

## مدلسازی ریاضی هواگرمن خورشیدی دو مسیره با صفحه جاذب دنداندار

آرش میرعبدالله لواسانی

دانشیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران مرکز، دانشگاه آزاد  
اسلامی، تهران، ایران  
arashlavasani@iauctb.ac.ir

پریسا آذری

دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه تهران مرکز،  
دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
parisaazari@gmail.com

### نادر رهبر

استادیار، مرکز تحقیقات انرژی و توسعه پایدار، واحد سمنان،  
دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران  
nrabar@gmail.com

### چکیده

هواگرمن خورشیدی دومسیره با صفحه جاذب دارای دندان‌های وی شکل یکی از انواع هواگرمن می باشد که بسیار پر بازده بوده و از کارایی بالایی برخوردار است. در این تحقیق با تدوین یک کد کامپیوتری به کمک نرم افزار متلب، به مدلسازی ریاضی این نوع هواگرمن پرداخته شده است. طبق بررسی های انجام شده نتایج حاصل از شبیه سازی با نتایج موجود در مقالات مربوطه از مطابقت مناسبی برخوردار است. در این مدلسازی، اثر پارامترهای مختلف از جمله دبی هوای ورودی، ارتفاع دندان‌های وی شکل صفحه جاذب، فاصله بین پوشش شیشه‌ای و جاذب بر عملکرد هواگرمن مذکور، مورد بررسی قرار گرفته است.

**کلمات کلیدی:** هواگرمن خورشیدی، صفحه جاذب دندان‌های، مدلسازی ریاضی

### فهرست علائم (در صورت لزوم)

$\alpha_p$ : ضریب جذب جاذب	$C_p$ : گرمای ویژه هوا $(\frac{J}{kgk})$
$\alpha_g$ : ضریب جذب شیشه	$D_h, D_{hprim}$ : قطر هیدرولیکی در کانال بالایی و پایینی، (m)
$\tau_g$ : ضریب عبور شیشه	$h_{cgf}, h_{cga}, h_{cpf}, h_{cbf}$ : ضرایب انتقال حرارت جابجایی $(\frac{W}{m^2k})$
$\sigma$ : ثابت بولتزمن $5.67 \times 10^{-8} \frac{W}{m^2k^4}$	$h_{rij}$ : ضریب انتقال حرارتی تابشی $(\frac{W}{m^2k})$
$\rho$ : چگالی هوا $(\frac{kg}{m^3})$	$h_w$ : ضریب انتقال حرارت باد $(\frac{W}{m^2k})$
$\mu$ : لزجت دینامیکی $(\frac{kg}{ms})$	$H_c$ : فاصله پوشش شیشه ای و جاذب (m)
$\epsilon$ : ضریب گسیل اجزای هواگرمن	$H_g$ : ارتفاع دندان‌های $\nabla$ شکل (m)
$T_a$ : دمای هوا (K)	$I$ : تابش خورشیدی $(\frac{W}{m^2})$
$T_{f1, f2}$ : دمای متوسط سیال (K)	$k$ : هدایت حرارتی $(\frac{W}{m k})$
$T_{fi}$ : دمای هوای اولیه (K)	$k_i$ : هدایت حرارتی عایق $(\frac{W}{m k})$
$T_o$ : دمای هوای خروجی (K)	$L$ : طول کلکتور (m)
$U_b$ : ضریب افت حرارت صفحه عایق زیرین $(\frac{W}{m^2k})$	$m$ : دبی جرمی هوای ورودی $(\frac{kg}{m^2s})$
$V$ : سرعت باد $(\frac{m}{s})$	$\eta$ : بازده کلکتور
$W$ : عرض کلکتور (m)	$T_g, T_b$ : دمای متوسط اجزای هواگرمن (K)
	$X$ : ضخامت عایق (m)

در سالهای اخیر استفاده از انرژی خورشیدی به عنوان یک منبع پاک انرژی در نقاط مختلف جهان گسترش یافته است. امروزه از این منبع انرژی در کاربردهای مختلفی از جمله هواگرمن‌ها می‌توان بهره گرفت. با توجه به این امر می‌بایست به دنبال راهکارهایی بود تا با استفاده از آن بتوان میزان بازدهی و کارایی این سیستم‌ها را افزایش داد. ساختار اصلی یک هواگرمن خورشیدی شامل یک پوشش شیشه‌ای، یک کانال هوا و یک صفحه زیرین به صورت عایق می‌باشد که جریان هوای درون آن با استفاده از نور خورشید گرم می‌شود. با تغییراتی که می‌توان در ساختار صفحه جاذب هواگرمن اعمال نمود، بازدهی آن قابل افزایش است.

هواگرمن تحت بررسی در این تحقیق از نوع دومسیره با جریان مخالف و با صفحه جاذب دارای دندان‌های V شکل است و هوای ورودی در بالای کلکتور وارد شده و به انتهای آن می‌رسد و سپس تغییر مسیر داده و در کانال زیرین کلکتور به سمت خروجی جریان می‌یابد. اقدامات مختلفی توسط محققان در زمینه هواگرمن‌های خورشیدی انجام شده است. کریم به مطالعه تجربی و تئوری سه نوع هواگرمن صفحه تخت، پره دار و با دندان‌های V شکل پرداخت. هدف او از این مطالعه بهبود عملکرد هواگرمن نوع معمولی بود. هواگرمن مطالعه شده از نوع دو مسیره بوده و بررسی‌ها برای افزایش راندمان هواگرمن بدون افزایش اندازه و هزینه انجام شد. طبق مطالعات او کارایی هواگرمن تک مسیره با دندان‌های V شکل نسبت به سایر انواع آن بیشتر بوده است [۱].

در مطالعه دیگری که توسط کریم انجام شد، یک هواگرمن نوع دو مسیره با صفحه جاذب دارای دندان‌های V شکل با استفاده از نرم افزار متلب شبیه سازی شد. در کار او نتایج داده‌های حاصل از شبیه سازی و داده‌های تجربی مطابق می‌باشد. یک مطالعه پارامتری در تحقیق او انجام شده و نتایج نشان داد که شدت تابش خورشید، دمای هوای ورودی، نرخ جریان و طول هواگرمن بر روی بازده هواگرمن تاثیر بالایی دارند [۲].

لیو در تحقیق خود به بررسی عملکرد و مقایسه یک هواگرمن موجدار با جریان مخالف و یک هواگرمن با دندان‌های V شکل پرداخت. در هواگرمن موجدار با جریان مخالف، کانال جریان هوا از صفحه جاذب موجدار و صفحه زیرین موجدار ساخته شده که به صورت معکوس نسبت به هم قرار دارند. در حالی که در هواگرمن دندان‌دار کانال هوا از یک صفحه جاذب دندان‌دار و صفحه زیرین تخت تشکیل شده است. نتایج تحقیقات وی نشان داد که فاصله متوسط بین پوشش شیشه‌ای و صفحه جاذب، مقدار گسیل تابشی صفحه زیرین، شدت تابش، و زاویه قرارگیری کلکتور، اثرات ناچیزی روی بازدهی هر دو کلکتور دارند. همچنین صفحه زیرین موجدار با جریان معکوس علت افزایش نرخ انتقال حرارت درون هوا در اثر ایجاد آشفستگی می‌باشد که باعث بالا رفتن عملکرد حرارتی سیستم می‌شود [۳].

در مقاله دیگری، لیو به مطالعه پارامتری و مقایسه عملکرد یک هواگرمن خورشیدی با صفحه جاذب دندان‌دار و صفحه تخت پرداخت. عملکرد حرارتی این دو نوع هواگرمن تحت شرایط مخلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کلکتور خورشیدی با صفحه جاذب دندان‌دار به شکل V نسبت به نوع صفحه تخت عملکرد بهتری دارد. همچنین نتایج نشان داد که برای رسیدن به نتیجه بهتر، می‌بایست اندازه دندان‌های V شکل در جاذب دندان‌های و همچنین فاصله بین جاذب تخت و صفحه زیرین در هواگرمن صفحه تخت کم باشد [۴].

در تحقیق دیگری یک مطالعه تجربی بر روی سه نوع هواگرمن خورشیدی با صفحه تخت، پره‌دار و با دندان‌های V شکل انجام شد. با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص شد که کلکتور با صفحه جاذب دندان‌دار پربازده‌ترین نوع نسبت به دو نوع دیگر است. کلکتورها به صورت دو مسیره نیز مورد مطالعه قرار گرفتند که مشخص شد نوع دو مسیره بازده بالاتری نسبت به نوع تک مسیره دارد. بهبود در بازده کلکتور در حالت دو مسیره برای هواگرمن نوع تخت بیشتر است [۵].

در کار تحقیقاتی دیگری که توسط ال سبائی انجام شد یک هواگرمن خورشیدی دو مسیره پره‌دار و هواگرمن با صفحه جاذب با دندان‌های V شکل مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه بین دماهای خروجی هوا، دمای صفحه جاذب و توان خروجی دو هواگرمن انجام شد. همچنین بر روی اثر نرخ جریان هوا بر افت فشار و بازده حرارتی و ترموهیدرولیکی دو نوع هواگرمن بحث و بررسی شده و نتایج نشان داد که بازده هواگرمن با صفحه جاذب با دندان‌های V شکل در مقایسه با نوع پره‌دار بالاتر است [۶].

در اقدام مشابه دیگری ال سبائی دو نوع هواگرمن خورشیدی دو مسیره صفحه تخت و با صفحه جاذب دارای دندان‌های V شکل را مورد بررسی تجربی و تئوری قرار داد. در این کار تحقیقاتی، مقایسه بین دماهای خروجی جریان هوا، توان خروجی و افت حرارتی هر دو نوع هواگرمن انجام شد. نتایج نشان داد که هواگرمن دو مسیره با دندان‌های V شکل در مقایسه با نوع صفحه تخت بازدهی بالاتری دارد [۷].

اتمان بر روی بهبود عملکرد چهار نوع مختلف سیستم هواگرمن شامل کلکتور خورشیدی با دندان‌های V شکل، هواگرمن دومسیره با سیستم ذخیره داخلی، سیستم رطوبت گیر خورشیدی برای بیمارستان ها و سیستم کلکتور فتوولتاییک مطالعاتی را انجام داد [۸].

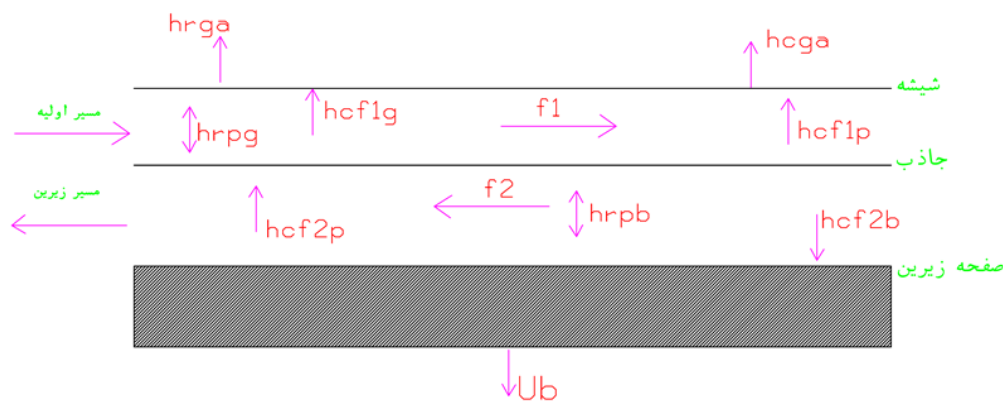
یک مطالعه پارامتری توسط لین بر روی عملکرد حرارتی هواگرمن‌های با جریان مخالف انجام شد. این هواگرمن‌ها شامل یک صفحه جاذب موجدار و یک صفحه زیرین موجدار می‌باشند که در جهت مخالف نسبت به جریان هوای کانال قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داد که برای رسیدن به بازده بالاتر در کلکتور می‌بایست مقطع کانال در جهت جریان نازکتر باشد [۹].

## ۲- روش‌شناسی

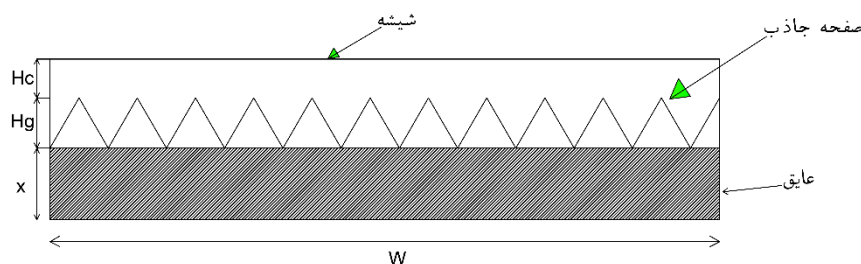
از چالش‌های مهم در زمینه هواگرمن‌های خورشیدی افزایش میزان بازدهی آنها می‌باشد. با اصلاحاتی که در ساختار آنها می‌توان اعمال نمود، عملکرد این سیستم‌ها قابل افزایش است. یکی از این اقدامات تغییراتی است که در صفحه جاذب این کلکتورها ایجاد می‌شود. در این تحقیق یک هواگرمن نوع دو مسیره با صفحه جاذب دارای دندان‌های V شکل با استفاده از نرم افزار متلب مدلسازی ریاضی شده و نتایج حاصل از آن با یک نمونه مشابه مقایسه شده است. همچنین اثر پارامترهای مختلف بر روی بازدهی این نوع هواگرمن مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۲-۱- معادلات حاکم

هواگرمن تحت بررسی در این تحقیق شامل یک پوشش شیشه‌ای، هوا در کانال بین پوشش شیشه‌ای و صفحه جاذب، صفحه جاذب با دندان‌های V شکل، کانال هوا بین صفحه جاذب و صفحه زیرین، و صفحه زیرین می‌باشد. پس از اعمال موازنه انرژی بر روی اجزای تشکیل دهنده هواگرمن، معادلات مربوطه به شرح زیر خواهند بود:



شکل ۱: طرحواره هواگرمن خورشیدی دومسیره



شکل ۲: طرحواره صفحه جاذب با دندان‌های V شکل

جدول ۱: مشخصات هواگرمن دو مسیره مدلسازی شده

طول هواگرمن	۲ متر
عرض هواگرمن	۱ متر
$\varepsilon_g$	۰/۹۴
$\varepsilon_g$	۰/۹
$\varepsilon_b$	۰/۹۴
$\alpha_g$	۰/۰۶
$\alpha_p$	۰/۹۵
$\tau_g$	۰/۸۴

موازنه انرژی در پوشش شیشه‌ای:

$$\frac{dT_g}{dt} = \frac{1}{\mu_g c_g} [\alpha_g S - h_{cgf1}(T_g - T_{f1}) - h_w(T_g - T_a) - h_{rgp}(T_g - T_p)] \quad (۱)$$

در رابطه بالا S شدت تابش خورشید بوده و از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲]:

$$S = \alpha_g I \quad (۲)$$

ضریب انتقال حرارت شیشه با هوای مجاور آن به صورت زیر تعریف می‌شود [۲]:

$$h_{c,g-a} = 5.7 + 3.8 v_{wind} \quad (۳)$$

ضریب انتقال حرارت تابشی بین دو صفحه عبارتست از [۲]:

$$h_{rij} = \left(\frac{1}{\varepsilon_i} + \frac{1}{\varepsilon_j} - 1\right)^{-1} \sigma (T_i^2 + T_j^2)(T_i + T_j) \quad (۴)$$

برای محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی بین پوشش شیشه‌ای و هوای درون کانال از تعریف عدد ناسلت استفاده می‌شود.

$$h_{cgf1} = Nu \frac{k}{D_h} \quad (۵)$$

که با توجه به دندانهای بودن صفحه جاذب، رابطه مربوطه به صورت زیر اصلاح می‌شود [۲]:

$$h_{cgf} = \left(Nu \frac{k}{D_h}\right) \left(\frac{1}{\sin(\theta/2)}\right) \quad (۶)$$

که  $\theta$  زاویه دندانهای صفحه جاذب بوده و  $D_h$  قطر هیدرولیکی می‌باشد و برابر است با [۲]:

$$D_h = H_c + \frac{H_g}{2} \quad (۷)$$

موازنه انرژی در کانال هوا بین پوشش شیشه‌ای و صفحه جاذب:

$$\frac{dT_{f1}}{dt} = \frac{1}{\rho_f c_p D_1} \left[ h_{cgf1}(T_g - T_{f1}) - h_{cf1p}(T_{f1} - T_p) - \frac{2\dot{m}c_f}{wL}(T_{f1} - T_a) \right] \quad (۸)$$

رابطه مربوط به عدد ناسلت با نوع رژیم جریان مرتبط بوده و بنابراین نیاز به محاسبه عدد رینولدز می‌باشد [۲].

$$Re = \frac{\rho U_f D_h}{\mu} \quad (۹)$$

$$If Re < 2800$$

$$Nu = 2.821 + 0.126Re \frac{H_g}{L} \quad (۱۰)$$

$$If 2800 < Re < 10^4$$

$$Nu = 1.9 \times 10^{-6} Re^{1.79} + 225 \frac{H_g}{L} \quad (۱۱)$$

$$If 10^4 < Re < 10^5$$

$$Nu = 0.032Re^{0.74} + 0.242Re^{0.74} \frac{H_g}{L} \quad (۱۲)$$

موازنه انرژی در صفحه جاذب:

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{1}{\mu_p c_p} \left[ \alpha_p \tau_g S + h_{rgp}(T_g - T_p) + h_{cf1p}(T_{f1} - T_p) - h_{cpf2}(T_p - T_{f2}) - h_{rbp}(T_p - T_b) \right] \quad (۱۳)$$

موازنه انرژی در کانال هوا بین صفحه جاذب و صفحه زیرین:

$$\frac{dT_{f2}}{dt} = \frac{1}{\rho_f c_f D_2} \left[ h_{cpf2}(T_p - T_{f2}) - h_{cf2b}(T_{f2} - T_b) - \frac{2\dot{m}c_f}{wL}(T_{f2} - 2T_{f1} + T_a) \right] \quad (۱۴)$$

موازنه انرژی در صفحه زیرین:

$$\frac{dT_b}{dt} = \frac{1}{\mu_b c_b} \left[ h_{cf2b}(T_{f2} - T_b) + h_{rbp}(T_p - T_b) - U_b(T_b - T_a) \right] \quad (۱۵)$$

ضریب انتقال حرارت در صفحه زیرین به صورت زیر تعریف می‌شود [۲].

$$U_b = \frac{1}{\frac{X}{k_i} + \frac{1}{h_w}} \quad (۱۶)$$

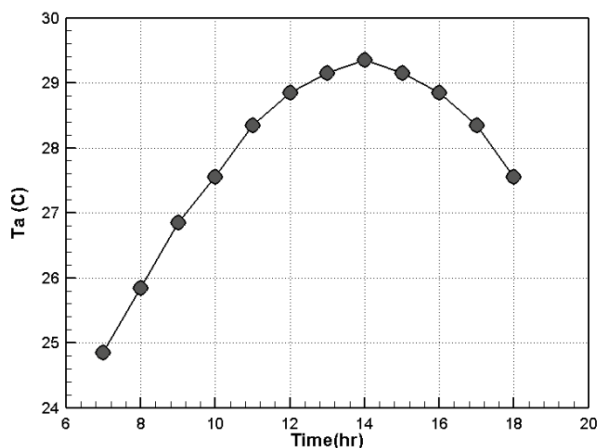
همچنین بازده هواگرمکن دو مسیره با جاذب دارای دندان‌های V شکل عبارتست از [۲]:

$$\eta = \frac{mC_p(t_o - t_{fi})}{I} \quad (۱۷)$$

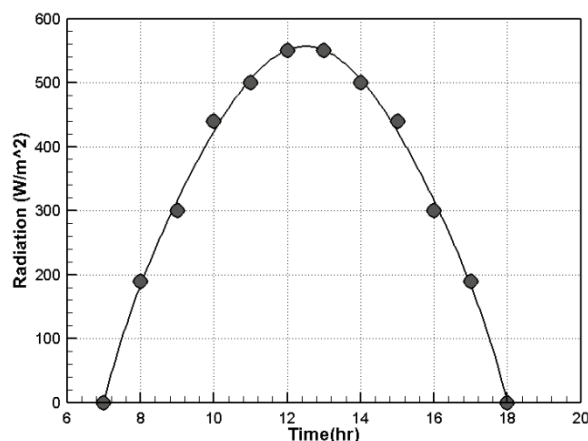
که  $t_o$  دمای هوای خروجی از هواگرمکن و  $t_{fi}$  دمای هوای ورودی به آن است.

## ۲-۳- اعتبارسنجی، نمودارها و نتایج

در این تحقیق با تدوین یک کد کامپیوتری به کمک نرم افزار متلب، به مدلسازی ریاضی یک هواگرمکن دومسیره پرداخته شده است. با استفاده از این کد می‌توان به بررسی اثر پارامترهای مختلف از جمله ابعاد هندسی هواگرمکن و دبی هوای ورودی به کلکتور بر روی دمای هوای خروجی و میزان بازدهی هواگرمکن دو مسیره با صفحه جاذب دارای دندانه‌های V شکل پرداخت. در شکل زیر نمودار تغییرات تابش خورشیدی و دمای هوای محیط با زمان که در این مدلسازی از آن استفاده شده است، قابل مشاهده است.

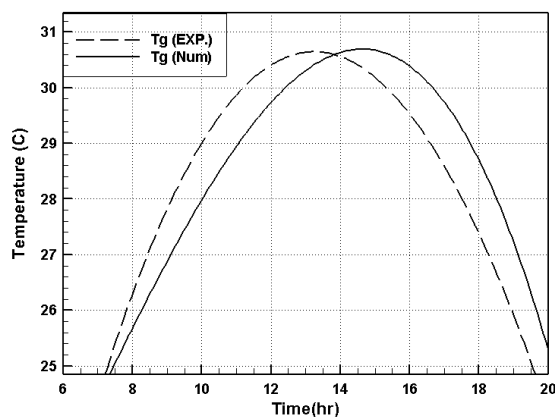


شکل ۴: تغییرات دمای هوای محیط بر حسب زمان [۲]



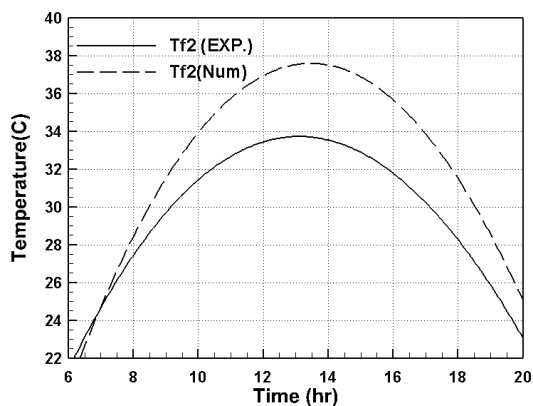
شکل ۳: تغییرات شدت تابش خورشیدی بر حسب زمان [۲]

در این تحقیق برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از کد کامپیوتری با نتایج موجود، از مقاله کریم و همکاران [۲] استفاده شده است. برای این کار دما در اجزای مختلف هواگرمکن مورد بررسی قرار گرفته و با نتایج مقاله شماره [۲] مقایسه شده است. نمودار تغییرات دما در پوشش شیشه‌ای هواگرمکن تحت بررسی در این تحقیق برای دبی هوای ورودی به میزان ۰/۰۳۵ در شکل ۵ قابل مشاهده است. میزان خطا بین نتایج تجربی و عددی در این صفحه حداکثر ۴ درصد است.

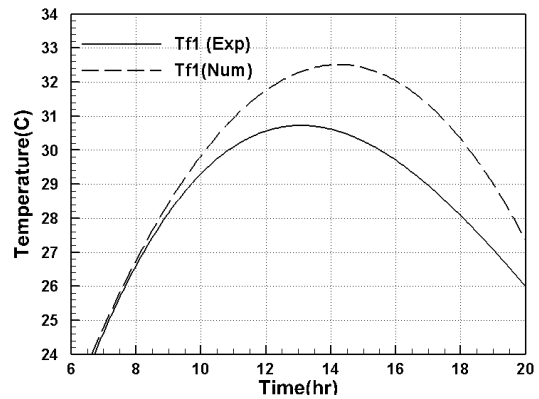


شکل ۵: تغییرات دمای پوشش شیشه‌ای بر حسب زمان

نمودار تغییرات دما با زمان برای کانال هوا بین پوشش شیشه‌ای و جاذب و همچنین در کانال هوا بین جاذب و عایق برای دبی هوای ۰/۰۳۵ به ترتیب در شکل ۶ و ۷ رسم شده است. میزان خطا بین نتایج تجربی و عددی در این حالت‌ها حداکثر ۹ درصد است.

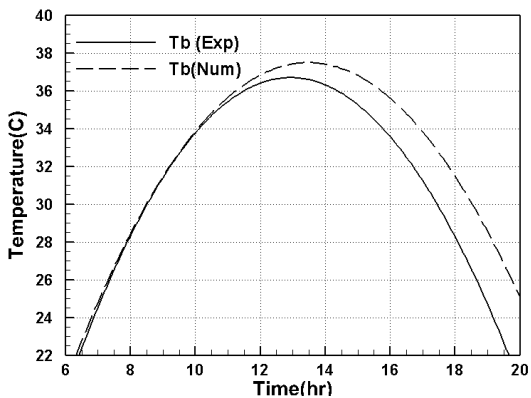


شکل ۷: تغییرات دمای هوا بین صفحه جاذب و صفحه زیرین بر حسب زمان

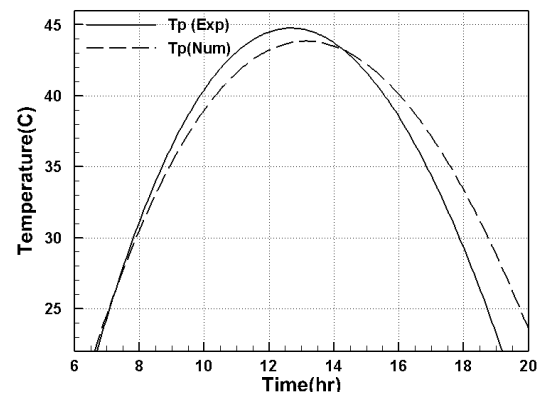


شکل ۶: تغییرات دمای هوا بین پوشش شیشه‌ای و صفحه جاذب بر حسب زمان

نمودار تغییرات دما با زمان برای صفحه جاذب و صفحه عایق برای دبی هوای ۰/۰۳۵ به ترتیب در شکل‌های شماره ۸ و ۹ رسم شده است. میزان خطا بین نتایج تجربی و عددی در این صفحات حداکثر ۱۰ درصد است.

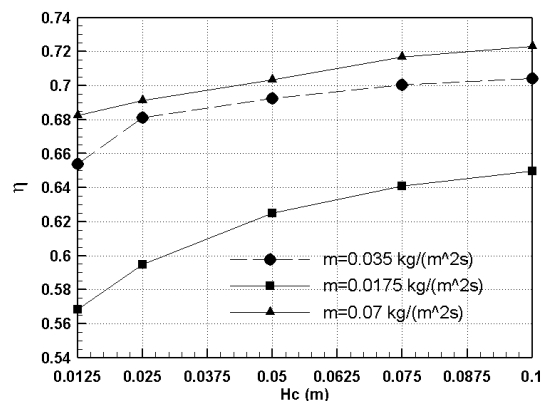


شکل ۹: نمودار دمای صفحه زیرین بر حسب زمان



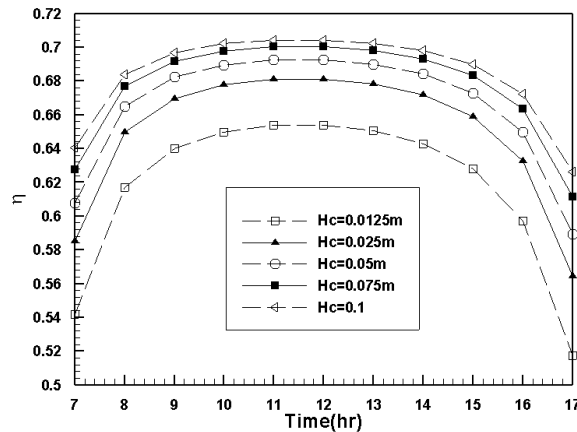
شکل ۸: نمودار دمای صفحه جاذب بر حسب زمان

در این تحقیق اثر ارتفاع دندان‌های V شکل صفحه جاذب  $H_g$  و همچنین اثر فاصله بین پوشش شیشه‌ای و جاذب  $H_c$ ، در دبی‌های جرمی مختلف بر روی بازدهی هواگرمکن دو مسیره مورد بررسی قرار گرفته است. برای بررسی اثر فاصله بین پوشش شیشه‌ای و جاذب  $H_c$  در دبی‌های جرمی مختلف، با تغییر این فاصله در دبی‌های جرمی ۰/۰۱۷۵، ۰/۰۳۵، ۰/۰۷، نمودار مربوط به بازدهی هواگرمکن در شکل شماره ۱۰ ترسیم شده است.



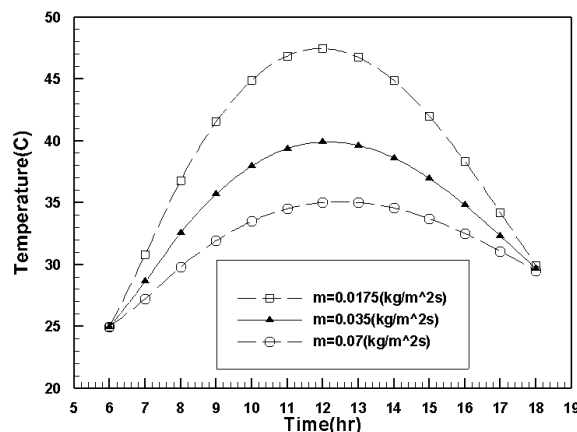
شکل ۱۰: تغییرات بازده بر حسب فواصل مختلف بین شیشه و جاذب با تغییر دبی جرمی

در شکل زیر تغییرات بازدهی هواگرمن با گذشت زمان برای مقادیر مختلف  $H_c$  در دبی جرمی ۰/۰۳۵ قابل مشاهده است.



شکل ۱۱: تغییرات بازده بر حسب زمان برای فاصله‌های مختلف بین شیشه و صفحه جاذب ( $H_c$ )

در شکل شماره ۱۲ تغییرات دمای هوای خروجی از هواگرمن با گذشت زمان در دبی‌های جرمی ۰/۰۱۷۵، ۰/۰۳۵، ۰/۰۷ قابل مشاهده است. در این حالت ارتفاع دندان‌های V شکل ۲/۵ سانتیمتر و فاصله بین پوشش شیشه‌ای و جاذب ۱/۲۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده است.

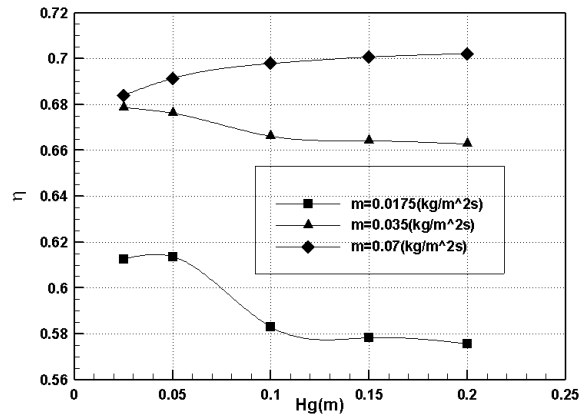


شکل ۱۲: تغییرات دمای خروجی از هواگرمن بر حسب زمان برای دبی‌های جرمی مختلف (m)

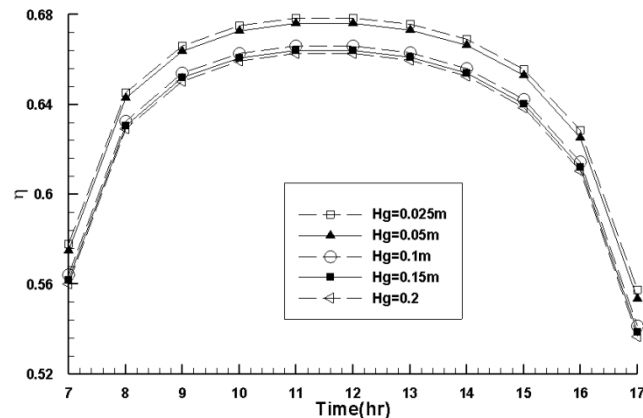
در این تحقیق اثر ارتفاع دندان‌های V شکل صفحه جاذب بر روی میزان بازدهی هواگرمن و دمای هوای خروجی از هواگرمن بررسی شده است.

برای بررسی ارتفاع دندان‌های V شکل صفحه جاذب در دبی‌های جرمی مختلف، با تغییر این فاصله در دبی‌های جرمی ۰/۰۱۷۵، ۰/۰۳۵، ۰/۰۷ نمودار مربوط به بازدهی هواگرمن در شکل شماره ۱۳ ترسیم شده است.





شکل ۱۳: تغییرات بازده بر حسب زمان برای ارتفاع های مختلف دندانه های V شکل صفحه جاذب ( $H_g$ ) در شکل شماره ۱۴ تغییرات بازدهی هواگرمن با گذشت زمان برای مقادیر مختلف  $H_g$  در دبی جرمی  $0.35/0$  قابل مشاهده است.



شکل ۱۴: تغییرات بازده بر حسب زمان برای ارتفاع های مختلف دندانه های V شکل صفحه جاذب ( $H_g$ )

## ۲-۴ نتایج و بحث روی نتایج

همانگونه که از شکل شماره ۱۰ مشاهده می گردد با افزایش فاصله بین پوشش شیشه ای و جاذب از  $1/25$  سانتیمتر تا  $10$  سانتیمتر، در دبی های جرمی مختلف میزان بازدهی هواگرمن روند افزایشی دارد. علت این افزایش را می توان در افزایش نرخ انتقال حرارت به هوای عبوری از کانال بین شیشه و جاذب دانست که با افزایش فاصله بین شیشه و جاذب رخ می دهد.

همچنین با افزایش دبی جرمی از  $0.175/0$  تا  $0.7/0$   $\frac{kg}{m^2s}$  میزان بازدهی سیستم افزایش یافته است. درصد افزایش بازده از دبی جرمی  $0.175/0$   $\frac{kg}{m^2s}$  تا  $0.35/0$   $\frac{kg}{m^2s}$  برابر با  $6/7$  درصد و از دبی جرمی  $0.35/0$   $\frac{kg}{m^2s}$  تا  $0.7/0$   $\frac{kg}{m^2s}$  حدود  $1/5$  درصد می باشد. علت کاهش میزان درصد افزایش بازده در دبی های جرمی بالاتر را می توان به کاهش میزان انتقال حرارت تابشی و انتقال حرارت جابجایی به هوای درون کانال در دبی های جرمی بالاتر نسبت داد.

با توجه به شکل شماره ۱۱ میزان بازدهی سیستم با افزایش فاصله بین پوشش شیشه ای و جاذب ( $H_c$ ) افزایش می یابد. میزان درصد افزایش بازده با افزایش  $H_c$  از  $1/25$  سانتیمتر تا  $10$  سانتیمتر حداکثر  $7/7$  درصد می باشد.

با دقت در شکل شماره ۱۲ ملاحظه می گردد که با کاهش دبی جرمی هوای ورودی به هواگرمن دمای هوای خروجی از هواگرمن افزایش می یابد. علت این امر افزایش میزان انتقال حرارت تابشی و جابجایی به هوای درون کانال با کاهش دبی هوای درون کانال است. همچنین دمای هوای خروجی از هواگرمن در ساعت ۱۲ ظهر به دلیل بیشینه بودن شدت تابش خورشید در این زمان به بیشترین مقدار خود رسیده و سپس کاهش می یابد.

با توجه به شکل شماره ۱۳ ملاحظه می‌گردد که با افزایش ارتفاع دندان‌های V شکل صفحه جاذب در دبی‌های جرمی مختلف، به ازای مقادیر بالاتر از ۱۰ سانتیمتر، میزان بازدهی هواگرمکن تقریباً ثابت می‌ماند. همچنین طبق شکل شماره ۱۴ نیز با افزایش ارتفاع دندان‌ها، مقدار بازده هواگرمکن دو مسیره کاهش می‌یابد. علت این امر به دلیل کاهش انتقال حرارت به هوای درون کانال با افزایش ارتفاع دندان‌های V شکل صفحه جاذب است.

### ۳- نتیجه‌گیری

در این تحقیق یک هواگرمکن خورشیدی دو مسیره با صفحه جاذب دارای دندان‌های V شکل با استفاده از نرم افزار متلب مدلسازی ریاضی شده است. با استفاده از مدل ریاضی مذکور، دما در اجزای مختلف هواگرمکن قابل محاسبه بوده و همچنین اثر پارامترهای مختلف مانند دبی هوای ورودی به کلکتور و اثر پارامترهای هندسی مانند ارتفاع دندان‌های V شکل صفحه جاذب و فاصله بین پوشش شیشه‌ای و جاذب بر روی بازده هواگرمکن دو مسیره مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فاصله بین پوشش شیشه‌ای و صفحه جاذب میزان بازده هواگرمکن دو مسیره افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ارتفاع دندان‌های V شکل صفحه جاذب، بازده هواگرمکن مذکور کاهش می‌یابد. از سوی دیگر با کاهش دبی جرمی هوای ورودی به هواگرمکن، دمای هوای خروجی از آن افزایش می‌یابد.

### مراجع

- [1]Karim, M. A. and M. J. E. Hawlader (2006). "Performance investigation of flat plate, v-corrugated and finned air collectors, Journal of Energy, 31(4): 452-470.
- [2]Karim, M., et al. (2014). "Mathematical modelling of counter flow v-groove solar air collector, Renewable Energy, 67: 192-201.
- [3]Liu, T., et al. (2007). "A comparative study of the thermal performances of cross-corrugated and v-groove solar air collectors, International Journal of Green Energy, 4(4): 427-451.
- [4]Lin, W., et al. (2006). "A parametric study on the thermal performance of cross-corrugated solar air collectors, International Journal of Green Energy, 26(10): 1043-1053.
- [5]Karim, M., et al. (2004). "Development of solar air collectors for drying applications, Energy Conversion And Management, 45(3): 329-344.
- [6]El-Sebaii, A., et al. (2011). "Thermal performance investigation of double pass-finned plate solar air heater, Applied Energy, 88(5): 1727-1739.
- [7]El-Sebaii, A., et al. (2011). "Investigation of thermal performance of double pass-flat and v-corrugated plate solar air heaters, Journal of Energy, 36(2): 1076-1086.
- [8]Othman, M., et al. (2006). "Development of advanced solar assisted drying systems, Renewable Energy, 31(5): 703-709.
- [9]Liu, T., et al. (2007). "A parametric study on the thermal performance of a solar air collector with a v-groove absorber, Applied Thermal Engineering, 4(6): 601-622.