



بررسی عملکرد بهینه هواگرمن‌های خورشیدی با چیدمان موانع در کانال عبور هوا، به کمک منطق فازی

شهرام یاری^{۱*} و حبیب اله صفرزاده^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده فنی مهندسی

^۲ استادیار، کرمانشاه، دانشگاه رازی، دانشکده فنی مهندسی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۴/۰۶؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۴/۰۴/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۱۹

چکیده

در این مقاله، با استفاده از منطق فازی عملکرد سه نوع هوا گرمن خورشیدی با تعداد پوشش‌های شفاف متفاوت و با آرایش و بدون آرایش موانع روی صفحه جاذب در کانال هوا، در گسترده‌ای از دبی حجمی و در محدوده زاویه‌ای قرارگیری ۰ تا ۳۰ درجه، با محاسبه بازده انرژی و بازده انرژی بررسی شده، همچنین با شبیه‌سازی جریان، اثر چینش موانع بر جریان هوای عبوری مطالعه شده است. قرارگیری موانع روی صفحه جاذب علاوه بر متلاطم نمودن جریان، با هدایت هوا به تمام فضای کانال، سبب طولانی تر شدن مسیر حرکت هوا در کانال شده است. هواگرمن با دو پوشش شفاف و با آرایش موانع روی صفحه جاذب در میان سه حالت بررسی شده، دارای بهترین عملکرد بوده و این تحلیل دبی حجمی بهینه را از دیدگاه انرژی در محدوده ۸۵ تا ۹۰ و از دیدگاه انرژی، در محدوده ۴۰ تا ۵۰ مترمکعب بر ساعت بر متر مربع در زاویه قرارگیری ۰ تا ۵ درجه پیش‌بینی می‌کند. همچنین مقایسه تحلیل منطق فازی با تحلیل تجربی نشان می‌دهد منطق فازی یک روش قدرتمند در تحلیل انرژی و انرژی برای هواگرمن خورشیدی است و در مقایسه با نتایج تجربی خطای حداکثری ۱/۳۷ درصدی را تجربه می‌کند.

کلمات کلیدی: منطق فازی؛ هواگرمن خورشیدی؛ انرژی؛ دبی حجمی بهینه.

Study Performance of Solar Air Heaters Arrangement Obstacles in the Air Channel, with Fuzzy Logic Using

Sh. Yari^{1*}, H. Safarzadeh²

¹ Graduate student, Mech. Eng., Kermanshah Univ., Kermanshah, Iran.

² Assis, Prof., Mech. Eng., Kermanshah Univ., Kermanshah, Iran.

Abstract

In this paper, using fuzzy logic, performs three types of solar air heaters with different transparent cover with makeup and without makeup obstacles barriers on absorbent in the channel air, in a wide range of air flow rate in the range of 0 to 30 degree angular position, by calculating the energy efficiency and exergy efficiency study. It also simulates the flow, the impact of the barriers arrangement on the flow air the study. By placing barriers on the absorbent in addition to the turbulent flow, directs air to the entire channel, prolonged air path in the channel. Air heaters with two transparent cover and the absorber arrangement barriers has been the best performance and this analyze predict the optimum volumetric flow rate from the perspective of energy in the range of 85 to 90 and from the perspective of Exergy, in the range of 40 to 50 cubic meters per hour per square meter at the angle of 0 to 5 degrees. The comparison of fuzzy logic analysis with experimental analysis shows, Fuzzy Logic Energy and Exergy analysis is a powerful method for solar air heaters and compared with the experimental results the maximum error of % 1/37 experiencing.

Keywords: Fuzzy Logic; Solar Air Heaters; Exergy; Optimum Volumetric Flow Rate.

۱- مقدمه

هواگرمکن خورشیدی را می‌توان برای گرمایش فضا و نیز به عنوان خشک کن صنعتی و کشاورزی استفاده کرد. طراحی هواگرمکن خورشیدی، مانند طراحی دیگر هواگرمکن‌های متداول است؛ با این تفاوت که در هواگرمکن خورشیدی، از انرژی خورشید برای گرم کردن هوا استفاده می‌شود. عوامل زیادی بر بازده هواگرمکن موثر است که می‌توان به طول کلکتور، عمق کلکتور، نوع و شکل صفحه جاذب، تعداد پوشش‌های شفاف، سرعت وزش باد و غیره اشاره کرد. مطالعات زیادی روی هواگرمکن خورشیدی از دیدگاه انرژی یا قانون اول ترمودینامیک انجام شده است. معادلات انرژی به تنهایی نمی‌توانند معیار مناسبی از عملکرد بهینه هواگرمکن را ارائه دهند، اما دیدگاه انرژی یا قانون دوم ترمودینامیک، اطلاعات بیشتری را در بر می‌گیرد و بهتر می‌توان از آن بهره برداری کرد؛ زیرا قانون دوم ترمودینامیک، بر این اساس است که انرژی علاوه بر کمیت، دارای کیفیت نیز بوده، فرایندهای عملی انتقال حرارت در جهت کاهش کیفیت انرژی پیش می‌رود. تلاش‌های در جهت عددی کردن کیفیت یا پتانسیل کاری انرژی در پرتو قانون دوم ترمودینامیک، منجر به تعریف انرژی می‌شود. در واقع انرژی، حداکثر کار مفیدی است که سیستم می‌تواند انجام دهد؛ به طوری که به تعادل با محیط برسد، این توانمندی در هواگرمکن‌های خورشیدی، توان گرمایی خورشیدی است که به هوای ورودی انتقال داده می‌شود، انرژی بسیار زیادی در تابش خورشیدی موجود است، اما توانمندی ناچیز است؛ به عبارتی کیفیت انرژی جذب شده مورد توجه است؛ به عنوان مثال، در فرایند انتقال حرارت در هواگرمکن هرچه اختلاف درجه حرارت صفحه جاذب و محیط کمتر باشد، تلفات حرارتی کمتر است و کاهش توانمندی متناسب با کاهش تلفات حرارتی کمتر است؛ بنابراین توجه خود را به بررسی انرژی و انرژی طرح‌های گوناگون هواگرمکن خورشیدی از لحاظ تعداد پوشش شفاف، چینش یا عدم چینش موانع روی صفحه جاذب، میزان بهینه دبی حجمی هوای ورودی به هواگرمکن و زاویه قرارگیری هواگرمکن نسبت به افق، به منظور ارزیابی مشخصات، بهینه کردن طراحی و ماکزیمم کردن بازده تحت شرایط کاری معلوم معطوف می‌کند.

در راستای بهبود عملکرد حرارتی هواگرمکن، مطالعات

زیادی صورت گرفته است. شکل صفحه جاذب، به عنوان پارمتری موثر بر عملکرد هواگرمکن در منبع [۱] مورد بررسی قرار گرفته است، با افزایش سطح صفحه جاذب با تغییر شکل صفحه جاذب، انتقال حرارت با هوا افزایش می‌یابد، ولی افت فشار نیز افزایش می‌یابد؛ بنابراین مصرف دمیده هوا به درون هواگرمکن نیز افزایش می‌یابد [۲]. برای بهبود عملکرد هواگرمکن، کاهش تلفات حرارتی از صفحه جاذب در منبع [۳] مد نظر قرار گرفته است؛ زیرا بیشترین تلفات از طریق کاور شفاف است. به طور متداول پشت صفحه جاذب و دیوارهای جانبی، هواگرمکن عایق‌بندی می‌شود، به عبارت دیگر، حداقل شدن تلفات حرارتی از طریق پوشش‌های شفاف، عملکرد هواگرمکن را بهبود می‌بخشد. در همین راستا، استفاده از دو پوشش شفاف توصیه شده است [۴]. از جمله راه‌های موثر در افزایش ضریب انتقال حرارت، افزایش سطح انتقال حرارت و یا افزایش میزان آشفته‌گی جریان هوای عبوری است که این امر با بکارگیری موانع روی صفحه جاذب حصول می‌شود. در منبع [۵]، عملکرد حرارتی هواگرمکن خورشیدی با چینش موانع روی صفحه جاذب مورد مطالعه قرار گرفته شده، به طوری که نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که عملکرد حرارتی هواگرمکن با به کارگیری موانع روی صفحه جاذب در مقایسه با حالت مرجع، به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود می‌یابد. معادلات انرژی به تنهایی نمی‌توانند تلفات داخلی را در برگیرند؛ به عبارتی برای توصیف عملکرد هواگرمکن معیار جامعی نمی‌باشد. قانون دوم، تحلیل انرژی، حاوی اطلاعات بیشتری برای در نظر گرفتن تمامی جوانب است [۶-۷]، انرژی حداکثر پتانسیل است که از انرژی بدست می‌آید [۸]. قانون دوم با در نظر گرفتن بازگشت پذیری یا عدم بازگشت‌پذیری فرایند سیستم انرژی را تحلیل می‌کند [۹]. بررسی انرژی برای کلکتورهای متفاوت، توسط یوکر [۱۰] انجام شده است. دنیز آلتا و همکارانش، بازده سه نوع هواگرمکن تخت خورشیدی از دیدگاه انرژی و انرژی را به صورت تجربی بررسی و مقایسه کردند [۱۱]. نتایج نشان می‌دهد که بازده کلکتور با آرایش موانع، از بازده کلکتور بدون موانع بیشتر است. با افزایش دبی حجمی هوای ورودی، به دلیل آشفته شدن جریان هوا در کلکتور، بازده کلکتور افزایش می‌یابد. در مطالعه پیش روی با به کارگیری منطق فازی

$$C = 520(1 - 0.000051\beta^2) \quad (۸)$$

$$f = \frac{(1 + 0.089h_w - 0.1166h_w\varepsilon_p)}{(1 + 0.07866N)} \quad (۹)$$

$$e = 0.430\left[1 - \frac{100}{T_{pm}}\right] \quad (۱۰)$$

$$h_w = 5.7 + 3.8V_w \quad (۱۱)$$

$$B = \frac{1}{\varepsilon_p + 0.00591Nh_w} + \frac{2N+f-1+0.133\varepsilon_p}{\varepsilon_g} - N \quad (۱۲)$$

N تعداد پوشش شفاف، β زاویه شیب کلکتور، T_{pm} دمای متوسط صفحه جاذب، ε_p و ε_g به ترتیب، ضریب صدور صفحه جاذب و پوشش شفاف، V_w سرعت هوای عبوری از روی کلکتور است.

$$U_b = \frac{k}{L} \quad (۱۳)$$

$$U_e = (kPH/l)(1/A_c) \quad (۱۴)$$

k ضریب هدایت حرارتی عایق، L ضخامت عایق، P محیط هواگرمن، H ارتفاع هواگرمن است. F' ضریب بازده کلکتور از روابط زیر محاسبه می‌شود:

$$F' = \frac{\alpha}{(\alpha + U_L)} \quad (۱۵)$$

$$\alpha = \frac{Nu k}{D_h} \quad (۱۶)$$

$$Nu = 0.664Re^{1/2}Pr^{1/3} \quad (۱۷)$$

$$Re = \frac{\rho v D_h}{\mu} \quad (۱۸)$$

$$Pr = \frac{\mu c_p}{k} \quad (۱۹)$$

$$D_h = \frac{2 \times ab}{(a+b)} F_R = \left[\frac{\dot{m} c_p}{A_c U_l} \right] \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_l F'}{\dot{m} c_p}\right) \right] \quad (۲۰)$$

که a و b به ترتیب، عرض و طول کانال عبور هوا است.

۲-۱- تحلیل اگزرژی

تحلیل اگزرژی روش مفیدی برای طراحی و بهره برداری از بسیاری از فرآیندهای صنعتی، به منظور استفاده بهینه از انرژی است. بازده قانون دوم هواگرمن خورشیدی، به صورت نسبت اگزرژی ورودی به اگزرژی خروجی سیستم تعریف می‌شود [۱۲]. اگر از اثر تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل صرف نظر شود، معادلات موازنه اگزرژی به صورت زیر است:

$$\sum \dot{E}_{in} = \sum \dot{E}_{out} \quad (۲۱)$$

$$\sum \dot{E}_{in} - \sum \dot{E}_{out} = \sum \dot{E}X_{dest} \quad (۲۲)$$

$$\sum \dot{E}X_{heat} - \sum \dot{E}X_{work} + \sum \dot{E}X_{mass,in} - \sum \dot{E}X_{mass,out} = \sum \dot{E}X_{dest} \quad (۲۳)$$

$$\sum \left(1 - \frac{T_a}{T_s}\right) \dot{Q}_s - w + \sum \dot{m}_{in} \psi_{in} - \sum \dot{m}_{out} \psi_{out} = \sum \dot{E}X_{dest} \quad (۲۴)$$

عملکرد حرارتی هواگرمن خورشیدی، از دیدگاه بازده قانون اول و دوم ترمودینامیک، بازده انرژی و بازده اگزرژی در گسترده‌ای از نرخ جریان جرمی هوای ورودی به هواگرمن و در محدوده‌ی زاویه قرارگیری ۰ تا ۳۰ درجه کلکتور نسبت به افق بررسی شده، نتایج حاصله از تحلیل فازی با نتایج تجربی ارائه شده در منبع [۱۱] اعتبار سنجی شده، از طرفی با مدل کردن ساختمان هواگرمن در محیط طراحی نرم‌افزار گمبیت هندسه هوا گرمن طراحی شده، سپس جهت مطالعه اثر چینش موانع بر رفتار جریان هوای عبوری، در محیط نرم افزاری فلوئنت رفتار جریان شبیه سازی شده است.

۲- تئوری

بازده قانون اول ترمودینامیک برای هواگرمن خورشیدی، عبارت است از نسبت انرژی حرارتی مفید گرفته شده توسط هواگرمن، به کل انرژی ورودی به هواگرمن [۱۱]:

$$\eta_I = \frac{Q_u}{A_c G_T} \quad (۱)$$

Q_u انرژی مفید دریافتی و A_c سطح کلکتور یعنی، سطحی است که انرژی تابشی خورشید (G_T) را دریافت می‌کند.

$$Q_u = A_c F_R [G_T \tau \alpha - U_l (T_{in} - T_a)] \quad (۲)$$

$$F_R = \left[\frac{\dot{m} c_p}{A_c U_l} \right] \left[1 - \exp\left(-\frac{A_c U_l F'}{\dot{m} c_p}\right) \right] \quad (۳)$$

F_R ضریب جذب کلکتور، $\tau \alpha$ حاصل ضرب ضریب عبور و ضریب جذب، U_l ضریب تلفات حرارتی، T_{in} دمای هوای ورودی و T_a دمای هوا محیط است. \dot{m} دبی جرمی جریان هوای ورودی، c_p ظرفیت حرارتی فشار ثابت هوا و ضریب بازده کلکتور است.

$$\tau \alpha = \tau \alpha_p / [1 - (1 - \alpha_p) \rho_C] \quad (۴)$$

τ ضریب عبور پوشش شفاف، α_p ضریب جذب صفحه جاذب و ρ_C ضریب نشر پوشش شفاف است.

$$U_l = U_t + U_b + U_e \quad (۵)$$

U_l ضریب کلی تلفات حرارتی، U_t ضریب تلفات حرارتی از بالای کلکتور، U_b ضریب تلفات حرارتی از پایین کلکتور و U_e ضریب تلفات حرارتی از اطراف هواگرمن می باشد.

$$U_t = \left[\frac{N}{A} + \frac{1}{h_w} \right]^{-1} + \left[\frac{\sigma (T_{pm} + T_a)(T_{pm}^2 + T_a^2)}{B} \right] \quad (۶)$$

$$A = \left(\frac{c}{T_{pm}} \right) \left[\frac{(T_{pm} - T_a)}{(N+f)e} \right] \quad (۷)$$

۳- مدل سازی

در این مطالعه سه نوع هواگرمکن خورشیدی با ساختمان یکسان در نظر گرفته شد. تفاوت این هواگرمکن‌ها در تعداد پوشش شفاف و داشتن یا نداشتن موانع روی صفحه جاذب در کانال هوا است. مشخصات کلی هواگرمکن‌ها، در جدول ۱ ارائه شده است.

به منظور بررسی تغییر رفتار جریان هوای عبوری از کانال هواگرمکن با آرایش دادن موانع در کانال، در دبی‌های حجمی متنوع و مقایسه آن با نوع مشابه فاقد موانع، ابتدا به کمک نرم افزار گمبیت ساختمان هوا گرمکن خورشیدی مدل شده، سپس با در نظر گرفتن شرایط مرزی، ورودی سرعت^۱ برای ورودی جریان هوا و شرط مرزی خروجی^۲، برای جریان هوای خروجی از هواگرمکن و شرط مرزی دیواره^۳، برای بدنه هواگرمکن و پوشش‌های شفاف هواگرمکن، به منظور بررسی تغییرات رفتار جریان هوا در بستر هواگرمکن، مدل مورد نظر در محیط نرم‌افزار فلونت مورد مطالعه قرار گرفته است. در شرایط شبیه‌سازی فرض عدم لغزش به صورت پیش فرض، در حرکت جریان هوا روی دیواری هوا گرمکن در نظر گرفته شده است. ساختمان کلکتور مدل شده در این مقاله، از جنس چوب و به ابعاد ۱۵۰×۳۱۵×۶۵ میلی‌متر است، بدنه کلکتور از چوب به ضخامت ۲۰ میلی‌متر و صفحه جاذب از جنس فولاد و به ضخامت ۵ میلی‌متر است که از ۱۱ مانع چوبی و هر یک به ابعاد ۷۰×۷۰×۹۰ میلی‌متر در هر یک از هواگرمکن‌های نوع II و نوع III استفاده شده است. برای ورود هوا به کلکتور و خروج هوا از آن، از لوله‌هایی به طول ۲۰۰ میلی‌متر و قطر ۵۸ میلی‌متر استفاده شده است، به طوری که در شرایط جغرافیای با طول ۴۱ درجه شرقی و عرض ۵۴ درجه شمالی، هواگرمکن رو به جنوب و به صورت شیبدار با زوایای ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه نسبت به افق مورد مطالعه قرار گرفته شده است. در شکل ۱، نحوه چینش موانع روی صفحه جاذب نمایش داده شده، شمای کلی ساختمان سه نوع هواگرمکن خورشیدی با پوشش‌های شفاف متفاوت و چینش موانع بر بستر کانال عبور هوا در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$\Psi_{in} = (h_{in} - h_a) - T_a(s_{in} - s_a) \quad (25)$$

$$\Psi_{out} = (h_{out} - h_a) - T_a(s_{out} - s_a) \quad (26)$$

$$\Sigma(1 - \frac{T_a}{T_s})\dot{Q}_s - \dot{m}[(h_{out} - h_{in}) - T_a(s_{out} - s_{in})] = \dot{E}_{dest} \quad (27)$$

در روابط اخیر \dot{E}_{work} ، \dot{E}_{mass} ، \dot{E}_{dest} و \dot{E}_{heat} به ترتیب، انرژی ناشی از انتقال حرارت، انرژی ناشی از انتقال جرم و تلفات انرژی ناشی از انتقال جرم را به اختصار با Ψ نشان می‌دهند و آن را انرژی جریانی می‌خوانند. T_s دمای معادل خورشید است که تقریباً معادل ۶۰۰۰ K است، h_{in} و h_{out} به ترتیب، انتالپی هوا در ورودی و خروجی، s_{in} و s_{out} به ترتیب، انتروپی هوا در ورودی و خروجی و \dot{Q}_s نرخ انرژی خورشیدی دریافتی به کمک صفحه جاذب کلکتور است که از رابطه (۲۸) محاسبه می‌شود:

$$\dot{Q}_s = G_T(\tau\alpha)A_c \quad (28)$$

تغییرات انتالپی و انتروپی هوا از روابط (۲۹-۳۰) محاسبه می‌شود:

$$\Delta h = h_{out} - h_{in} = c_p(T_{f,out} - T_{f,in}) \quad (29)$$

$$\Delta s = s_{out} - s_{in} = c_p \ln \frac{T_{f,out}}{T_{f,in}} - R \ln \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (30)$$

تلفات انرژی از رابطه (۳۱-۳۲) محاسبه می‌شوند:

$$\dot{E}_{dest} = I = T_a s_{gen} \quad (31)$$

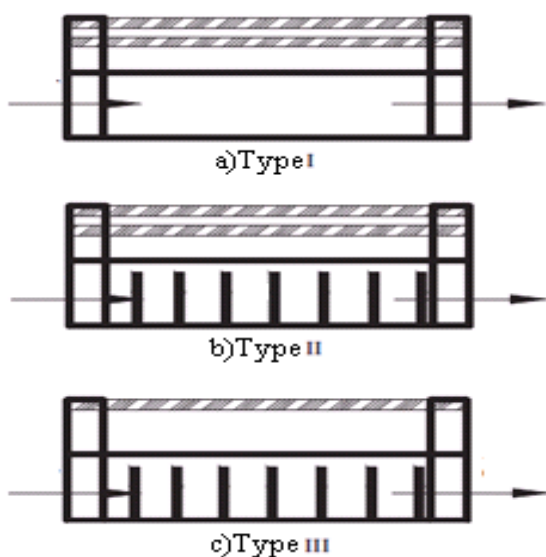
$$\eta_{II} = 1 - \frac{T_a s_{gen}}{(1 - \frac{T_a}{T_s})\dot{Q}_s} \quad (32)$$

جدول ۱- مشخصات سه نوع هواگرمکن مورد مطالعه

نوع هواگرمکن	نوع I	نوع II	نوع III
نوع هواگرمکن	فولادی و	فولادی و	فولادی و
صفحه جاذب	موجدار به ضخامت ۵ میلی‌متر	موجدار به ضخامت ۵ میلی‌متر	موجدار به ضخامت ۵ میلی‌متر
پوشش شفاف	دو پوشش و هر یک به ضخامت ۳ میلی‌متر	دو پوشش و هر یک به ضخامت ۳ میلی‌متر	یک پوشش به ضخامت ۳ میلی‌متر
بدنه عایق	چوب به ضخامت ۲۰ میلی‌متر	چوب به ضخامت ۲۰ میلی‌متر	چوب به ضخامت ۲۰ میلی‌متر
کانال هوا	بدون مانع	با مانع	با مانع

¹ Velocity² Outflow³ Wall

توجه به نگاشت انجام شده یک تصمیم اتخاذ شده و یا یک الگو تشخیص داده می‌شود. در نرم‌افزار متلب^۲ دو نوع سیستم استنتاج فازی وجود دارد. این دو نوع عبارتند از: ممدانی [۱۴] و سوگونو [۱۵] است. این دو نوع سیستم استنتاج فازی در ارتباط با روش تعیین خروجی با هم متفاوت می‌باشند. فرآیند استنتاج فازی، از پنج بخش تشکیل می‌شود: فازی سازی، اعمال عملگرهای منطقی (OR یا AND)، دلالت فرض بر نتیجه، تجمیع نتایج و غیرفازی سازی خروجی است.



شکل ۲- ساختمان سه نوع هواگرمن مورد بررسی [۱۱]

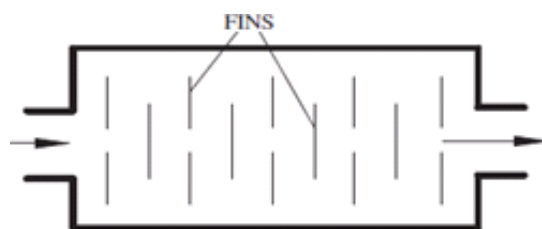
۴-۲- فازی سازی

گام اول در منطق فازی، دریافت ورودی‌ها و تعیین درجه عضویت آن‌ها به هر یک از مجموعه‌های فازی، از طریق توابع عضویت (MF) است. خروجی این مرحله، یک درجه فازی است که میزان عضویت ورودی را در مجموعه فازی تعیین می‌کند. تنها شرطی که تابع عضویت باید ارضا کند، این است که خروجی آن باید بین ۰ و ۱ باشد.

یک مجموعه کلاسیک را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$A = \{X | X > 6\} \quad (33)$$

یک مجموعه فازی در واقع یک مجموعه کلاسیک تعمیم یافته است. اگر X به عنوان مجموعه مادر در نظر گرفته شود



شکل ۱- آرایش موانع بر روی صفحه جاذب در کانال هوا

۴- منطق فازی و هواگرمن های خورشیدی

منطق فازی (FL) برای اولین بار در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده در مقاله‌ای به نام "مجموعه‌های فازی" معرفی گردید [۱۳]. منطق فازی، روشی آسان برای رسیدن به نتایج معین با ورودی‌های مبهم است. این رویه در کارهای پژوهشی، به منظور مدل کردن آزمایش‌ها می‌تواند مفید واقع گردد و حالتی از آزمایش را که به دلیل محدودیت‌ها نمی‌توان انجام داد، با صرفه جویی در زمان و هزینه به نتیجه رساند. به طور مثال در مقاله [۱۱]، آزمایش‌ها فقط برای سه دبی حجمی و سه شیب مختلف کلکتور انجام گردیده، نتایجی برای حالات میانی ارائه نشده است. با تحلیل منطق فازی، نتایج حالات میانی قابل پیش بینی است. با توجه به خطای ناچیز، مقادیر واقعی بهینه برای دبی حجمی و شیب کلکتور قابل محاسبه است.

منطق فازی در حالت سخت افزاری نیز می‌تواند به کار گرفته شود، ماشین‌های سنتی غیر فازی، تنها در دو حالت روشن و خاموش می‌توانند کار کنند. به طور مثال، یک هواگرمن خورشیدی که به منظور تهویه محیط به کار گرفته می‌شود، زمانی که هوا سرد است، روشن و زمانی که هوا گرم است، خاموش می‌شود، اما تهویه مطبوع فازی با سرد شدن تدریجی هوا، به تدریج تندتر و با گرم شدن تدریجی هوا، به تدریج کندتر کار می‌کند. این کار علاوه بر مطبوع تر شدن دمای هوای محیط، سبب صرفه‌جویی در انرژی شده.

۴-۱- فرآیند استنتاج فازی

استنتاج فازی، فرآیندی است که طی آن نگاشت از ورودی به خروجی‌ها، با استفاده از منطق فازی، ضابطه مند می‌شود. با

² MATLAB R2011b

³ Membership Function

¹ Fuzzy Logic

به کار گرفته شده در این مقاله، دارای دو ورودی است که عبارتند از دبی حجمی و شیب هواگرمن یا دبی حجمی و نوع هواگرمن. اکنون برای ترکیب درجه درستی این ورودی‌ها که توسط تابع عضویت اعمال شده است، از عملگرهای منطقی OR یا AND به صورت زیر استفاده می‌شود [۱۶]:

$$A \text{ and } B = \min(A, B) \quad (35)$$

$$A \text{ or } B = \max(A, B) \quad (36)$$

به طور مثال، نحوه اعمال عملگرهای منطقی برای محاسبه بازه قانون اول در هواگرمن خورشیدی نوع I در جدول ۲ ارائه شده است.

۴-۴- اعمال روش دلالت

قبل از اعمال روش دلالت، باید وزن هر قاعده مشخص شود. هر قاعده دارای وزن (عددی بین ۰ و ۱) است. این مقدار بر روی مقدار بدست آمده از قسمت فرض اعمال می‌شود. مقدار وزن عموماً ۱ است؛ بنابراین تأثیری در فرآیند دلالت ندارد. همان طور که در جدول ۲ مشخص است، وزن هر یک از قاعده‌ها در انتهای همان قاعده با (۱) نشان داده شده است. پس از تخصیص مقادیر مناسب به وزن‌ها، روش دلالت اجرا می‌شود. ورودی فرآیند، دلالت یک عدد خروجی آن یک مجموعه فازی است. فرآیند دلالت به ازای هر قاعده ایجاد می‌شود. دو روش برای انجام فرآیند دلالت وجود دارد: اول مینیمم که مجموعه فازی خروجی را برش می‌دهد و دوم ضرب که مجموعه فازی را مقایسه می‌کند [۱۸].

۴-۵- تجمیع خروجی‌ها

از آنجا که در یک سیستم استنتاج فازی تصمیم‌ها بر اساس ارزیابی همه قواعد اتخاذ می‌شوند، قواعد باید به طریقی با هم ترکیب شوند. تجمیع، فرآیندی است که طی آن مجموعه فازی ارائه دهنده خروجی هر یک از قواعد با هم در قالب یک مجموعه فازی ترکیب می‌شوند. عملیات تجمیع، فقط یک بار به ازای هر متغیر خروجی قبل از غیر فازی سازی خروجی انجام می‌شود. لیست توابع خروجی برش یافته طی فرآیند دلالت، ورودی فرآیند تجمیع را تشکیل می‌دهند. خروجی فرآیند تجمیع، یک مجموعه فازی به ازای هر متغیر خروجی است.

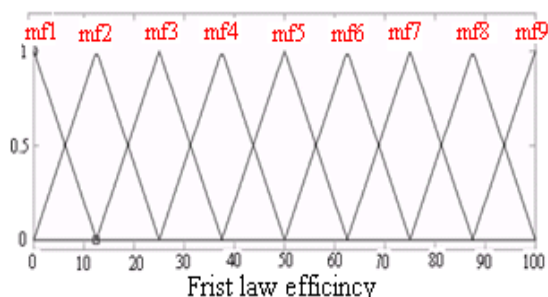
و اعضای آن با x نشان داده شود، آنگاه مجموعه فازی A به صورت زوج‌های مرتب در مجموعه مادر X تعریف می‌شود.

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in X\} \quad (34)$$

$\mu_A(x)$ تابع عضویت x در A است. هر عضو از X را به یک مقدار عضویت بین ۰ و ۱ نگاشت می‌کند. در این مقاله از نرم افزار متلب شامل، ۱۱ نوع تابع عضویت داخلی مثلثی، دوزنقه ای، گاوسی، ناقوسی شکل، حلقوی و ... استفاده شده است. اطلاعات بیشتر در مورد توابع مثلثی به عنوان ساده ترین نوع توابع عضویت در منابع [۱۶-۱۷] بیان شده است. شکل ۳ و شکل ۴ به ترتیب، توابع عضویت گاوسی و مثلثی را نشان می‌دهند.



شکل ۳- تابع عضویت گاوسی تعریف شده برای ورودی

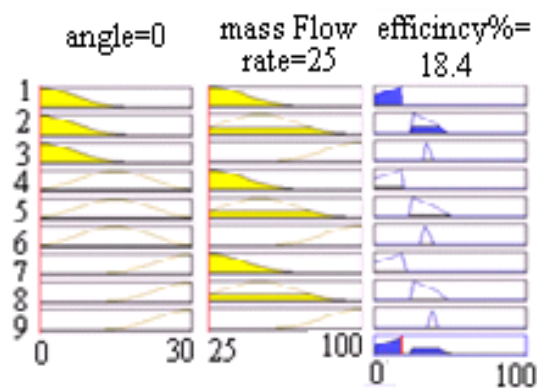


شکل ۴- تابع عضویت مثلثی تعریف شده برای خروجی

۴-۳- اعمال عملگرهای منطقی

پس از فازی سازی ورودی‌ها، درجه درستی هر یک از اجزای قسمت فرض تعیین می‌شود؛ در صورتی که قسمت فرض دارای چند بخش باشد، از عملگرهای فازی برای ترکیب درجه درستی بخش‌ها و تولید یک عدد به عنوان درجه درستی آن استفاده می‌شود. عدد حاصل از این فرآیند به تابع خروجی اعمال می‌شود. همان طور که ذکر شد، سیستم فازی

محاسبه و سپس نمودارهای مربوطه رسم شد. شکل‌های ۶-۸ بازده انرژی و شکل‌های ۹-۱۱ بازده انرژی را برای دبی‌های حجمی و شیب‌های مختلف نشان می‌دهند؛ همچنین برای هر یک از موارد مذکور، درستی تحلیل منطق فازی بررسی شد که در شکل‌های ۱۲-۱۷ نشان داده شده است.



شکل ۵- غیر فازی سازی برای هواگرمن نوع I با شیب ۰ درجه و دبی حجمی ۲۵ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع

تحلیل تجربی هر مسئله‌ای، معمولاً با صرف هزینه زیاد و زمان طولانی همراه است؛ بنابراین گاهی برای صرفه‌جویی در هزینه و زمان، از تعداد آزمایش‌ها کاسته می‌شود و این کاستی‌ها ممکن است، منجر به حذف نقاط و حالات مهمی از آزمایش‌ها شود. تحلیل منطق فازی، روشی مطمئن برای پیش‌بینی حالات میانی آزمایش‌ها است که در این مقاله برای پیش‌بینی دبی حجمی بهینه هواگرمن خورشیدی به کار گرفته شده است. به عبارت دیگر، تحلیل تجربی توأم با به کارگیری تحلیل منطق فازی، سبب کاهش تعداد آزمایش‌ها و در نتیجه صرفه‌جویی در هزینه‌ها و زمان انجام آزمایش‌ها است.

دنیز و همکاران [۱۱]، با انجام آزمایش‌هایی روی سه نوع هواگرمن تخت خورشیدی، تنها در سه دبی حجمی ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع و زوایای ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه، بازده‌های انرژی و انرژی را به دست آوردند. آن‌ها برای دبی حجمی و زوایای میانی، آزمایش‌هایی انجام نداده‌اند. در این مقاله، با استفاده از تحلیل منطق فازی، بازده‌های انرژی و انرژی هر سه نوع هواگرمن و برای زوایای ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه و دبی حجمی در فاصله ۲۵ تا ۵۰

جدول ۲- اعمال عملگرهای منطقی

ورودی سیستم: دبی حجمی هوای ورودی و شیب کلکتور
خروجی سیستم: بازده انرژی یا بازده قانون اول ترمودینامیک
1.if(angle is mf1) and (mass Flow rate is mf1) then (Frist law efficiency is mf1)(1)
2.if(angle is mf1) and (mass Flow rate is mf2) then (Frist law efficiency is mf2)(1)
3.if(angle is mf1) and (mass Flow rate is mf3) then (Frist law efficiency is mf3)(1)
4.if(angle is mf2) and (mass Flow rate is mf1) then (Frist law efficiency is mf4)(1)
5.if(angle is mf2) and (mass Flow rate is mf2) then (Frist law efficiency is mf5)(1)
6.if(angle is mf2) and (mass Flow rate is mf3) then (Frist law efficiency is mf6)(1)
7.if(angle is mf3) and (mass Flow rate is mf1) then (Frist law efficiency is mf7)(1)
8.if(angle is mf3) and (mass Flow rate is mf2) then (Frist law efficiency is mf8)(1)
9.if(angle is mf3) and (mass Flow rate is mf3) then (Frist law efficiency is mf9)(1)

۴-۶- غیر فازی سازی

ورودی فرآیند غیر فازی سازی، یک مجموعه فازی (حاصل از عملیات تجمیع) و خروجی آن، یک عدد است؛ بدین معنی که با تعیین مقادیر ورودی (دبی حجمی و شیب هواگرمن و یا دبی حجمی و نوع هواگرمن) و مقدار خروجی (بازده انرژی) در تحلیل انرژی و یا بازده انرژی در تحلیل انرژی) محاسبه می‌شود. در این مرحله می‌توان نتایج تحلیل انرژی و انرژی را برای حالات میانی به‌دست آورد که امکان تعیین آن‌ها در آزمایش‌ها به دلیل محدودیت زمانی و هزینه‌ای فراهم نیست. به طور مثال در تحلیل تجربی، بازده انرژی هواگرمن نوع I با شیب ۰ درجه و دبی حجمی ۲۵ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع ۱۸/۳۷ درصد است و منطق فازی مطابق شکل ۵، مقدار ۱۸/۴۰ درصد را پیش‌بینی می‌کند که خطای اندک ۰/۱۱ درصد وجود دارد.

۵- نتایج و بحث

با انجام تحلیل منطق فازی سه نوع هواگرمن شکل ۲ برای دبی حجمی در محدوده ۲۵ تا ۱۰۰ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع و شیب کلکتور ۰، ۱۵ و ۳۰ درجه، ابتدا بازده‌های انرژی و انرژی (بازده‌های قوانین اول و دوم ترمودینامیک)

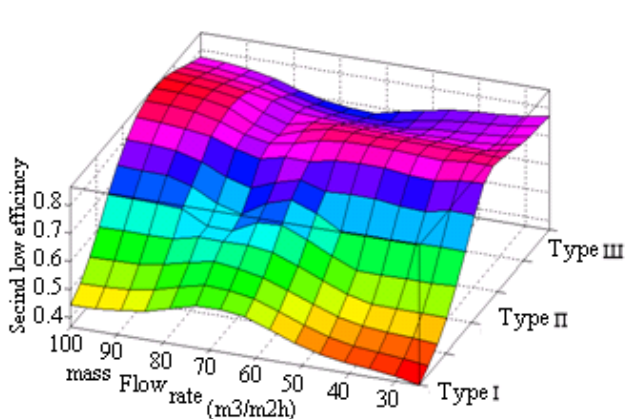
می‌توان در هریک از زوایای قرار گیری گیرنده هواگرمن نسبت به افق دبی حجمی بهینه هریک از هواگرمن هار را برای داشتن عملکرد بهینه بدست آورد.

در شکل‌های ۱۲ تا ۱۷، نتایج حاصل از حل منطق فازی برای بازده انرژی و انرژی واگرژی سه نوع هواگرمن بررسی شده در زاویه‌های قرارگیری مشخص گیرنده هوا گرمن نسبت به افق، با نتایج حل تجربی در دبی‌های که نتایج حل تجربی آن‌ها موجود است. مقایسه و درستی نتایج حاصل از حل منطق فازی، اعتبار سنجی شده است؛ در بیشتر موارد بررسی شده خطای حاصله، کمتر از یک درصد است؛ به طوری که بیشترین مقدار خطا ۱/۳۷ درصد است که مقدار ناچیزی است. به عنوان مثال، بازده انرژی هواگرمن نوع III با شیب ۳۰ درجه و دبی حجمی ۵۰ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع در تحلیل تجربی ۳۰/۱ درصد است که تحلیل منطق فازی با خطای ناچیز ۰/۳۳ درصد، مقدار ۳۰/۲ درصد را پیش بینی می‌کند؛ بنابراین می‌توان گفت، روش تحلیل منطق فازی، یک روش دقیق در تحلیل عملکرد حرارتی هواگرمن‌های خورشیدی است؛ به طوری که با خطای ناچیز در مقایسه با حل تجربی عملکرد حرارتی و حالت‌های بهینه عملکردی هواگرمن‌های خورشیدی را پیش بینی می‌نماید. درجداول ۳ و ۴، نتایج تحلیل منطق فازی سه نوع هواگرمن را برای سه مقدار دبی حجمی و سه زاویه قرارگیری کلکتور به ترتیب از نظر بازده انرژی و بازده انرژی ارائه شده است.

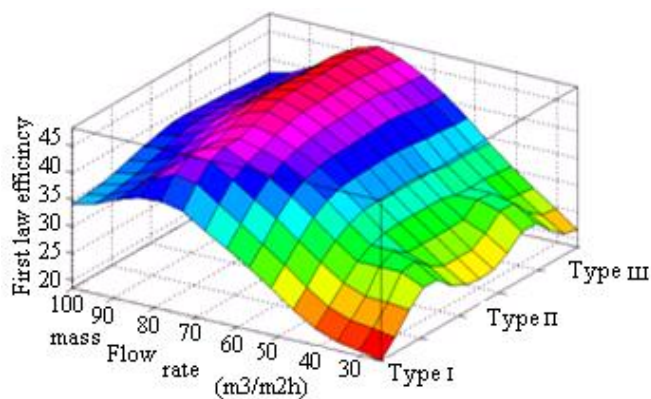
استفاده از پوشش شفاف و آرایش دادن موانع روی صفحه جاذب در کانال هوا، سبب افزایش اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی می‌شوند، پوشش‌های شفاف با کاهش اتلاف حرارتی و موانع نیز با بهبود انتقال حرارت از طریق بهحرکتدر آوردن هوا داخل هواگرمن و آشفته نمودن جریان و در نتیجه فرصت بیشتر برای تبادل حرارت، عملکرد حرارتی هواگرمن افزایش می‌یابد. این موضوع در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ که نتیجه مدل‌سازی جریان است، بهتر نمایان می‌باشد. در این شکل‌های با توجه به شرایط مرزی که پیش تر بیان شده در دبی حجمی مشخص جریان ورودی هوا به هواگرمن، به عنوان شرط مرزی ورودی و در زاویه قرارگیری، صفر درجه کلکتور هواگرمن خورشیدی نسبت به افق، رفتار جریان هوای عبوری از بستر هوا گرمن با ترسیم خطوط جریان در نرم افزار فلونتت به عنوان یک مسئله دینامیک سیالات

و نیز ۵۰ تا ۱۰۰ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع محاسبه شده است. نتایج تجربی دنیز و همکاران [۱۱]، دبی حجمی ۱۰۰ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع را از دیدگاه قانون اول به عنوان دبی بهینه معرفی می‌کند. به عبارت دیگر، از این نتایج استنباط می‌شود که بازده انرژی با افزایش پیوسته دبی حجمی از ۲۵ تا ۱۰۰ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع، افزایش می‌یابد. نتیجه مدل سازی جریان و تحلیل فازی در شکل ۶، با دبی حجمی بهینه تحلیل تجربی برای هواگرمن نوع I سازگار است، ولی برای هواگرمن‌های نوع II و III چنین نمی‌باشد. نتایج تجربی به دلیل نادیده گرفتن حالات میانی، قادر به پیش بینی دقیق دبی حجمی بهینه نیست. شکل های ۷ و ۸ به ترتیب برای هواگرمن‌های نوع II و III نشان می‌دهد، تحلیل منطق فازی بازده انرژی را برای دبی حجمی در فاصله ۸۵ تا ۹۰ متر مکعب بر ساعت بر متر مربع، ۲ تا ۴ درصد بیشتر از بازده انرژی در دبی حجمی بهینه مربوط به تحلیل تجربی پیش بینی می‌کند.

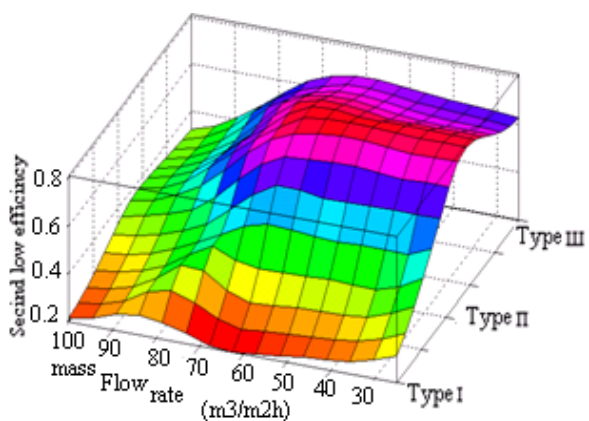
در منطق فازی می‌توان از کمیت‌های کیفی یا کمیت‌های زبان شناختی به راحتی استفاده کرد، در واقع منطق فازی با این ویژگی، امکان مقایسه انواع هواگرمن را با تغییر متغیر های کیفی نظیر، تعداد پوشش‌های شفاف، وجود یا عدم موانع و نحوه آرایش آن‌ها روی صفحه جاذب را میسر می‌سازد. مقایسه انواع هواگرمن‌ها از دیدگاه بازده انرژی، در شکل‌های ۶-۸ جالب است؛ زیرا با افزایش تعداد پوشش شفاف که یک کمیت کیفی است، بازده افزایش یافته و از طرفی همچنین با چینش موانع که یک کمیت کیفی است، در هواگرمن‌های نوع II و III در مقایسه با هواگرمن نوع I بازده افزایش می‌یابد و این از توانمندی‌های تحلیل منطق فازی است که امکان مقایسه کیفی را فراهم می‌آورد. همان طور که در هر یک از این شکل‌ها مشاهده می‌شود، با حرکت از هواگرمن نوع I به سمت هواگرمن نوع II، نرخ افزایش بازده انرژی بیشتر است تا این که حرکت از هواگرمن نوع II به سمت نوع III انجام شود؛ بنابراین آرایش موانع روی صفحه جاذب در کانال هوا در مقایسه با افزایش تعداد پوشش های شفاف، بازده انرژی را به طور چشمگیری بهبود می‌بخشد. در تمامی شکل‌های ارائه شده برای بازده انرژی و انرژی واگرژی، هوا گرمن نوع II در مقایسه با دو نوع هواگرمن دیگر، عملکرد حرارتی بهتری داشته و به راحتی از شکل‌های ارائه شده



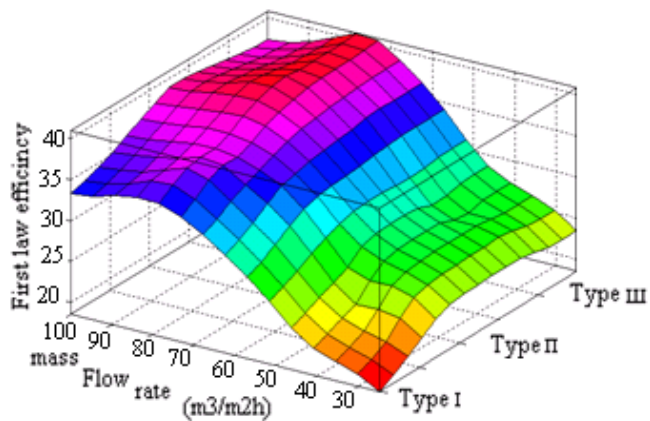
شکل ۹- بازده اگزرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۰ درجه



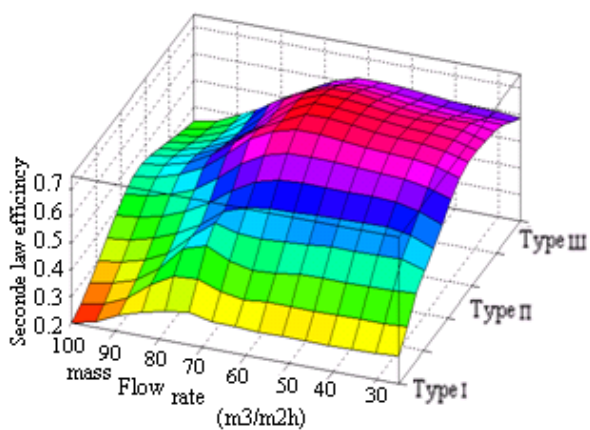
شکل ۶- بازده انرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۰ درجه



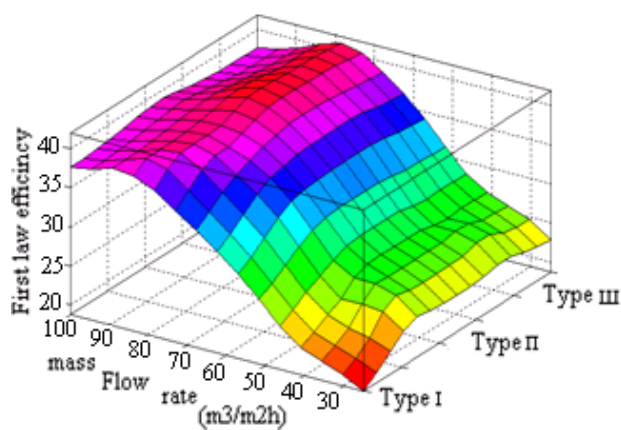
شکل ۱۰- بازده اگزرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۱۵ درجه



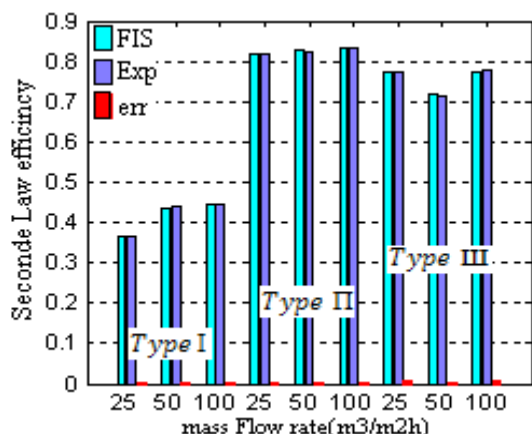
شکل ۷- بازده انرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۱۵ درجه



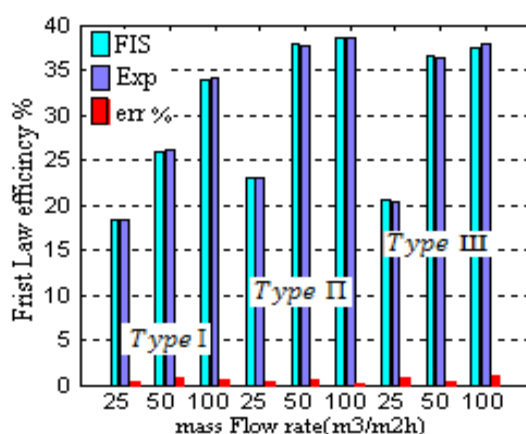
شکل ۱۱- بازده اگزرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۳۰ درجه



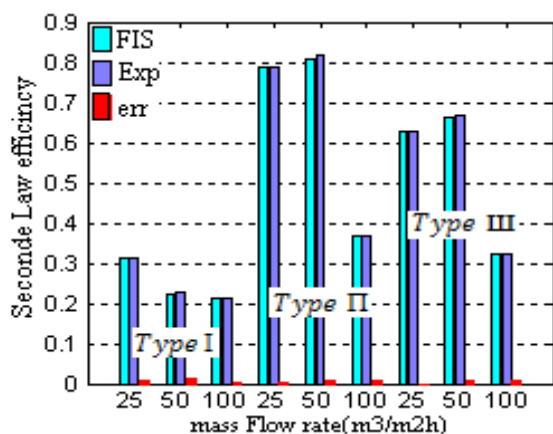
شکل ۸- بازده انرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۳۰ درجه



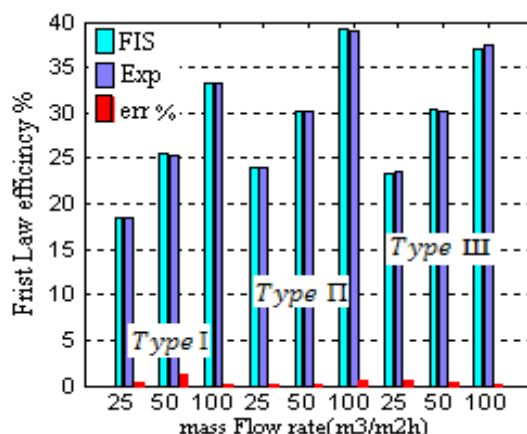
شکل ۱۵- بازده آگرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۰ درجه



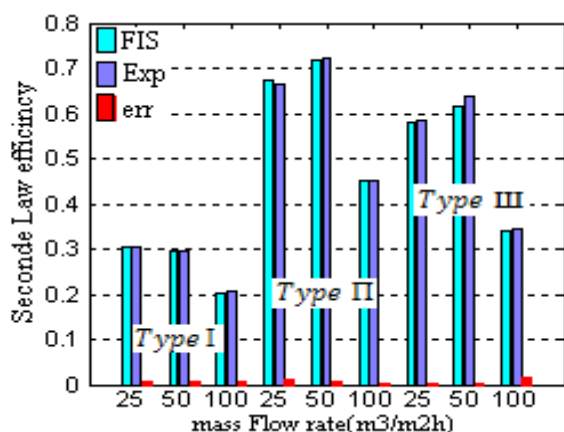
شکل ۱۲- بازده انرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۰ درجه



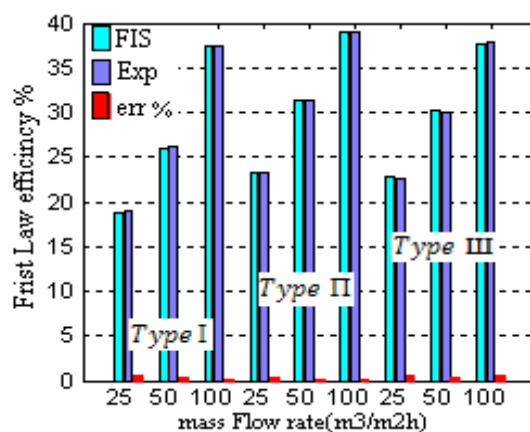
شکل ۱۶- بازده آگرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۱۵ درجه



شکل ۱۳- بازده انرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۱۵ درجه



شکل ۱۷- بازده آگرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۳۰ درجه



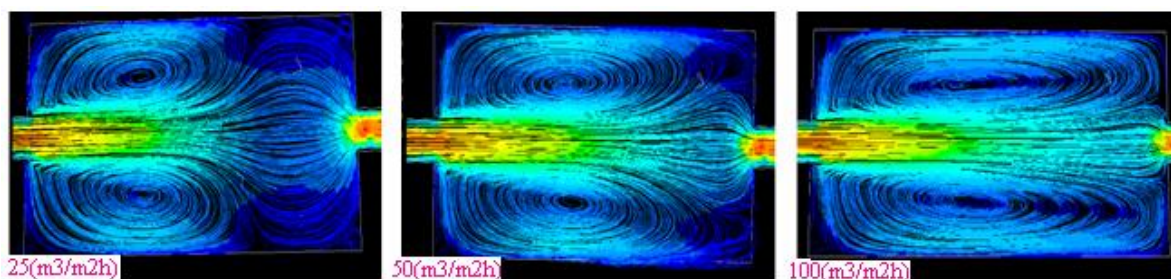
شکل ۱۴- بازده انرژی سه نوع هواگرمکن بر حسب دبی حجمی برای شیب ۳۰ درجه

جدول ۳- مقایسه تحلیل منطق فازی و تحلیل تجربی برای محاسبه بازده انرژی سه نوع هواگرمن خورشیدی

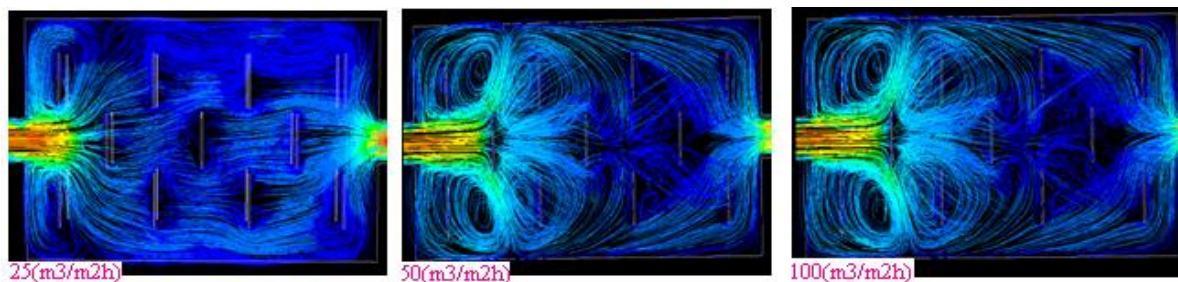
نوع هواگرمن	دبی حجمی ($m^3/hr.m^2$)	بازده انرژی در تحلیل منطق فازی برای شیب های مختلف			بازده انرژی در تحلیل تجربی برای شیب های مختلف			درصد خطای نسبی تحلیل منطق فازی برای شیب های مختلف		
		۰	۱۵	۳۰	۰	۱۵	۳۰	۰	۱۵	۳۰
نوع I	۲۵	۱۸/۳	۱۸/۴	۱۸/۸	۱۸/۳۷	۱۸/۴۸	۱۸/۸۹	۰/۳۸	۰/۴۳	۰/۴۷
	۵۰	۲۵/۸	۲۵/۵	۲۶	۲۶/۰۱	۲۵/۲۲	۲۶/۰۷	۰/۸۰	۱/۱۹	۰/۲۶
	۱۰۰	۳۳/۹	۳۳/۳	۳۷/۴	۳۴/۰۷	۳۳/۲۶	۳۷/۴۱	۰/۴۹	۰/۱۲	۰/۲۶
نوع II	۲۵	۲۲/۹	۲۴	۲۳/۳	۲۲/۹۶	۲۴/۰۲	۲۳/۲۳	۰/۲۶	۰/۰۸	۰/۳
	۵۰	۳۷/۸	۳۰/۲	۳۱/۳	۳۷/۶۲	۳۰/۱۷	۳۱/۳۴	۰/۴۷	۰/۰۹۹	۰/۱۲
	۱۰۰	۳۸/۶	۳۹/۲	۳۹	۳۸/۶۳	۳۸/۹۴	۳۹/۰۵	۰/۰۷۷	۰/۶۶	۰/۱۲
نوع III	۲۵	۲۰/۶	۲۳/۳	۲۲/۷	۲۰/۴۲	۲۳/۴۳	۲۲/۵۹	۰/۸۷	۰/۵۱	۰/۴۸
	۵۰	۳۶/۵	۳۰/۳	۳۰/۲	۳۶/۳۸	۳۰/۲۳	۳۰/۱۰	۰/۳۲	۰/۲۳	۰/۳۳
	۱۰۰	۳۷/۵	۳۷/۰۱	۳۷/۷	۳۷/۸۹	۳۷/۴۴	۳۷/۹۲	۱/۰۴	۰/۱۰	۰/۵۸

جدول ۴- مقایسه تحلیل منطق فازی و تحلیل تجربی برای محاسبه بازده انرژی سه نوع هواگرمن خورشیدی

نوع هواگرمن	دبی حجمی ($m^3/hr.m^2$)	بازده انرژی در تحلیل منطق فازی برای شیب های مختلف			بازده انرژی در تحلیل تجربی برای شیب های مختلف			درصد خطای نسبی تحلیل منطق فازی برای شیب های مختلف		
		۰	۱۵	۳۰	۰	۱۵	۳۰	۰	۱۵	۳۰
نوع I	۲۵	۰/۳۶۷	۰/۳۱۳	۰/۳۰۳	۰/۳۶۶۸	۰/۳۱۰۴	۰/۳۰۴۹	۰/۰۵	۰/۸۳	۰/۶۲
	۵۰	۰/۴۳۴	۰/۲۲۳	۰/۲۹۶	۰/۴۳۷۹	۰/۲۲۵۸	۰/۲۹۳۷	۰/۲۹	۱/۲۵	۰/۷۷
	۱۰۰	۰/۴۴۶	۰/۲۱۳	۰/۲۰۳	۰/۴۴۷۰	۰/۲۱۳۸	۰/۲۰۴۵	۰/۲۲	۰/۳۷	۰/۷۳
نوع II	۲۵	۰/۸۱۸	۰/۷۸۸	۰/۶۷۴۰	۰/۸۱۶۰	۰/۷۸۷۹	۰/۶۶۶۰	۰/۲۴	۰/۱۰۱۲	۱/۱۸
	۵۰	۰/۸۲۶	۰/۸۰۸	۰/۷۱۹	۰/۸۲۲۸	۰/۸۱۶۱	۰/۷۲۳۲	۰/۳۸	۰/۹۹	۰/۵۸
	۱۰۰	۰/۸۳۲	۰/۳۷	۰/۴۵	۰/۸۳۴۰	۰/۳۶۷۸	۰/۴۴۹۷	۰/۲۴	۰/۵۹	۰/۰۶۶
نوع III	۲۵	۰/۷۷۱	۰/۶۳	۰/۵۸۱	۰/۷۷۵۵	۰/۶۳	۰/۵۸۳۶	۰/۵۸	۰	۰/۴۴
	۵۰	۰/۷۱۷	۰/۶۶۴	۰/۶۱۶	۰/۷۱۸۵	۰/۶۶۹۴	۰/۶۱۳۷	۰/۲۰	۰/۸۱	۰/۳۷
	۱۰۰	۰/۷۷۲	۰/۳۲۵	۰/۳۴	۰/۷۷۷۷	۰/۳۲۳۰	۰/۳۴۵۹	۰/۷۳	۰/۶۱	۱/۳۷



شکل ۱۸- بررسی تغییر رفتار جریان در هواگرمن بدون آرایش موانع در طول کانال برای سه دبی حجمی مختلف



شکل ۱۹- بررسی تغییر رفتار جریان، در هواگرمن با آرایش موانع در طول کانال برای سه دبی حجمی مختلف

محاسباتی^۱، با به کار گیری حل کنند های بر پایه فشار^۲ و استفاده از الگوریتم SIMPLE به منظور مرتبط سازی روابط فشار و سرعت^۳، شبیه سازی شده است. در شکل ۱۹ که موانع روی صفحه جاذب و در کانال هوا آرایش یافته اند، طول خطوط جریان بلندتر و جریان دیرتر از هوا گرم کن خارج می‌شود؛ لذا فرصت تبادل حرارت بیشتر است و در نتیجه هوا بیشتر گرم می‌شود؛ در حالی که در شکل ۱۸ در غیاب موانع در کانال هوا، طول خطوط جریان هوا کوتاه تر است و هوا زودتر از کانال خارج می‌شود. با افزایش سرعت در حضور موانع نیز، فرصت انتقال حرارت کاهش می‌یابد؛ به عبارت دیگر، پس از یک دبی حجمی مشخص (دبی حجمی بهینه)، با افزایش دبی حجمی، هوا سریع تر کانال هواگرمن را ترک کرده و فرصت انتقال حرارت کاهش می‌یابد و این همان حالت بهینه است که در تحلیل تجربی دیده نشده است، ولی تحلیل منطبق فازی این دبی حجمی بهینه را پیش بینی می‌کند.

۱. تحلیل منطبق فازی عملکرد بهینه هواگرمن نوع I را از دیدگاه انرژی برای وضعیت رو به جنوب و با شیب ۳۰ درجه نسبت به افق برای دبی حجمی در محدوده ۹۰ تا ۱۰۰ مترمکعب بر ساعت، بر متر مربع پیش‌بینی میکند؛ همچنین این تحلیل، عملکرد بهینه هواگرمن نوع II و III را از دیدگاه انرژی برای وضعیت رو به جنوب و با شیب ۰ تا ۵ درجه نسبت به افق برای دبی حجمی در محدوده ۸۵ تا ۹۰ مترمکعب بر ساعت بر متر مربع پیش‌بینی می‌کند.

۲. تحلیل منطبق فازی عملکرد بهینه هواگرمن نوع I را از دیدگاه انرژی برای هواگرمن رو به جنوب و با شیب ۰ تا ۵ درجه نسبت به افق برای دبی حجمی در محدوده ۹۰ تا ۱۰۰ مترمکعب بر ساعت، بر متر مربع پیش‌بینی می‌نماید؛ همچنین این تحلیل، عملکرد بهینه هواگرمن نوع II و III را از دیدگاه انرژی برای هواگرمن رو به جنوب و با شیب ۰ تا ۵ درجه نسبت به افق برای دبی حجمی در محدوده ۹۰ تا ۱۰۰ مترمکعب بر ساعت بر متر مربع پیش‌بینی می‌نماید.

۳. آرایش دادن موانع روی کانال عبور هوا، عملکرد هواگرمن را در مقایسه با افزایش تعداد پوشش‌های شفاف، به طور چشمگیری بهبود می‌بخشد.

۴. تحلیل منطبق فازی، یک روش قدرتمند در تحلیل انرژی و انرژی برای هواگرمن خورشیدی است، زیرا این روش حالات میانی تحقیقات و آزمایش‌های تجربی را با خطای اندکی پیش‌بینی می‌کند. به عبارت دیگر،

۶- نتیجه گیری
در این مقاله با استفاده از منطبق فازی عملکرد بهینه سه نوع هوا گرمن خورشیدی با تعداد پوشش شفاف متفاوت و با آرایش و بدون آرایش موانع روی صفحه جاذب در کانال هوا، در گسترده ای از نرخ دبی حجمی و در محدوده زاویه‌ای قرار گیری ۰ تا ۳۰ درجه نسبت به افق و رو به جنوب، با محاسبه بازده انرژی و بازده انرژی بررسی شده، همچنین با شبیه

¹ CFD

² Pressure Based

³ Pressure Velocity Coupling

- [6] Farahat S, Sarhaddi F, Ajam H (2009) Exergetic optimization of flat plate solar collectors. *Renew Energ* 34(4): 1169-1174.
- [7] Torres-Reyes E, Navarrete-Gonzalez JJ, Cervantes-de Gortari JG (2004) Thermodynamic optimization as an effective tool to design solar heating systems. *Energy* 29: 2305-2315.
- [8] Bejan A (2006) *Advanced engineering thermodynamics*. Wiley Interscience Pub.
- [9] Dincer I (2000) Thermodynamic, exergy and environmental impact. *Energ Sourc* 22(8): 723-732.
- [10] Ucar A, Inalli M (2006) Thermal and exergy analysis of solar air collectors with passive augmentation techniques. *Int Commun Heat Mass Transfer* 33: 1281-1290
- [11] Aleta D, Bigili E, Ertekin C, Yaldiz O (2010) Experimental investigation of three different solar air heaters: Energy and exergy analyses. *Appl Energ* 87(10): 2953-2973
- [12] Kaushik SC, Abhyanker YP, Bose S, Mohan S (2001) Exergoeconomic evaluation of a solar thermal power plant. *Int G Sol Energy* 21: 239-314
- [13] Zadeh LA (1965) Fuzzy sets. *J Inf Control* 8: 338e353.
- [14] Belarbi K, Titel F, Bourebria W, Benmahammed K (2005) Design of Mamdani fuzzy logic controllers with rule base minimisation using genetic algorithm. *J Eng Appl Artif Intell* 18: 875e880.
- [15] Sugeno M (1985) *Industrial Applications of fuzzy control*. Elsevier, Amsterdam.
- [16] The MathWorks. *Fuzzy Logic Toolbox User's Guide*, Inc., 3 Apple Hill Drive, Natick, 1995-2007.
- [17] Pedrycz W (1994) Why triangular membership functions? *Fuzzy Set Syst* 64(1):21-30.

[۱۸] کیا س م (۱۳۸۹) منطق فازی در مطلب. تهران، انتشارات کیان رایانه سبز ۱۷۴-۱۷۸.

می‌توان در تحقیقات تجربی تعدادی از آزمایش‌ها را به منظور صرفه جویی در زمان و هزینه‌ها حذف کرد و با به کارگیری تحلیل منطق فازی، نتیجه آن دسته از آزمایش‌های حذف شده را پیش‌بینی کرد.

۷- علائم و نشانه‌ها

محیط	<i>a</i>
داخل	<i>in</i>
خارج	<i>out</i>
صفحه جاذب	<i>pm</i>
خورشید	<i>s</i>
سیال	<i>f</i>

۸- منابع

- [1] Yeh HM, Ho CD (2009) Effect of external recycle on the performance of flat plate solar air heaters with internal fins attached. *Renew Energy* 34: 1340-1347.
- [2] Esen H (2008) Experimental energy and exergy analysis of a double-flow solar air heater having different obstacles on absorber plates. *Build Environ* 43(6): 1046-1054.
- [3] Gill RS, Sukhmeet S, ParmPal S (2012) Low cost solar air heater. *Energ Convers Manage* 57: 131-142.
- [4] Prasad SB, Saini JS, Singh MK (2009) Investigation of heat transfer and friction characteristics of packed bed solar air heater using wire mesh as packing material. *Sol Energy* 83(5): 773-783.
- [5] Karsli S (2007) Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. *Renew Energ* 32(10): 1645-1660.