وجو استفاده می‌شود. الگوریتم ژنتیک از تکنیک‌های الهام‌گرفته از زیست‌شناسی تکاملی مانند وراثت، جهش و انتخاب استفاده می‌کند. اگرچه الگوریتم ژنتیک همیشه نمی‌تواند بهینه‌ترین راه‌حل را ارائه دهد، مزایای خاص خود را دارد و ابزاری قدرتمند برای حل مسائل پیچیده است.

ایده اصلی الگوریتم ژنتیک بدین شرح است:

۱. ایجاد یک جمعیت تصادفی از مجموعه جواب‌ها و ارزیابی آن‌ها.

۱ متر، ارتفاع کانال عبور هوا (H)، ۰/۰۵ متر، عرض بافل (W_{baff}) ۰/۰۲۵ متر، فاصله بین بافل‌ها (L_{baff}) ۰/۰۵ متر، تعداد فین (n) ۵، ضخامت فین (t_{fin}) ۰/۰۰۱ متر، ضریب جذب (α_p) و ضریب صدور صفحه (ϵ_p)، ۰/۹۵، ضریب عبور شیشه (τ_g)، ۰/۸۷۵، دمای ورودی (T_{fi}) ۲۸۸ درجه کلوین دمای محیط (T_a) ۲۸۳ درجه کلوین و سرعت باد (V_w) ۱ m/s می‌باشد.

در شکل‌های (۵) و (۶) تأثیر عدد Re (دبی جرمی ورودی) بر روی راندمان مؤثر و راندمان قانون دوم در نسبت بازچرخش‌های مختلف برای شدت تابش 1100 W/m^2 نمایش داده شده است.



شکل (۵): راندمان گرمایی بر حسب عدد رینولدز ورودی

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، راندمان مؤثر کلکتور ساده با افزایش عدد رینولدز بیشتر می‌شود. افزایش Re که ناشی از افزایش دبی جریان هوا درون کانال است، منجر به زیاد شدن ضریب انتقال حرارت بین صفحه جاذب و جریان هوا می‌شود که در نهایت گرمای انتقالی به هوای عبوری را افزایش می‌دهد. از طرف دیگر چون در کلکتور ساده به علت کوچک بودن ضریب اصطکاک مقدار افت فشار قابل توجه نیست، با رشد عدد رینولدز صورت کسر معادله (۳۲) افزایش یافته و در نتیجه آن راندمان مؤثر نیز افزایش می‌یابد. با حضور فین و بافل، افت فشار نقش پررنگ‌تری پیدا می‌کند. در اعداد رینولدز پایین که هنوز افت فشار افزایش چندانی پیدا نکرده، روند راندمان مؤثر صعودی است، اما در ادامه و با بالا رفتن عدد رینولدز، افت فشار از گرمای مفید پیشی می‌گیرد و روند راندمان مؤثر نزولی می‌شود. با اضافه شدن بازچرخش و افزایش Re درون کانال، روند راندمان مؤثر از همان ابتدا نزولی می‌شود. پیک راندمان مؤثر برای حالت بدون بازچرخش در رینولدز ۴۰۰۰، برای $R=5$ در عدد رینولدز ۱۰۰۰ رخ می‌دهد.

پارامترهایی که برای بهینه‌سازی در نظر گرفته شدند عبارت‌اند از: عدد رینولدز (Re)، نسبت بازچرخش (R)، فاصله بین فین‌ها (W_{fin})، عرض بافل‌ها (W_{baff}) و فاصله بین بافل‌ها (L_{baff}). دامنه بهینه‌سازی مطابق جدول (۲) انتخاب شد. برای تمامی حالات قیدی در نظر گرفته شده که به این شرح است: $W_{baff} < 0.5 W_{fin}$.

جدول (۲): دامنه بهینه‌سازی

	حد بالا	حد پایین
Re	۲۰۰۰	۲۰۰۰۰
R	۷	۰
W_{fin} (m)	۰/۵	۰/۰۵
W_{baff} (m)	۰/۲۵	۰/۰۰۵
L_{baff} (m)	۱	۰/۰۵

۳. نتایج

صحت‌سنجی بر اساس راندمان گرمایی برای یک کلکتور به‌همراه فین انجام شد. به این منظور و برای حل معادلات تعادل انرژی یک کد در MATLAB توسعه داده شد. جدول (۳) مقایسه بین نتایج حاضر و نتایج مرجع [۲۴] را نشان می‌دهد. این مقایسه برای ترکیب، خصوصیات سیستم و شرایط عملکردی یکسان برای سطح جاذب m^2 ۰/۳۶ و شدت تابش W/m^2 ۸۳۰ انجام شد. تعداد کل فین‌های به‌کار برده شده بر روی جاذب ۱۲ عدد است. نتایج حاضر با نتایج حاصل از مرجع [۲۴] تطابق خوبی دارد و بیشینه خطای نسبی برای راندمان گرمایی برابر ۴/۷٪ است.

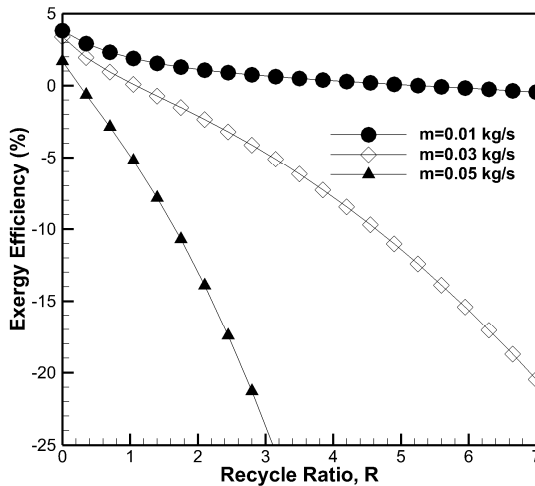
جدول (۳): مقایسه نتایج شبیه‌سازی با نتایج مرجع [۲۴]

R	مطالعه حاضر [۳]	مطالعه مرجع [۳]	مطالعه حاضر [۳]	مطالعه مرجع [۳]
۰	۲۹/۹۳	۲۸/۵۹	۳۴/۱۶	۳۴/۹۴
۱	۳۹/۰۲	۳۷/۸۴	۴۳/۴۱	۴۴/۳۰
۲	۴۴/۲۳	۴۲/۹۰	۴۸/۴۲	۴۹/۰۴
۳	۴۷/۷۲	۴۶/۱۵	۵۱/۶۶	۵۱/۹۶
۴	۵۰/۲۷	۴۸/۴۴	۵۳/۹۶	۵۳/۹۴
۵	۵۲/۲۳	۵۰/۱۴	۵۵/۷۰	۵۵/۳۹

۳.۱. نتایج مدل‌سازی

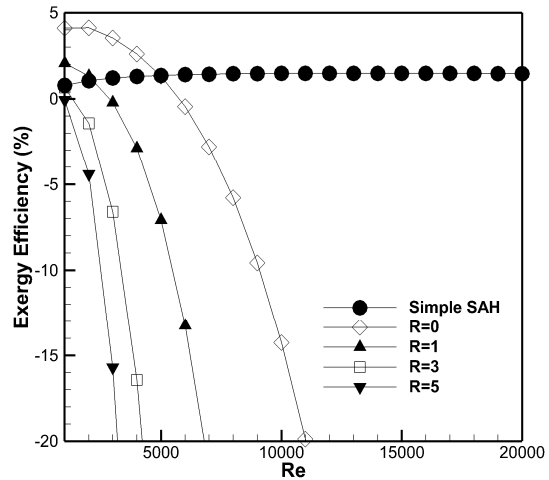
در ابتدا و پیش از آغاز فرایند بهینه‌سازی، تأثیر پارامترهای در نظر گرفته شده برای بهینه‌سازی بر روی توابع هدف بررسی می‌شود. به این منظور عملکرد هواگرم‌کن خورشیدی به‌همراه فین و بافل تحت بازچرخش خارجی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و با عملکرد کلکتور صفحه تخت معمولی مقایسه شد. ابعاد کلکتور برگرفته از مرجع [۱۷] و بدین شرح است: طول کلکتور (L)، ۲ متر، عرض کلکتور (W)

افزایش دبی منجر به افزایش راندمان مؤثر می‌شود. در دبی 0.03 kg/s و 0.05 kg/s یک پیک در نمودار وجود دارد. دلیل این امر برمی‌گردد به اینکه با افزایش سرعت سیال درون کانال، هم افت فشار و هم گرمای مفید انتقالی به هوا افزایش پیدا می‌کند. افت فشار با مربع سرعت نسبت دارد، پس در هر صورت روند افزایشی افت فشار ادامه پیدا می‌کند. اما روند افزایشی Q_{II} با افزایش سرعت کاهش پیدا می‌کند و در نتیجه در سرعت‌های بالا کار دمنده از گرمای مفید بیشتر شده و در نتیجه راندمان مؤثر کاهش می‌یابد.



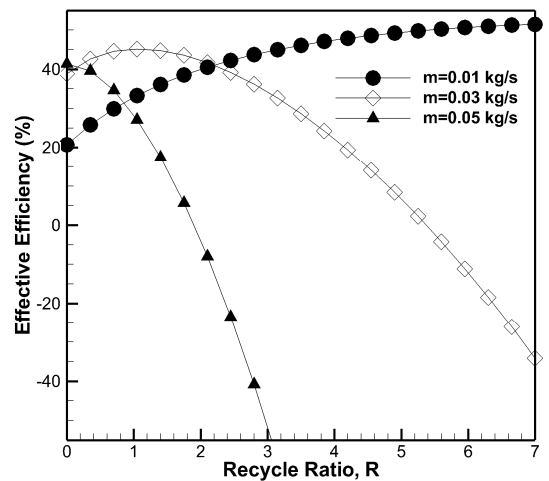
شکل (۸): تأثیر R بر راندمان آگزژی

در مورد تأثیر نسبت بازچرخش بر روی آگزژی همان گونه که در شکل (۸) مشخص است، نسبت معکوسی بین R و η_{ex} وجود دارد. با بالا رفتن نسبت بازچرخش، Re درون کانال افزایش یافته و در نتیجه افت فشار بیشتر می‌شود. هرچه نرخ دبی جرمی بیشتر شود، شیب نمودار راندمان آگزژی نیز تندتر می‌شود. عرض بافل‌ها (W_{buff}) پارامتر بعدی است که مورد بررسی قرار گرفت. شکل (۹) و (۱۰) تأثیر این پارامتر را بر روی توابع هدف نشان می‌دهد. نمودارها برای ۳ دبی رسم شده است. نقش بافل‌ها تغییر الگوی جریان و ایجاد اغتشاش در جریان است. با افزایش عرض بافل‌ها، اختلاط جریان افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه افت فشار افزایش می‌یابد. با افزایش افت فشار، کار دمنده افزایش یافته و در نتیجه راندمان مؤثر کاهش می‌یابد. در دبی‌های بالاتر راندمان مؤثر با شیب تندتری منفی می‌شود. از طرف دیگر افزایش اغتشاش باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی می‌شود، در نتیجه با بزرگ‌تر شدن عرض بافل‌ها، انتقال حرارت و در پی آن دمای خروجی افزایش می‌یابد. این امر باعث وقوع پیک در نمودار مربوط به راندمان آگزژی می‌شود.



شکل (۶): راندمان مؤثر بر حسب عدد رینولدز ورودی

روند مشابهی برای راندمان آگزژی در شکل (۶) مشاهده می‌شود. نقش پررنگ کار پمپ در تخریب آگزژی باعث می‌شود روند نزولی راندمان آگزژی از همان ابتدا شروع شود. در شکل‌های (۷) و (۸) تأثیر نسبت بازچرخش، R بر روی راندمان مؤثر و راندمان قانون دوم نمایش داده شده است.

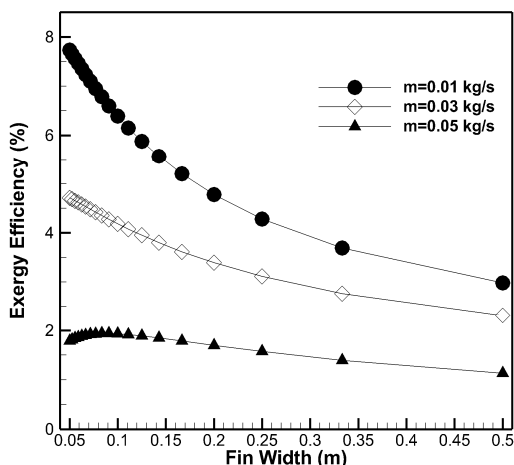


شکل (۷): تأثیر R بر راندمان مؤثر

افزایش نسبت بازچرخش در تمامی حالات باعث افزایش راندمان گرمایی می‌شود اما بر روی راندمان مؤثر و راندمان آگزژی تأثیر متفاوتی می‌گذارد. با افزایش نسبت بازچرخش، سرعت جریان درون کانال افزایش پیدا می‌کند که این امر منجر به افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی (h) می‌شود و از طرف دیگر اختلاف دما را کاهش می‌دهد. اثر مطلوب افزایش h بر اثر نامطلوب کاهش اختلاف دما غلبه می‌کند و در نهایت گرمای مفید انتقالی از جاذب به سیال (Q_{II}) و متعاقب آن راندمان گرمایی کلکتور افزایش پیدا می‌کند. اما برای راندمان مؤثر قضیه متفاوت است. در دبی 0.01 kg/s برای تمامی مقادیر R ,

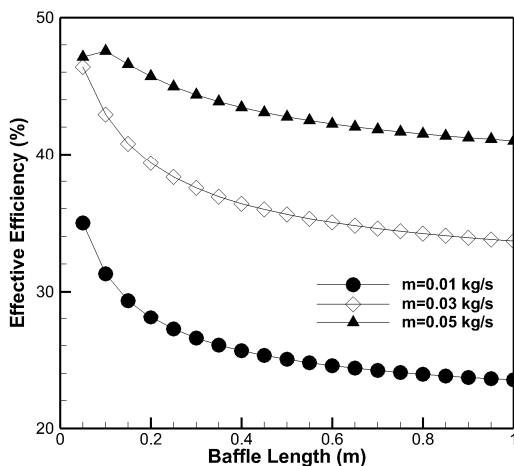
راندمان مؤثر نمی‌شود. فاصله کمتر بین فین‌ها به معنای تعداد بیشتر فین‌هاست، در نتیجه سطح تبادل حرارت و میزان حرارت منتقل شده به سیال افزایش می‌یابد که موجب افزایش راندمان می‌گردد.

پارامتر در نظر گرفته شده بعدی فاصله بین بافل‌هاست. تأثیر این پارامتر بر روی راندمان مؤثر و راندمان آگرژی در شکل (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است. هرچه فاصله بین بافل‌ها کمتر باشد، از تعداد بیشتری بافل درون کانال استفاده است که این امر باعث می‌شود اغتشاش افزایش یابد. در شکل (۱۴) برای دبی ۰/۰۵ کیلوگرم بر ثانیه، یک پیک در نمودار راندمان آگرژی مشاهده می‌شود.

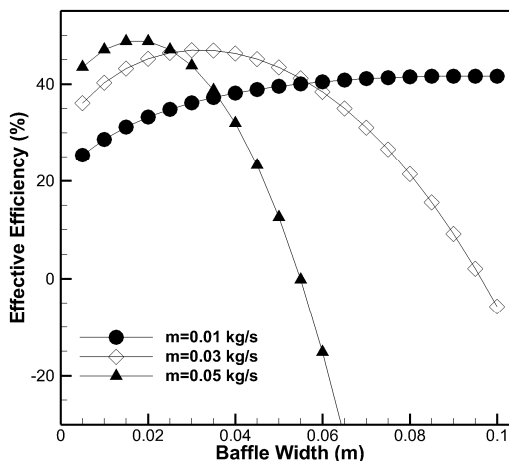


شکل (۱۲): تأثیر W_{fin} بر راندمان آگرژی

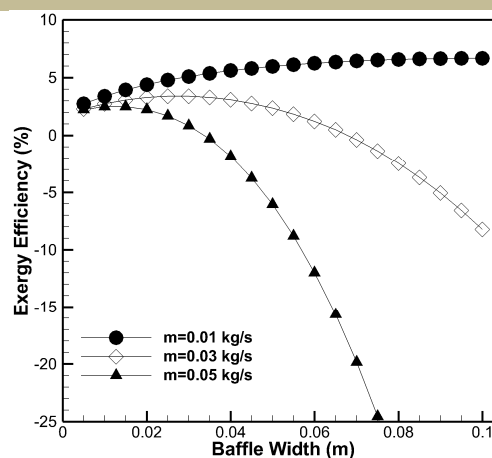
با بررسی پارامتریک تأثیر متغیرهای مختلف بر روی راندمان مؤثر و راندمان آگرژی مشخص می‌شود که عملکرد کلکتور برحسب هر یک از پارامترها ممکن است در یک محدوده مشخص بیشینه شود. در نتیجه برای پیدا کردن بهینه‌ترین حالت عملکردی کلکتور، ناگزیر بایستی تأثیر همزمان تمامی این پارامترها را در نظر داشت که با کمک الگوریتم ژنتیک می‌توان به این مهم دست یافت.



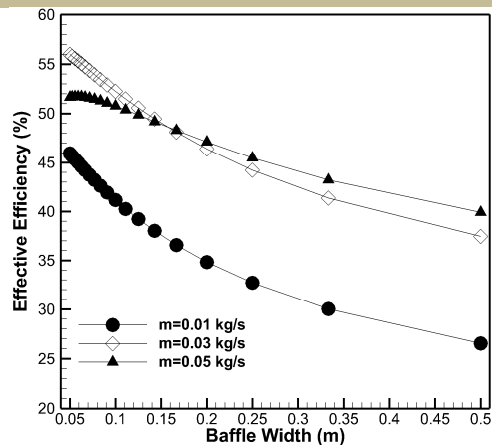
شکل (۱۳): تأثیر L_{baff} بر راندمان مؤثر



شکل (۹): تأثیر W_{baff} بر راندمان مؤثر



شکل (۱۰): تأثیر W_{baff} بر راندمان آگرژی



شکل (۱۱): تأثیر W_{fin} بر راندمان مؤثر

پارامتر در نظر گرفته شده دیگر فاصله بین فین‌ها (W_{fin}) است که تأثیر آن در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نمایش داده شده است. نقش فین افزایش سطح تبادل حرارت است و چون در راستای جریان قرار گرفته است، تأثیر چندانی بر روی افت فشار ندارد. در نتیجه افزایش دبی و نسبت بازچرخش مانند حالات قبلی موجب افزایش کار دمنده و کاهش

گرمای دریافتی خورشیدی تا حد زیادی در طول روز و در طول سال متفاوت است و بر عملکرد حرارتی هواگرمن خورشیدی تأثیرگذار است. پارامترهای طراحی بهینه‌شده برای گرمای خورشیدی دریافتی مشخص، لزوماً نمی‌توانند بهترین طراحی را برای یک دور کاری یکساله تضمین کنند. برای بررسی بیشتر این موضوع، مقادیر مختلف از گرمای دریافتی خورشیدی مورد بررسی قرار گرفت.

جدول (۵) نتایج بهینه‌سازی را برحسب راندمان مؤثر و گرمای دریافتی خورشیدی (I) از 400 W/m^2 تا 1200 W/m^2 نشان می‌دهد. در این حالت عدد رینولدز نیز به‌عنوان یکی از متغیرها لحاظ شده و مقدار بهینه آن در هر تابش به‌کمک الگوریتم ژنتیک مشخص می‌شود. با توجه به اضافه شدن یک پارامتر دیگر و افزایش دامنه جواب‌ها، اعضای جمعیت اولیه را نسبت به حالات قبل افزایش داده تا جواب‌های دقیق‌تری حاصل شود.

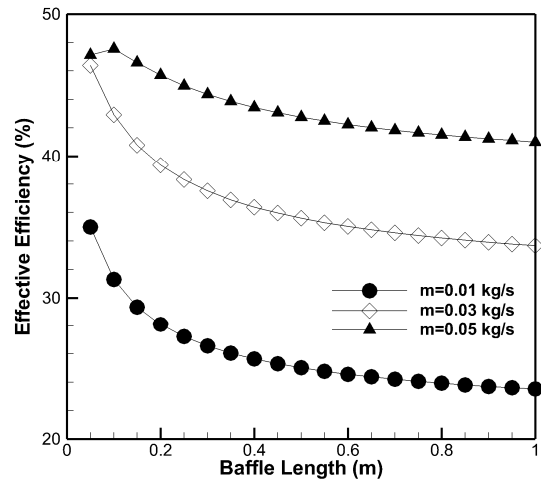
جدول (۵): نتایج بهینه‌سازی برای بیشینه η_{eff} در تابش‌های مختلف

I (W/m^2)	Re	R	W_{fin} (m)	L_{baff} (m)	W_{baff} (m)	η_{eff} (%)	η_{ex} (%)
400	5953	6/95	0/05	0/586	0/005	60/38	-0/244
600	4541	7	0/05	0/288	0/005	61/64	-0/108
800	6447	7	0/05	0/765	0/005	63/64	-0/004
1000	11388	4/31	0/05	0/654	0/005	62/69	-0/275
1200	10612	4/80	0/05	0/586	0/005	64/15	-0/126

مشاهده می‌شود بیشینه η_{eff} که از طریق الگوریتم ژنتیک پیدا شد، در تابش 1200 W/m^2 اتفاق می‌افتد که مقدار آن برابر است با $64/15\%$. در جدول (۶) پارامترهای بهینه برای رسیدن به بیشینه راندمان آگرزری در رینولدزهای مختلف و تابش 1100 W/m^2 به دست آمد. همچنین در جدول (۷) بهینه‌سازی برای تابش‌های مختلف صورت گرفت.

جدول (۶): نتایج بهینه‌سازی برای بیشینه η_{ex} و تابش 1100 W/m^2

Re	R	W_{fin} (m)	L_{baff} (m)	W_{baff} (m)	η_{eff} (%)	η_{ex} (%)
2000	0	0/122	0/058	0/059	47/7	5/09
4000	0	0/055	0/169	0/026	52/83	3/63
6000	0	0/052	0/05	0/014	58/2	2/98
8000	0	0/05	0/527	0/019	57/24	2/6
10000	0	0/05	0/527	0/014	58/2	2/35
12000	0	0/05	0/765	0/01	58/54	2/20
14000	0	0/05	0/769	0/009	59/73	2/04
16000	0	0/05	0/885	0/007	59/94	1/99
18000	0/03	0/066	0/527	0/009	59/17	1/59
20000	0	0/279	0/832	0/005	53/51	1/56



شکل (۱۴): تأثیر L_{baff} بر راندمان آگرزری

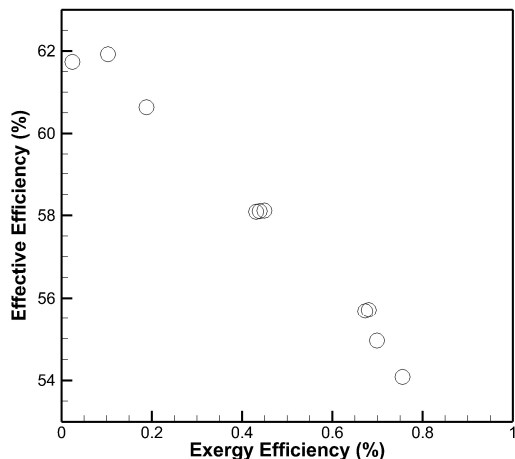
۲. نتایج بهینه‌سازی

در ابتدا از یک الگوریتم ژنتیک تک‌هدفه استفاده می‌شود. برای رسیدن به بیشترین میزان راندمان مؤثر، مقادیر بهینه R ، W_{fin} ، W_{baff} و L_{baff} برحسب مقادیر مختلف Re ورودی (دبی جرمی) در جدول (۴) لیست شده است. بهینه‌سازی برای تابش 1100 W/m^2 صورت گرفت. مسئله به‌صورت مقید حل شده و در تمام حالات قید کوچکتر بودن عرض بافل‌ها از نصف فاصله بین فین‌ها ($W_{\text{baff}} < 0.5 W_{\text{fin}}$) لحاظ شده است. مشاهده می‌شود که در تمامی اعداد رینولدز به‌صورت متوسط راندمان مؤثر در حدود 63% به دست آمد. برای حالت بهینه، با افزایش Re نسبت بازچرخش کاهش می‌یابد. در تمامی حالات، بیشترین راندمان در کمترین فاصله بین فین‌ها (بیشترین تعداد فین) و کوچک‌ترین عرض بافل‌ها به دست می‌آید. در بهینه‌ترین حالت برای هر Re ، راندمان‌های آگرزری متفاوتی به دست می‌آید.

جدول (۴): نتایج بهینه‌سازی برای بیشینه η_{eff} و تابش 1100 W/m^2

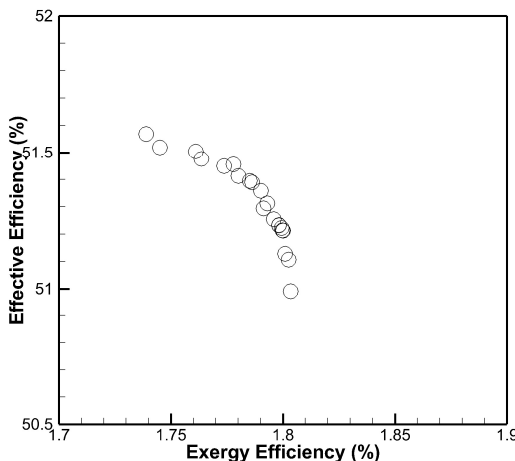
Re	R	W_{fin} (m)	L_{baff} (m)	W_{baff} (m)	η_{eff} (%)	η_{ex} (%)
2000	6/97	0/05	0/765	0/036	58/2	-0/423
4000	7	0/05	0/169	0/005	63/1	0/019
6000	6/95	0/05	0/885	0/005	64/19	0/11
8000	3/49	0/05	0/288	0/005	62/92	0/114
10000	6/84	0/281	0/765	0/005	64/33	-0/286
12000	7	0/05	0/885	0/005	62/53	0/294
14000	2/55	0/05	0/348	0/005	62/19	0/256
16000	3/35	0/05	0/81	0/005	63/57	0/216
18000	2/42	0/05	0/706	0/005	63/13	0/137
20000	2/88	0/05	0/922	0/005	63/02	-0/364

اکثری افزایش می یابد. در نتیجه مشاهده می شود محدوده راندمان های موثر به دست آمده برای اختلاف دمای ۵ K بالاتر از اختلاف دمای ۱۰ K است و از طرف دیگر محدوده راندمان قانون دوم برای اختلاف دمای ۵ K کمتر از اختلاف دمای ۱۰ K است.



شکل (۱۶): نقاط پارتو برای راندمان مؤثر و راندمان اکثری و

$\Delta T=5 K$



شکل (۱۷): نقاط پارتو برای راندمان مؤثر و راندمان اکثری و

$\Delta T=10 K$

۴. نتیجه گیری

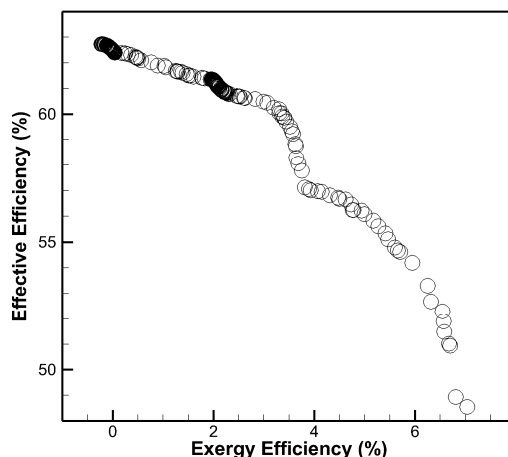
در مطالعه حاضر، عملکرد حرارتی یک هواگرم کن خورشیدی بالاگذر به همراه فین و بافل بر روی صفحه جاذب تحت بازچرخش خارجی با هدف افزایش راندمان کلکتور، بر اساس تحلیل راندمان مؤثر و راندمان قانون دوم مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به کمک الگوریتم ژنتیک مقادیر پارامتری که منجر به بیشینه شدن راندمان مؤثر و راندمان اکثری در دو اختلاف دما می شود، برای حالات مختلف به دست آمد. باتوجه به بررسی های انجام شده:

بیشترین راندمان اکثری در رینولدز ۲۰۰۰ اتفاق افتاد که برابر است با ۵/۰۹٪. با افزایش عدد رینولدز مقدار بیشینه راندمان اکثری کاهش می یابد که در عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ مقدار آن به ۱/۵۶ رسید. افزایش افت فشار به واسطه افزایش اغتشاش باعث کاهش راندمان قانون دوم در رینولدزهای بالاتر شده است.

جدول (۷): نتایج بهینه سازی برای بیشینه η_{ex} و تابش های مختلف

I (W/m ²)	Re	R	W _{fin} (m)	L _{baff} (m)	W _{baff} (m)	η_{eff} (%)	η_{ex} (%)
۴۰۰	۴۶۸۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۲۸۸	۰/۰۱۵	۵۱/۶۹	۱/۶۵
۶۰۰	۲۱۴۱	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۷۶۵	۰/۰۲۳	۴۳/۸۱	۲/۷۶
۸۰۰	۲۲۸۲	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۵	۰/۰۲۸	۵۱/۹۴	۴/۲
۱۰۰۰	۲۰۷۱	۰/۰۵۲	۰/۰۵۲	۰/۰۵	۰/۰۱۸	۵۲/۱۴	۵/۴۵
۱۲۰۰	۲۱۴۱	۰/۰۵۳	۰/۰۵۴	۰/۰۵	۰/۰۲۶	۵۴/۳۴	۶/۳۴

بیشترین مقدار راندمان اکثری در تابش ۱۲۰۰ W/m² حاصل شد که مقدار آن با توجه به مقادیر پارامتری به دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک برابر ۶/۳۴٪ است.



شکل (۱۵): نقاط پارتو برای راندمان مؤثر و راندمان اکثری و

شکل (۱۵) نقاط پارتو را برای بیشینه راندمان مؤثر و بیشینه راندمان اکثری نشان می دهد. محدوده بیشترین و کمترین مقادیر به دست آمده برای راندمان مؤثر برابر ۶۲/۷۲ و ۴۸/۵۴٪. برای راندمان اکثری ۷/۰۴ و ۰/۲۲٪ است. در شکل (۱۶) و (۱۷) نقاط پارتو با لحاظ کردن قید اختلاف دمای به ترتیب ۵ و ۱۰ درجه کلونین نشان داده شده است. محدوده راندمان مؤثر در شکل (۱۶) از ۵۴/۹۶ تا ۶۱/۹۲٪ و برای راندمان اکثری از ۰/۰۲ تا ۰/۷۶٪ تغییر می کند. این محدوده در شکل (۱۷) و برای قید ۱۰ K برای راندمان مؤثر از ۵۰/۷ تا ۵۱/۳٪ و برای راندمان اکثری از ۱/۷۲ تا ۱/۷۹٪ متغیر است. اختلاف دمای بیشتر در رینولدزهای پایین رخ می دهد، همچنین در رینولدزهای پایین راندمان مؤثر کاهش و راندمان

عمق کانال (m)	H	۱. مشخص شد که استفاده از فین و بافل تحت بازچرخش یک
شدت تابش خورشیدی (W/m^2)	I	روش کارآمد برای افزایش قابل توجه در راندمان هواگرمن
بازگشت‌ناپذیری (W)	IR	خورشیدی به‌ویژه در رژیم جریان آشفته است. این در حالی است
هدایت گرمایی (W/mK)	k	که با بالا رفتن دبی جرمی و نسبت‌های بازچرخش، افت قابل
طول کلکتور (m)	L	توجهی در بازده موثر رخ می‌دهد، به‌صورتی که حتی به کمتر از
فاصله بین بافل‌ها (m)	L_{baff}	راندمان هواگرمن با صفحه جاذب ساده می‌رسد و در حالاتی
نرخ دبی جرمی (kg/s)	m	خاص ممکن است مقادیر راندمان منفی گردد.
تعداد فین‌ها	n	۲. افزایش نسبت بازچرخش، تعداد فین‌ها، عرض و تعداد
عدد ناسلت	Nu	بافل‌ها همگی باعث بهبود عملکرد گرمایی کلکتور می‌شوند. اما
گرمای مفید دریافتی (W)	Q_u	به‌جز تعداد فین‌ها، باقی موارد با افزایش دبی جرمی باعث کاهش
نسبت بازچرخش	R	راندمان مؤثر می‌شوند.
عدد رینولدز	Re	۳. روند راندمان آگرزژی با افزایش R ، W_{fin} ، W_{baff} و کاهش
آنتروپی (J/K)	S	L_{baff} به دلیل بالا رفتن نرخ تخریب آگرزژی به‌واسطه افت فشار
ضخامت فین (m)	t_{fin}	نزولی است.
دما (K)	T	۴. برای شدت تابش $1100 W/m^2$ در اعداد رینولدز مختلف،
ضریب اتلاف حرارت از کف (W/m^2)	U_b	بیشینه راندمان مؤثری که از طریق الگوریتم ژنتیک به دست آمد، در
سرعت هوا درون کانال (m/s)	u	حدود ۶۳٪ بوده که در بیشترین تعداد فین ($n=20$) و کمترین
ضریب اتلاف حرارت از بالای کلکتور (W/m^2)	U_t	عرض بافل ($W_{baff}=0.005m$) حاصل شد.
سرعت باد (m/s)	V	۵. بیشینه راندمان آگرزژی که در شدت تابش $1100 W/m^2$
عرض بافل (m)	W_{baff}	حاصل شد، در $Re=2000$ اتفاق افتاد و مقدار آن برابر است با
کار پمپ (W)	W_p	۰۹/۰۵٪.
	علائم یونانی	
ضریب جذب	α	۶. بیشینه η_{eff} و η_{ex} به‌دست آمده در محدوده پارامترهای
ضخامت (m)	δ	بهبینه‌سازی برای تابش‌های مختلف به‌ترتیب برابر ۶۴/۱۵ و ۶/۳۴٪
افت فشار (Pa)	ΔP	است.
ضریب صدور	ε	
راندمان	η	
لزجت هوا (Ns/m^2)	μ	مساحت جاذب (m^2)
چگالی (kg/m^3)	ρ	عرض کلکتور (m)
ثابت استفان-بولتزمان	σ	ضریب تبدیل
ضریب عبور	τ	گرمای ویژه ($J/kg K$)
مقدار بی‌بعد معادله (۳)	ϕ	قطر هیدرولیک کانال (m)
راندمان آگرزژی تشعشع	ψ	آگرزژی (W)
	زیرنویس‌ها	
محیط	a	آگرزژی تابش خورشیدی فرودی به شیشه (W)
زیر کلکتور	b	آگرزژی مفید کسب‌شده بدون افت فشار (W)
بافل	baff	آگرزژی مفید کسب‌شده با افت فشار (W)
جابه‌جایی	c	ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی ($W/m^2 K$)
		ارتفاع فین (m)

فهرست علائم

A

B

C_f

C_p

D_h

Ex

Ex_s

Ex_u

Ex_{up}

h

h_{fin}

خروجی	o	مؤثر	eff
صفحه جاذب	p	سیال	f
پمپ-موتور	pm	فین	fin
تشعشی	r	شیشه	g
هواگر مکن ساده	s	ورودی	i
باد	w	عایق	ins
		متوسط	m

مراجع

- [1] Kabeel, A.E., Mofreh, H. Hamed., Omara, Z.M. and Kandeal, A.W., "Solar air heaters: Design configurations, improvement methods and applications – A detailed review", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 70, pp. 1189-1206, 2017.
- [2] Mohammadi, K. and Sabzpooshani, M., "Comprehensive performance evaluation and parametric studies of single pass solar air heater with fins and baffles attached over the absorber plate", Energy, Vol. 57, pp. 741-750, 2013.
- [3] Saravanakumar, P.T., Somasundaram, D. and Matheswaran, M.M., "Thermal and thermo-hydraulic analysis of arc shaped rib roughened solar air heater integrated with fins and baffles", Solar Energy, Vol. 180, pp. 360-371, 2019.
- [4] Bensaci, C., Moummi, A., Sanchez de la Flor, F.J., Rodriguez Jara, E.A., Rincon-Casado, A. and Ruiz-Pardo, A., "Numerical and experimental study of the heat transfer and hydraulic performance of solar air heaters with different baffle positions", Renewable Energy, 2020.
- [5] Hu, J., Liu, K., Ma, L. and Sun, X., "Parameter optimization of solar air collectors with holes on baffle and analysis of flow and heat transfer characteristics", Solar Energy, Vol. 174, pp. 878-887, 2018.
- [6] Fiuk, J.J. and Dutkowski, K., "Experimental investigations on thermal efficiency of a prototype passive solar air collector with wavelike baffles", Solar Energy, Vol. 188, pp. 495-506, 2019.
- [7] Hu, J., Liu, K., Guo, M., Zhang, G., Chu, Z. and Wang, M., "Performance improvement of baffle-type solar air collector based on first chamber narrowing", Thermal Science and Engineering Progress, Vol. 8, pp. 145-153, 2018.
- [8] Mohammadi, K. and Sabzpooshani, M., "Appraising the performance of a baffled solar air heater with external recycle", Energy Conversion and Management, Vol. 88, pp. 239-250, 2014.
- [9] Ho, C.D., Hsiao, C.F., Chang, H. and Tien, Y.E., "Investigation of device performance for recycling double-pass V-corrugated solar air collector", Energy Procedia, Vol. 105, pp.28-34, 2017.
- [10] Singh, S. and Dhiman, P., "Analytical and experimental investigations of packed bed solar air heaters under the collective effect of recycle ratio and fractional mass flow rate", Journal of Energy Storage, Vol. 16, pp. 167-186, 2018.
- [11] Singh, S., "Thermal performance analysis of semicircular and triangular cross-sectioned duct solar air heaters under external recycle", Journal of Energy Storage, Vol. 20, pp. 316-336, 2018.
- [12] Gupta, M.K. and Kaushik, S.C., "Performance evaluation of solar air heater having expanded metal mesh as artificial roughness on absorber plate", International Journal of Thermal Science, Vol. 48, pp. 1007-1016, 2009.
- [13] Lior, N., Sarmiento-Darkin, W. and Al-Sharqawi, H.S., "The exergy fields in transport processes: their calculation and use", Energy, Vol. 31, pp.553-578, 2006.
- [14] Saravanakumar, P.T., Somasundaram, D. and Matheswaran, M.M., "Exergetic investigation and optimization of Arc Shaped Rib Roughened Solar Air Heater Integrated with Fins and Baffles", Applied Thermal Engineering, 2020.
- [15] Luan, N.T. and Phu, N.M., "Thermohydraulic correlations and exergy analysis of a solar air heater duct with inclined baffles", Case Studies in Thermal Engineering, 2020.
- [16] Kalogirou, S.A., "Optimization of solar systems using artificial neural networks and genetic algorithms", Applied Energy, Vol. 77, pp. 383-405, 2004.
- [17] Cheng, Y.H. and Lin, I., "Geometric optimization of thermoelectric coolers in a confined volume using genetic algorithms", Applied Thermal Engineering, Vol. 25, pp. 2983-2997, 2005.
- [18] Varun, S., "Thermal performance optimization of a flat plate solar air heater using genetic algorithm", Applied Energy, Vol. 87, pp. 1793-179, 2010.
- [19] Siddhartha, Sh. and Varun, N., "A particle swarm optimization algorithm for optimization of thermal performance of a smooth flat plate solar air heater", Energy, Vol. 38, pp. 406-413, 2012.
- [20] Ansari, M. and Bazargan, M., "Optimization of Flat Plate Solar Air Heaters with Ribbed Surfaces", Applied Thermal Engineering, Vol. 136, pp. 356-363, 2018.
- [21] Keshavarzadeh, A.H. and Ahmadi, P., "Multi-objective techno-economic optimization of a solar based integrated energy system using various optimization methods", Energy Conversion and Management, Vol. 196, pp. 196-210, 2019.
- [22] Dezan, D.J., Rocha, A.D. and Ferreira, W.G., "Parametric sensitivity analysis and optimisation of a solar air heater with multiple rows of longitudinal vortex generators", Applied Energy, Vol. 263, 114556, 2020.
- [23] Guo, C., "A Programming of Genetic Algorithm in Matlab7.0", Modern Applied Science, Vol. 5, 2011.

- [24] Ho, C.D., Yeh, H.M. and Chen, T.C., "*Collector efficiency of upward-type double-pass solar air heaters with fins attached*", International Communications in Heat and Mass Transfer, Vol. 38, pp. 49-56, 2011.