

## بررسی تاثیر محیط متخلخل زیر صفحه جاذب و بازیاب حرارتی در افزایش کارایی هواگرمکن‌های خورشیدی

در این پژوهش، جریان هوا در سه نوع هواگرمکن خورشیدی دو مسیره، دو مسیره با محیط متخلخل و یک مسیره با بازیاب در دو دبی جرمی و در ساعات مختلف دو روز مختلف سال یعنی ۱۵ تیر و ۱۵ دی به صورت عددی شبیه‌سازی و پارامترهای بیشینه اختلاف دمای ورودی و خروجی و راندمان حرارتی بایکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد که بیشترین اختلاف دمای هوا در ساعت ۱۳ و ۱۵ تیرماه برای هواگرمکن دو مسیره با محیط متخلخل در دبی جرمی ۰/۱۱/۰ کیلوگرم بر ثانیه رخ می‌دهد. همچنین مشخص شد که راندمان حرارتی هواگرمکن دو مسیره با محیط متخلخل در دبی جرمی ۰/۳۷/۰ کیلوگرم بر ثانیه و در ساعت ۱۳، ۱۵ تیرماه بیشینه است.

میلاذ قاسمی<sup>۱</sup>

کارشناسی ارشد

حبیب صفرزاده<sup>۲</sup>

استادیار

محمد الفتی<sup>۳</sup>

دانشجوی دکترا

محمد جمشید مفید<sup>۴</sup>

دانشجوی کارشناسی ارشد

واژه‌های راهنما: هواگرمکن خورشیدی، تحلیل عددی، محیط متخلخل، بازیاب حرارتی، افزایش راندمان

### ۱- مقدمه

انرژی خورشید یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و عاری از اثرات مخرب زیست محیطی است که از دیرباز به روش‌های گوناگون مورد استفاده بشر قرار گرفته است. کشور ایران با قرار گرفتن در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی، در منطقه ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. با توجه به پایان‌پذیر بودن منابع سوخت‌های فسیلی و نیز افزایش نگرانی‌های ناشی از تاثیرات مخرب استفاده از سوخت‌های فسیلی بر محیط زیست، روز به روز استفاده از انرژی خورشیدی توجیه‌پذیرتر می‌شود. از انرژی خورشیدی می‌توان در تولید گرما و انرژی الکتریکی استفاده کرد. یکی از کاربردهای انرژی خورشیدی استفاده به عنوان منبع انرژی در هوا گرمکن‌ها است. هوا گرمکن خورشیدی وسیله‌ای است که با جذب انرژی گرمایی از خورشید، باعث گرم شدن هوای تازه ورودی به ساختمان می‌گردد.

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، گروه تاسیسات دانشکده فنی شماره ۲ پسران، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، کرمانشاه، ایران / دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران  
miladghasemi.mech@gmail.com

<sup>۲</sup> نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران habibsafarzadeh@yahoo.com

<sup>۳</sup> دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران / رییس خدمات فنی و مهندسی، شرکت گاز، کرمانشاه، ایران  
m\_olfati@yahoo.com

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران m.jamshidmofid@aut.ac.ir

ویژگی اصلی هوا گرمکن‌های خورشیدی، امکان تامین مقدار نامحدود هوای تازه و گرم ورودی به داخل ساختمان می‌باشد. هوای گرم تولید شده قابلیت استفاده در واحدهای مسکونی و صنعتی را دارا می‌باشد [۱]. تاکنون مطالعات گسترده‌ای بر روی هواگرمکن‌های خورشیدی انجام شده و روش‌های مختلفی مانند استفاده از صفحه‌های گسترش دهنده سطح با شکل و ابعاد مختلف، استفاده از پوشش‌های ذخیره‌سازی حرارت، استفاده از متمرکزکننده‌ها برای تقویت تابش نور خورشید و استفاده از بازیاب از مسیره‌های ورودی و خروجی به هواگرمکن برای بالا بردن راندمان این تجهیزات به کار گرفته شده است [۲-۶]. در یک مطالعه تجربی، حاتمی و بهادری نژاد [۷] انتقال گرمای جابجایی طبیعی را در یک هواگرمکن خورشیدی عمودی دارای یک و دو پوشش شیشه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با اندازه‌گیری دمای صفحه‌ی جاذب، دمای صفحه‌ی پشتی، دمای پوشش شیشه‌ای، دبی جرمی هوا در کانال و تشعشع خورشیدی رابطه‌ای برای عدد ناسلت ارائه دادند. به علاوه، پژوهشگران با ارزیابی بهره‌وری هواگرمکن در شرایط مختلف، به این نتیجه دست یافتند که بیشینه مقدار بهره‌وری مربوط به هواگرمکن با دو پوشش شیشه و حالتی که هوا می‌تواند در همه‌ی کانال‌ها جریان یابد، است. فکور پاکدامن و همکاران [۸] با استفاده از روش تجربی، مدلی را برای بررسی مشخصات گرمایی یک هواگرمکن خورشیدی مجهز به پره‌های مستطیلی طولی در حالت همرفت طبیعی توسعه دادند. آن‌ها همچنین اقدام به تحلیل انرژی نمودند که براساس آن مدل اعتبار سنجی شده و محدودیت‌های طراحی بهینه ارائه می‌شود. هومینگ و همکاران [۲] یک هواگرمکن خورشیدی دوسیره با جریان بازگشتی خارجی را به صورت تحلیلی مورد بررسی و ارزیابی قرار دادند؛ نتایج بررسی‌های ایشان نشان داد که کاهش سرعت هوا باعث کاهش مقاومت حرارتی و در نتیجه افزایش راندمان حرارتی هواگرمکن می‌شود.

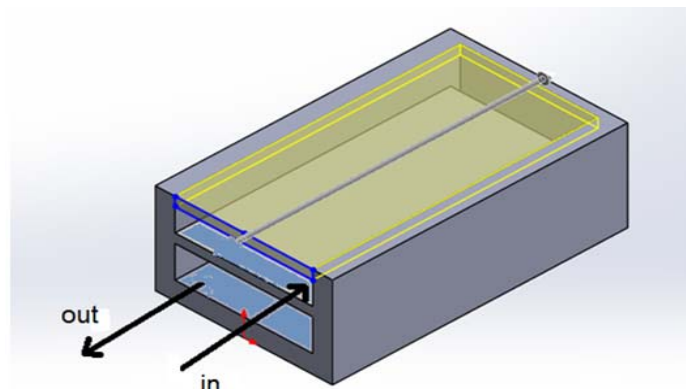
پارشات و ساتیندر [۳] تاثیرات هیدرولیکی دو نوع هواگرمکن خورشیدی را به صورت تحلیلی مورد ارزیابی قرار داده و راندمان‌های حرارتی آن‌ها را بررسی و مقایسه کردند. در این مطالعه یک روش تحلیلی برای به دست آوردن راندمان حرارتی دو مدل هواگرمکن خورشیدی بیان شده است. در هر دو مدل، سه مسیر عبور هوا در نظر گرفته شده که هوای برگشتی از هوای خروجی از کانال دوم گرفته شده است. در مدل اول هوای برگشتی از طریق کانال اول و در مدل دوم از طریق کانال سوم برگشت داده می‌شود. براساس نتایج بدست آمده، راندمان حرارتی ماکزیمم مدل اول ۶/۶ درصد بیشتر از مدل دوم است. ساینی و آلام [۴] اثر نصب موانع V شکل حفره دار بر روی سطح جاذب و تاثیر این موانع را در راندمان و میزان عدد ناسلت و ضریب اصطکاک مورد آزمایش و بررسی قرار دادند. در این مطالعه ضریب انتقال حرارت در رینولدزهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۰۰ بررسی شده و نتایج آن نشان می‌دهد که حداکثر عدد ناسلت ۷۶/۶ برابر و ضریب اصطکاک ۸۴/۲۸ برابر حالت کانال صاف می‌باشد. کسری محمدی و مجید سبزویشانی [۵] سه نوع هواگرمکن خورشیدی در حالت‌های ساده، همراه با بازیاب و همراه با بازیاب و بافل و فین را بررسی کردند. ایشان امکان افزایش راندمان حرارتی هواگرمکن خورشیدی با به کارگیری جریان بازگشتی خارجی برای سه حالت صفحه جاذب ساده، صفحه جاذب با فین و صفحه جاذب با فین و بافل را مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی ایشان نشان داد که بیشترین راندمان حرارتی مربوط به صفحه جاذب با فین و بافل همراه با جریان برگشتی می‌باشد.

یکی از روش‌های موثر در جهت ارتقای عملکرد هواگرمکن‌ها استفاده از محیط متخلخل در ساختار هواگرمکن است. به کارگیری محیط متخلخل علاوه بر آن که منجر به افزایش اختلاط جریان می‌شود، سطح تماس هوا

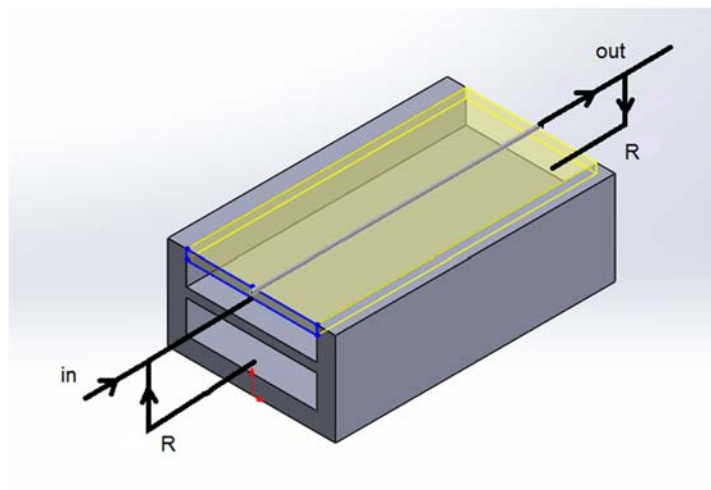
اب سطح جامد را افزایش داده که منجر به بهبود عملکرد هواگرمکن می‌شود. در مطالعه حاضر، سه نوع هواگرمکن خورشیدی برای موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی شهر کرمانشاه به صورت عددی و با استفاده از نرم افزار فلونتت تحلیل شده است. سه مدل عبارتند از ۱- هواگرمکن خورشیدی دو مسیره؛ ۲- هواگرمکن خورشیدی دومسیره با محیط متخلخل در زیر صفحه جاذب؛ ۳- هواگرمکن خورشیدی تک مسیره با بازیاب در پایین صفحه جاذب. در این تحلیل تاثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد هر یک از مدل‌های فوق بررسی و با یکدیگر مقایسه شده است. لازم به ذکر است که بر اساس جستجوی نویسندگان، تاکنون پژوهشی بر روی بررسی و مقایسه عملکرد هواگرمکن‌های دو مسیره دارای محیط متخلخل با دو مسیره ساده و یک مسیره با بازیاب صورت نگرفته است.

## ۲- توصیف هندسه

هندسه‌های مورد مطالعه در این ارزیابی سه نوع هواگرمکن خورشیدی شامل هواگرمکن دو مسیره، هواگرمکن دو مسیره با محیط متخلخل و هواگرمکن یک مسیره با بازیاب است. شمای کلی هواگرمکن دو مسیره و هواگرمکن یک مسیره با بازیاب در شکل‌های (۱) و (۲) ارائه شده است. در هواگرمکن دو مسیره، جریان هوا در انتهای مسیر اول به طور کامل برگشت داده شده و از صفحه‌ی ورودی خارج می‌شود. این در حالی است که در هواگرمکن یک مسیره با بازیاب، تنها بخشی از هوا از انتهای مسیر اول برگشت داده می‌شود. لازم به ذکر است که هندسه‌ی هواگرمکن دو مسیره با محیط متخلخل مشابه هواگرمکن دو مسیره ساده بوده، با این تفاوت که در زیر صفحه جاذب از محیط متخلخل استفاده شده است. در جدول (۱) مقادیر تمامی پارامترهای هندسی به کار رفته در این مساله، ارائه شده است.



شکل ۱- هواگرمکن دو مسیره.



شکل ۲- هواگرمن یک مسیره با بازیاب.

جدول ۱- مشخصات و ابعاد هندسی هواگرمن خورشیدی.

مشخصات	اندازه (cm)
طول کانال	۱۵۰
عرض کانال	۱۰۰
ارتفاع کانال	۵
فاصله پوشش شیشه ای تا سطح جاذب	۳
فاصله جاذب تا پشت هواگرمن	۲
شبکه‌های مربعی ماتریسی زیر سطح جاذب	۰/۲×۰/۲
ارتفاع شبکه‌های ماتریسی	۰/۰۲۵
فاصله صفحات متخلخل از هم	۰/۵
ضخامت قالب هواگرمن	۱/۸

### ۳- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان سیال شامل معادلات پیوستگی و مومنوم در سه جهت  $x, y, z$  می‌باشد که در این مساله با توجه به فعال سازی معادله انرژی و همچنین به خاطر آشفته بودن نوع رژیم جریان معادله  $k - \varepsilon$  نیز به این معادلات اضافه شده است. این معادلات به قرار زیر است [۶]:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

معادله مومنوم در جهت محور  $x$ :

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial(uu)}{\partial x} + \frac{\partial(vu)}{\partial y} + \frac{\partial(wu)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial u}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial u}{\partial z} \right] + S_u \quad (۲)$$

معادله‌ی مومنتوم در جهت  $y$ :

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(vv)}{\partial y} + \frac{\partial(wv)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial v}{\partial z} \right] + S_v \quad (۳)$$

معادله مومنتوم در جهت محور  $Z$ :

$$(۴)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial(uw)}{\partial x} + \frac{\partial(vw)}{\partial y} + \frac{\partial(ww)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial w}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial w}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ (\vartheta + \vartheta_T) \frac{\partial w}{\partial z} \right] + S_w$$

معادله انرژی:

$$(۵)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \left( \frac{\vartheta}{pr} + \frac{\vartheta_T}{pr_T} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \left( \frac{\vartheta}{pr} + \frac{\vartheta_T}{pr_T} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \left( \frac{\vartheta}{pr} + \frac{\vartheta_T}{pr_T} \right) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + S_w$$

مدل آشفستگی  $k - \varepsilon$  که شامل دو معادله زیر است:

معادله انرژی جنبشی:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial(uk)}{\partial x} + \frac{\partial(vk)}{\partial y} + \frac{\partial(wk)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\vartheta_T}{\sigma_T} \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\vartheta_T}{\sigma_T} \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \frac{\vartheta_T}{\sigma_T} \frac{\partial k}{\partial z} \right] + S_k \quad (۶)$$

معادله اتلاف انرژی:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial(u\varepsilon)}{\partial x} + \frac{\partial(v\varepsilon)}{\partial y} + \frac{\partial(w\varepsilon)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{\vartheta_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{\vartheta_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[ \frac{\vartheta_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + S_\varepsilon \quad (۷)$$

#### ۴- پارامترها

راندمان هواگرمن خورشیدی با رابطه زیر تعیین می‌شود [۷]:

$$\eta_{th} = \frac{\dot{m} c_p \Delta T}{\bar{G} A_c} \quad (۸)$$

مقدار  $\bar{G}$  در رابطه فوق میانگین تابش بر روی تمام سطح جاذب به ازای واحد سطح می‌باشد.  $\Delta T$  اختلاف دما هوای خروجی و ورودی،  $c_p$  ظرفیت گرمایی هوا،  $\dot{m}$  دبی جرمی و  $A_c$  مساحت سطح مقطع جاذب می‌باشد. مقدار  $\bar{G}$  با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$G_{on} = G_{sc} \left( 1 + 0.033 \cos \frac{360(N+81)}{365} \right) \quad (۹)$$

در رابطه فوق  $G_{on}$  مقدار تابش خورشید در خارج از جو زمین به ازای واحد سطح عمود بر تابش خورشید در روز  $N$ ام سال است. مقدار  $N$  شاخص روز می‌باشد و از اول فروردین ( $N = 1$ ) محاسبه می‌شود [۷].

شدت تابش خورشید روی صفحه افقی و خارج از جو زمین،  $G_{oh}$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$G_{oh} = \cos \theta_z G_{on} \quad (10)$$

برای محاسبه  $\cos \theta_z$  از رابطه زیر استفاده می‌شود.

$\theta_z$  زاویه بین اشعه خورشید و خط عمود است که مقدار آن در ظهر خورشیدی به حداقل می‌رسد.

$$\cos \theta_z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi \cos w \quad (11)$$

در رابطه فوق  $\delta$  زاویه انحراف است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\delta = \left[ \sin \frac{360 N}{365} \right] \times 23.45^\circ \quad N = 1 \quad \text{اول فروردین} \quad (12)$$

$$\delta = \left[ \sin \frac{360 (N+284)}{365} \right] \times 23.45^\circ \quad N = 1 \quad \text{اول ژانویه} \quad (13)$$

مقدار حداکثر و حداقل زاویه انحراف  $\delta$  در طی سال به ترتیب در اول تیر (۲۳/۴۵) و در اول دی ماه (۲۳/۴۵-) می‌باشد [۷].

$\phi$  عرض جغرافیایی است.  $w$  زاویه ساعت نسبت به ظهر خورشیدی است.

میزان تابش خورشید بر روی صفحه افقی و بر روی سطح زمین  $G_h$  از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$G_h = k_T G_{oh} \quad (14)$$

$k_T$  متوسط ضریب صافی هوا است و هرچقدر هوا تمیزتر و صاف‌تر باشد مقدار آن به ۱ نزدیک‌تر می‌شود. برای محاسبه  $k_T$  از روابط زیر استفاده می‌شود:

$$k_T = \left[ a + b \cos \frac{2\pi}{24} (t - 12) \right] \bar{k}_T \quad (15)$$

$$a = 0.409 + 0.5016 \sin \left( w_s - \frac{\pi}{3} \right) \quad (16)$$

$$b = 0.6607 + 0.47667 \sin \left( w_s - \frac{\pi}{3} \right) \quad (17)$$

در روابط فوق  $t$  میزان زمان خورشیدی،  $w_s$  زاویه غروب بر حسب رادیان و  $\bar{k}_T$  مقدار متوسط ماهیانه ضریب صافی هوا است که برای شهر کرمانشاه در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲- مقدار متوسط ماهیانه ضریب صافی هوا [۸].

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
$\bar{k}_T$	۰/۵۵	۰/۵۸	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۵	۰/۶۶	۰/۶۲	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۵۲	۰/۵۲	۰/۵۱

$G_h$  و  $k_T$  مقدار شدت تابش پراکنده بر روی صفحه افقی ( $G_{dh}$ ) از روابط زیر حساب می شود.

$$\frac{G_{dh}}{G_h} = \begin{cases} 1 - 0.249 k_T & k_T \leq 0.35 \\ 1.577 - 1/84 k_T & 0.035 < k_T < 0.35 \\ 0.177 & k_T > 0.75 \end{cases} \quad (18)$$

شدت تابش مستقیم روی صفحه افقی ( $G_{bh}$ ) از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$G_{bh} = G_h - G_{dh} \quad (19)$$

در نهایت مقدار شدت تابش روی صفحه مایل ( $G_{bt}$ ) پس از محاسبه نسبت تابش مستقیم روی صفحه مایل

به شدت تابش مستقیم روی صفحه افقی ( $R_b$ ) به دست می آید:

$$R_b = \frac{\sin \delta \sin(\phi - \beta) + \cos \delta \cos \phi \cos(\theta - \beta)}{\sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cos \phi} \quad (20)$$

در رابطه فوق  $\beta$  میزان شیب سطح جاذب هوا گرمکن است.

$$G_{bT} = R_b G_{bh} \quad (21)$$

## ۵- روش عددی و شرایط مرزی

در این پژوهش، از روش عددی به منظور شبیه سازی جریان هوا در هواگرمکن خورشیدی استفاده شده است. با توجه به آشفتگی بودن جریان داخل هوا گرمکن، از مدل اغتشاش  $k - \epsilon$  Realizable استفاده شده است. گسسته سازی معادلات حاکم بر جریان سیال شامل معادلات پیوستگی، مومنتوم، انرژی، انرژی جنبشی آشفتگی و اتلاف انرژی آشفتگی بر پایه روش حجم محدود و با دقت مرتبه دوم و به صورت پادبادسو صورت گرفته است. همچنین از رویکرد SIMPLE به منظور کوپلینگ سرعت-فشار استفاده شده است. لازم به ذکر است که معیار همگرایی به منظور توقف حل عددی برای تمامی پارامترها بر روی  $10^{-5}$  تنظیم شده است.

در ورودی هندسه، پروفیل یکنواخت سرعت و دما در نظر گرفته شده است. دمای هوای ورودی، مطابق دمای محیط یعنی ۳۰۰ کلوین می باشد و مقادیر دبی جرمی ورودی ۰/۰۱۱ و ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر ثانیه لحاظ شده است. در این مساله دیوارهای مجاور و پایین سطح کلکتور عایق در نظر گرفته شده است. در مرزهای نزدیک و چسبیده به دیوار، سیال به دیوار می چسبد و سرعتی برابر سرعت دیوار دارد. از آن جا که در مساله موردنظر دیوارها ساکن بوده و سرعتی ندارند لذا سیال نیز در لایه چسبیده به دیوار دارای سرعت صفر است. برای محاسبه شدت تابش، از روش رزولند استفاده شده است. همچنین برای اطمینان از صحت روش به کار رفته در محاسبه شدت تابش، نتایج آن با نتایج حاصل از دستگاه تابش سنج مقایسه شد و ملاحظه گردید که دقت بالایی بین نتایج برقرار است.

## ۶- اعتبارسنجی و استقلال از شبکه

برای صحت سنجی مدل حاضر، نتایج حاصل از روش عددی پیشرو با نتایج آزمایش‌های تجربی آل دباق مقایسه شده است [۹]. بدین منظور، مدل مطالعه حاضر در شرایط مدل تجربی آل دباق (موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی شهر فاماگوستا قبرس) حل شده و نتایج آن با نتایج تجری مقایسه گردید. جداول (۳) و (۴) مقایسه نتایج عددی مدل حاضر و نتایج تجربی مدل آل دباق را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود بیشینه مقدار خطا ۱۵/۷۶ درصد است. گرچه این مقدار، خطای کمی محسوب نمی‌شود اما به دلیل هدف این پژوهش که صرفاً مقایسه‌ی هواگرمن‌های مختلف با یکدیگر برای ارزیابی تاثیر به کارگیری محیط متخلخل و بازیاب است و نه محاسبه‌ی مقادیر دقیق پارامترها، از این رو از روش عددی موجود برای ادامه‌ی شبیه‌سازی استفاده می‌شود. به منظور یافتن الگوی شبکه بهینه با هدف بیشترین دقت نتایج و کمترین هزینه محاسباتی، شبکه با تعداد سلول‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین منظور اختلاف دمای ورودی و خروجی سه هواگرمن مورد مطالعه در ساعت ۱۳ روز ۱۵ تیر در دبی جرمی  $0/011 \text{ kg/s}$  برای شبکه با تعداد سلول‌های مختلف محاسبه شد.

**جدول ۳-** مقایسه اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی مدل عددی مطالعه حاضر و مدل تجربی آل دباق [۹] در دبی جرمی  $0/011$  کیلوگرم بر ثانیه.

زمان	اختلاف دمای هوای خروجی و ورودی در مدل عددی (K)	اختلاف دمای هوای خروجی و ورودی در مدل تجربی (K)	درصد خطای نسبی
ساعت ۸	۸/۱	۷	۱۵/۷۱
ساعت ۱۳	۴۳/۸	۵۲	۱۵/۷۶
ساعت ۱۷	۱۷/۶	۱۹	۷/۳۶

**جدول ۴-** مقایسه اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی مدل عددی مطالعه حاضر و مدل تجربی آل دباق [۱۶] در دبی جرمی  $0/037$  کیلوگرم بر ثانیه.

زمان	اختلاف دمای هوای خروجی و ورودی در مدل عددی (K)	اختلاف دمای هوای خروجی و ورودی در مدل تجربی (K)	درصد خطای نسبی
ساعت ۸	۷/۸	۷	۱۱/۴۲
ساعت ۱۳	۲۵/۹	۲۳	۱۲/۶۰
ساعت ۱۷	۱۰/۲	۹	۱۳/۳۳



نتیجه‌ی این مطالعه در جداول (۵)، (۶) و (۷) به ترتیب برای هواگرمنک دو مسیره، هواگرمنک دو مسیره با محیط متخلخل و هواگرمنک یک مسیره با بازیاب ارائه شده و تعداد سلول‌ها انتخاب شده، به صورت برجسته نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، با افزایش بیشتر تعداد سلول‌ها از مقدار انتخاب شده، تغییر قابل ملاحظه‌ای در نتایج رخ نمی‌دهد. نمونه الگوی شبکه برای هواگرمنک یک مسیره با بازیاب در شکل (۳) ارائه شده است. در این هندسه، از سلول‌های مکعبی سازمان یافته برای مش بندی استفاده شده است.

**جدول ۵- نتایج مطالعه‌ی اثر اندازه مش برای هواگرمنک دو مسیره.**

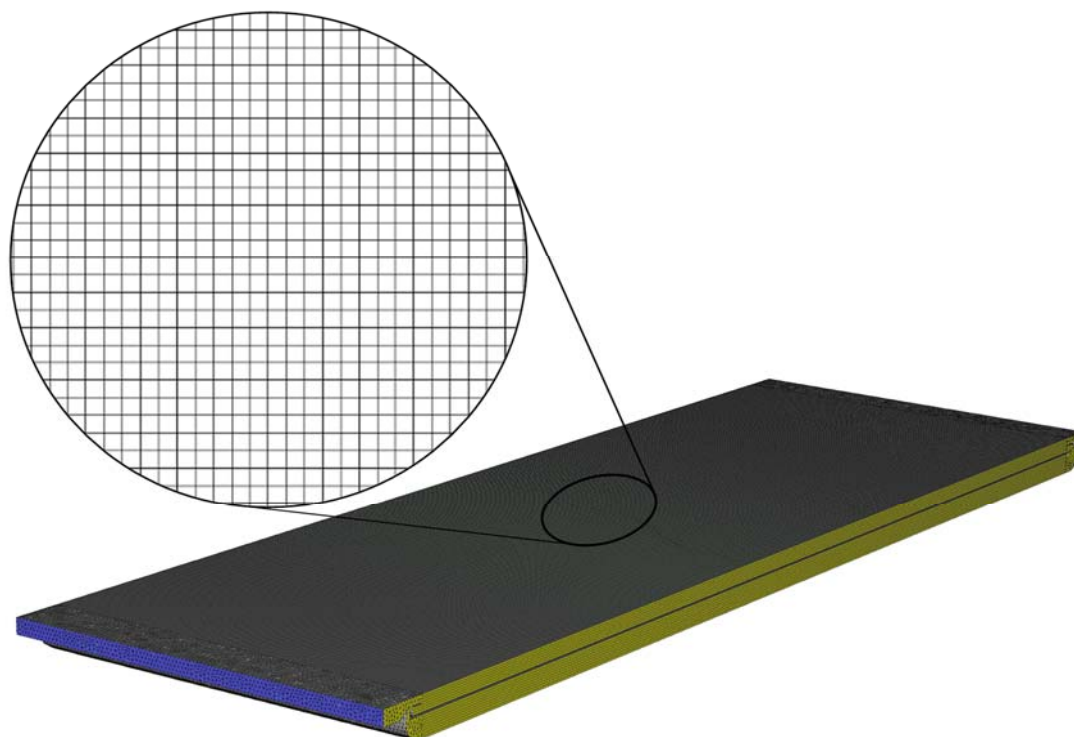
تعداد سلول	اختلاف دمای ورودی و خروجی ( $K$ )	درصد خطا
۴۴۱۲۳۶	۱۹/۳	-
۹۸۷۸۴۲	۲۴/۲	۲۵
۱۵۰۲۷۷۰	۲۶/۷	۱۰
۱۹۱۰۹۸۵	۲۶/۸	۰/۴

**جدول ۶- نتایج مطالعه‌ی اثر اندازه مش برای هواگرمنک دو مسیره با محیط متخلخل زیر صفحه جاذب.**

تعداد سلول	اختلاف دمای ورودی و خروجی ( $K$ )	درصد خطا
۳۶۹۸۷۵	۲۵/۴	-
۸۷۹۴۵۶	۳۳/۸	۳۳
۱۴۵۰۸۷۹	۴۰/۸	۲۱
۱۸۹۷۸۷۸	۴۱/۰	۰/۵

**جدول ۷- نتایج مطالعه‌ی اثر اندازه مش برای هواگرمنک یک مسیره با بازیاب زیر صفحه جاذب.**

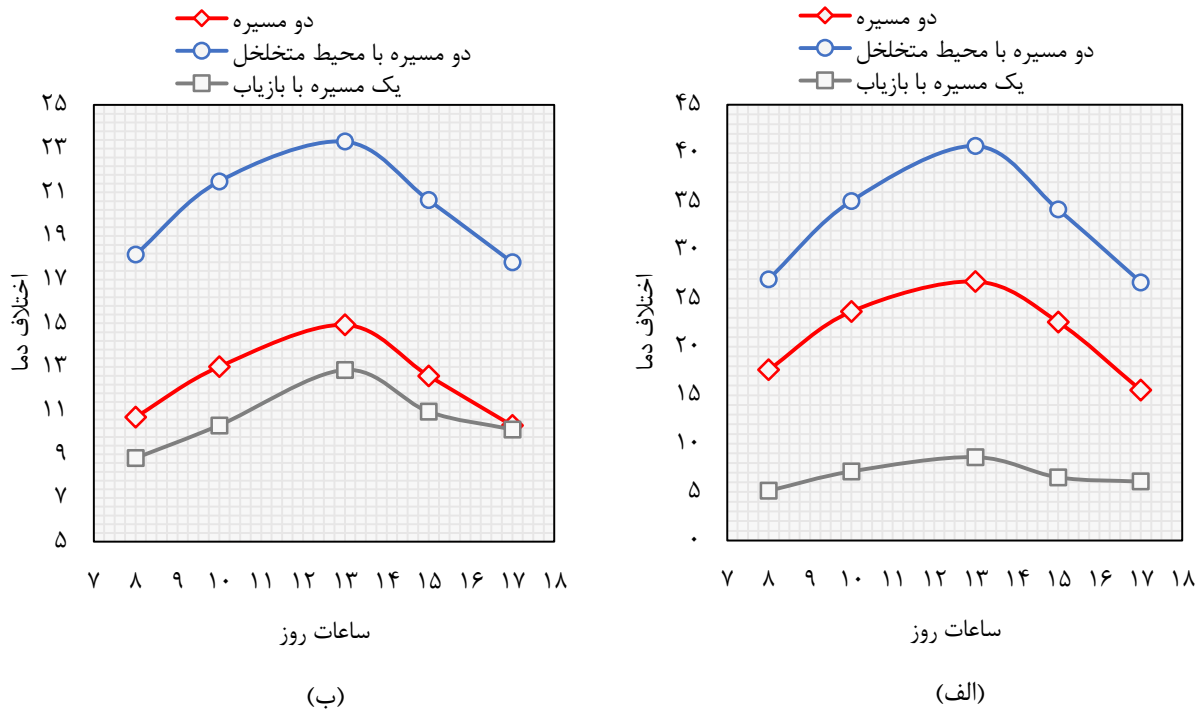
تعداد سلول	اختلاف دمای ورودی و خروجی ( $K$ )	درصد خطا
۲۰۴۵۸۷	۵,۲	-
۸۷۴۷۹۳	۶,۹	۳۳
۱۳۳۴۲۹۷	۸,۶	۲۵
۱۸۹۹۵۲۱۳	۸,۸	۲



شکل ۳- الگوی شبکه در هواگرمن خورشیدی یک مسیره با بازیاب.

## ۷-نتایج

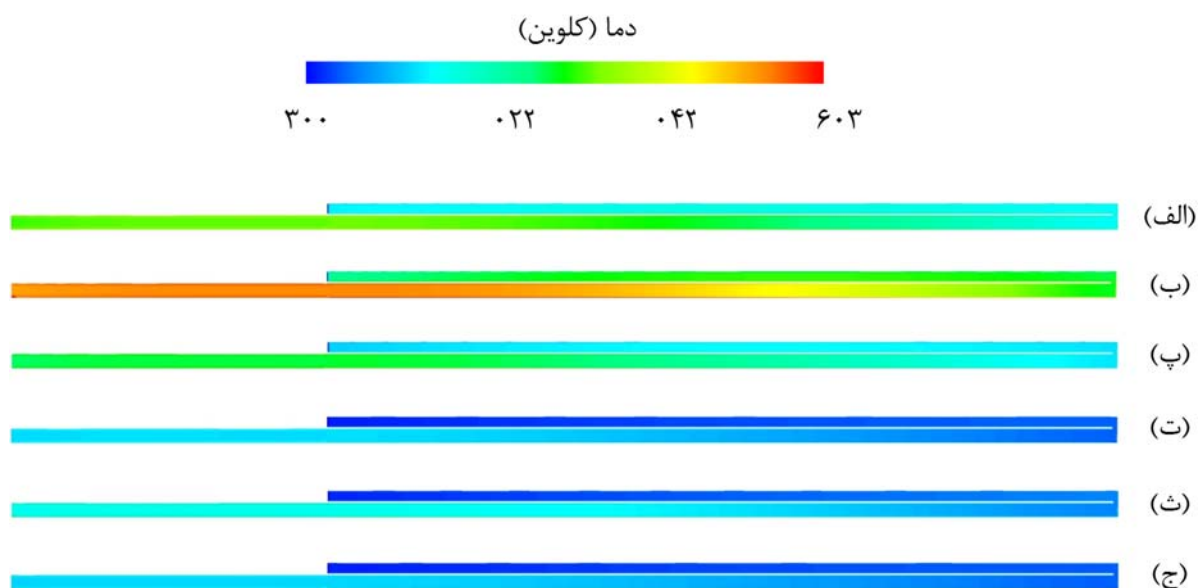
در این پژوهش، جریان هوا در سه نوع هواگرمن خورشیدی شامل هواگرمن خورشیدی دو مسیره، هواگرمن خورشیدی دو مسیره با محیط متخلخل و هواگرمن خورشیدی یک مسیره با بازیاب به روش عددی شبیه‌سازی شده و مقدار اختلاف دما و راندمان آن‌ها در دو دبی جرمی  $0/011$  و  $0/037$  کیلوگرم برثانیه و برای ساعات ۸، ۱۰، ۱۳، ۱۵ و ۱۷ در یک روز گرم سال (۱۵ تیرماه) و یک روز سرد سال (۱۵ دی ماه) با هم مقایسه می‌شود. در شکل (۴) نمودار اختلاف دما در ۱۵ تیر برای دو دبی جرمی  $0/011$  و  $0/037$  کیلوگرم برثانیه و در ساعات مختلف روز ارائه شده است. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که در هر دو دبی جرمی و برای همه‌ی انواع هواگرمن‌ها، مقدار اختلاف دما با نزدیک شدن به ساعت ۱۳ افزایش یافته و پس از آن تا ساعت ۱۷ به تدریج کاهش می‌یابد. دلیل این موضوع این است که در ساعت ۱۳، با توجه به شدت تابش بیشتر، انرژی بیشتری به هوا منتقل شده که سبب افزایش بیشتر دمای آن می‌شود. به علاوه ملاحظه می‌شود که در هر حالت، بیشترین مقدار اختلاف دما مربوط به هواگرمن دو مسیره با محیط متخلخل و سپس هواگرمن دو مسیره ساده است. در توجیه این پدیده می‌توان اظهار داشت که وجود محیط متخلخل در هواگرمن علاوه بر این که سبب افزایش اختلاط جریان می‌شود، مقدار انتقال گرما به هوا نیز به واسطه‌ی افزایش سطح تماس هوا با دیواره افزایش یافته که در نهایت منجر به اختلاف دمای بیشتر می‌شود. نکته قابل توجه دیگر در این شکل این است که مقدار اختلاف دما در همه‌ی انواع هواگرمن‌ها در دبی جرمی  $0/037$  کیلوگرم برثانیه به مراتب کمتر از دبی جرمی  $0/011$  کیلوگرم برثانیه است. دلیل این پدیده آن است که در دبی جرمی بالاتر، به واسطه سرعت بالای سیال، زمان ماندگاری هوا در هواگرمن کمتر بوده که این موضوع سبب کاهش دریافت انرژی هوا از هواگرمن و متعاقباً کاهش اختلاف دمای ورودی و خروجی هوا می‌شود.



**شکل ۴-** اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی در هواگرمن‌های مختلف در روز ۱۵ تیر در (الف) دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه و (ب) دبی جرمی ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر ثانیه.

به منظور درک بهتر تغییرات اختلاف دمای ورودی و خروجی در هواگرمن، در شکل، کانتور دمای هوا در هواگرمن دو مسیره ساده در روز ۱۵ تیر، در ساعات ۸، ۱۳ و ۱۷ و برای دو دبی جرمی مختلف ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد تغییرات دما در شکل‌های (الف) تا (پ) که مربوط به دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه است بیشتر از شکل‌های (ت) تا (ج) که مربوط به دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه است، می‌باشد. به علاوه ملاحظه می‌گردد که در هر دبی جرمی، تغییرات دما در هواگرمن دو مسیره با محیط متخلخل شکل (ب) برای دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه و شکل (ث) برای دبی جرمی ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر ثانیه به مراتب بیشتر از سایر انواع هواگرمن‌ها است.

نمودار اختلاف دما در ۱۵ دی، در ساعات مختلف روز و برای دو دبی جرمی ۰/۰۱۱ و ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر ثانیه در شکل (۶) نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که در دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه، در ساعات ۸ و ۱۰، مقدار اختلاف دماهای ورودی و خروجی هواگرمن دو مسیره ساده و دو مسیره دارای محیط متخلخل با یکدیگر برابر بوده و هر دو بیشتر از اختلاف دما در هواگرمن یک مسیره با بازیاب است. پس از ساعت ۱۰، اختلاف دما در هواگرمن دو مسیره با محیط متخلخل بیشتر از هواگرمن دو مسیره ساده و یک مسیره می‌شود به طوری که در حوالی ساعت ۱۳ این اختلاف به بیشترین مقدار خود رسیده و سپس با پیشروی به سمت ساعت ۱۷، مقدار آن کاهش می‌یابد. در دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه، روند متفاوتی در اختلاف دماهای هواگرمن مشاهده می‌شود، به طوری که تقریباً در تمامی ساعات روز، مقدار اختلاف دمای ورودی و خروجی در تمام انواع هواگرمن‌ها به یکدیگر نزدیک بوده و کمتر از ۳ کلون است.



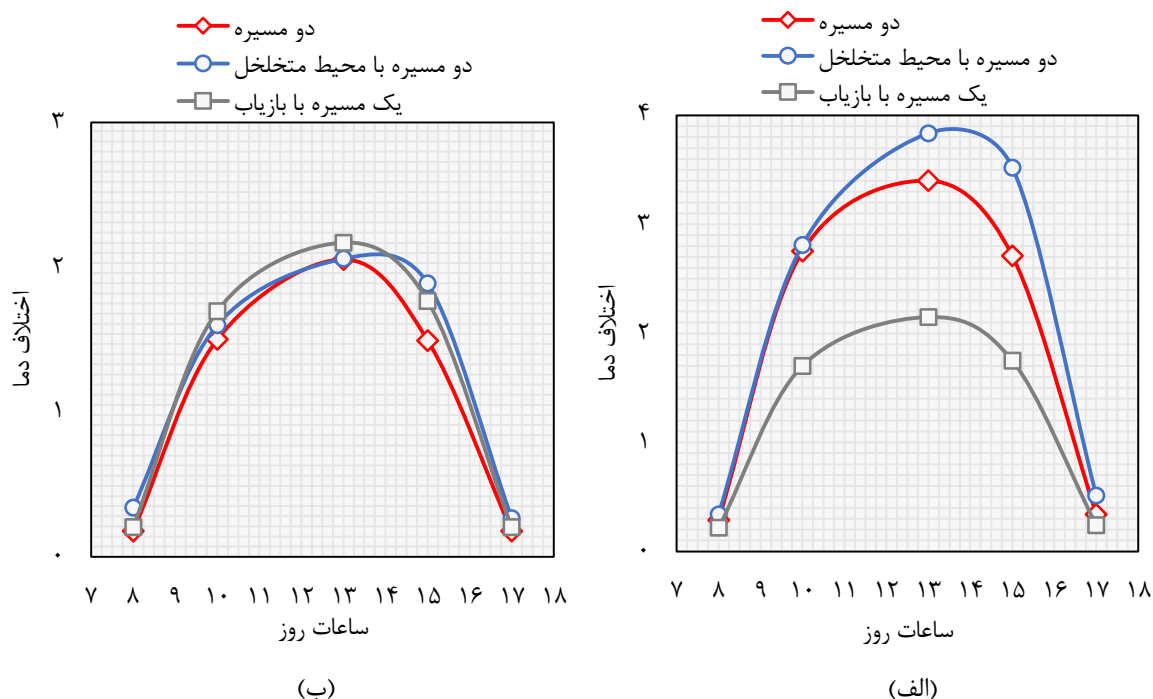
**شکل ۵-** کانتور دمای هوا در هواگرمن دو مسیره ساده در روز ۱۵ تیر در (الف) دبی جرمی  $0/011$  کیلوگرم بر ثانیه و ساعت ۸، (ب) دبی جرمی  $0/011$  کیلوگرم بر ثانیه و ساعت ۱۳، (پ) دبی جرمی  $0/011$  کیلوگرم بر ثانیه و ساعت ۱۷، (ت) دبی جرمی  $0/037$  کیلوگرم بر ثانیه و ساعت ۸، (ث) دبی جرمی  $0/037$  کیلوگرم بر ثانیه و ساعت ۱۳، (ج) دبی جرمی  $0/037$  کیلوگرم بر ثانیه و ساعت ۱۷.

نکاتی که از مقایسه شکل‌های (۴) و (۶) حاصل می‌شود این است که اولاً بیشترین مقدار اختلاف دما در هواگرمن‌ها در دبی جرمی کمتر و در روزهای گرم سال اتفاق می‌افتد چرا که در این حالت شدت تابش بیشتر بوده و هوا بیشتر در معرض انرژی حاصل از خورشید قرار می‌گیرد. ثانیاً، ملاحظه می‌شود که تفاوت در انواع مختلف هواگرمن‌ها در روزهای سردتر سال و در دبی جرمی بالاتر سیال کمتر است. بدین معنی که تاثیر به کارگیری روش‌های مختلف در افزایش اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی به هواگرمن در روزهای گرم و دبی جرمی کمتر سیال محسوس‌تر است.

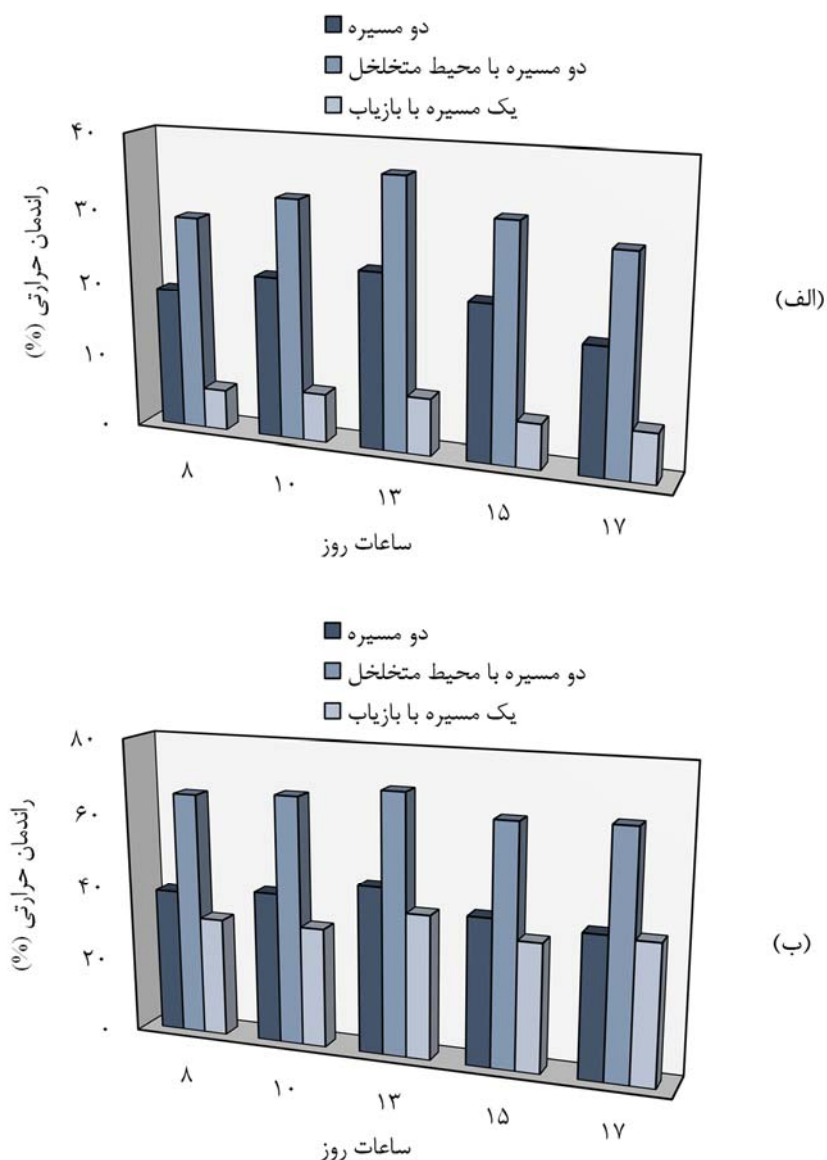
مقدار راندمان حرارتی مربوط به هواگرمن‌های مختلف در ساعات متفاوت روز در ۱۵ تیر برای دبی جرمی  $0/011$  و  $0/037$  کیلوگرم بر ثانیه در شکل (۷) نشان داده شده است. با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که در هر دو دبی جرمی، راندمان مربوط به هواگرمن دو مسیره دارای محیط متخلخل بیشتر از هواگرمن دو مسیره ساده، و هواگرمن دو مسیره ساده بیشتر از هواگرمن یک مسیره با بازیاب است. این نتایج، حاکی از تاثیر مطلوب به کارگیری محیط متخلخل در بهبود عملکرد هواگرمن‌ها دارد. بررسی جزئیات بیشتر این شکل نشان می‌دهد که در هر دو دبی جرمی، بیشترین مقدار راندمان هواگرمن‌ها در ساعت ۱۳ اتفاق می‌افتد، به علاوه، با توجه به مقادیر راندمان در دبی‌های جرمی مختلف ملاحظه می‌گردد که راندمان مربوط به دبی جرمی بالاتر، بیشتر است به طوری که بیشترین مقدار راندمان در دبی جرمی  $0/037$  کیلوگرم بر ثانیه و در ساعت ۱۳ رخ می‌دهد. توزیع راندمان حرارتی هواگرمن‌ها در ۱۵ دی برای دو دبی جرمی  $0/011$  و  $0/037$  کیلوگرم بر ثانیه در ساعات مختلف روز در شکل (۸) ارائه شده است.

با توجه به شکل ملاحظه می‌گردد که در دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه، بیشترین راندمان مربوط به هواگرمکن دو مسیره با محیط متخلخل و هواگرمکن دو مسیره ساده است و هواگرمکن یک مسیره با بازیاب کمترین مقدار راندمان را دارد. همچنین ملاحظه می‌شود که راندمان همه‌ی انواع هواگرمکن‌ها در ساعات انتهایی روز بیشتر از ساعات ابتدایی است. برای دبی جرمی ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر ثانیه، راندمان هواگرمکن یک مسیره در تمامی حالات بیشتر از راندمان هواگرمکن دو مسیره ساده بوده و در ساعات ۱۰ و ۱۳ مقدار آن از راندمان هواگرمکن دو مسیره با محیط متخلخل نیز بیشتر است. در بقیه‌ی ساعات روز یعنی ۸ و ۱۵ و ۱۷ هواگرمکن دو مسیره با محیط متخلخل راندمان بیشتری از دو هواگرمکن دیگر دارد. به علاوه با مقایسه‌ی قسمت (الف) و (ب) شکل ملاحظه می‌شود که در تاریخ ۱۵ دی مشابه ۱۵ تیر، راندمان هواگرمکن‌ها در دبی جرمی بالاتر به مراتب بیشتر است.

مقایسه‌ی شکل‌های (۷) و (۸) نشان می‌دهد که در روزهای گرم سال، راندمان هواگرمکن در ظهر خورشیدی بیشتر است اما در روزهای سرد، راندمان بیشتر هواگرمکن‌ها در ساعات انتهایی روز رخ می‌دهد. همچنین ملاحظه می‌شود که در هر دو روز، هواگرمکن دو مسیره دارای محیط متخلخل عملکرد مطلوب‌تری در قیاس با دو هواگرمکن دیگر دارد.



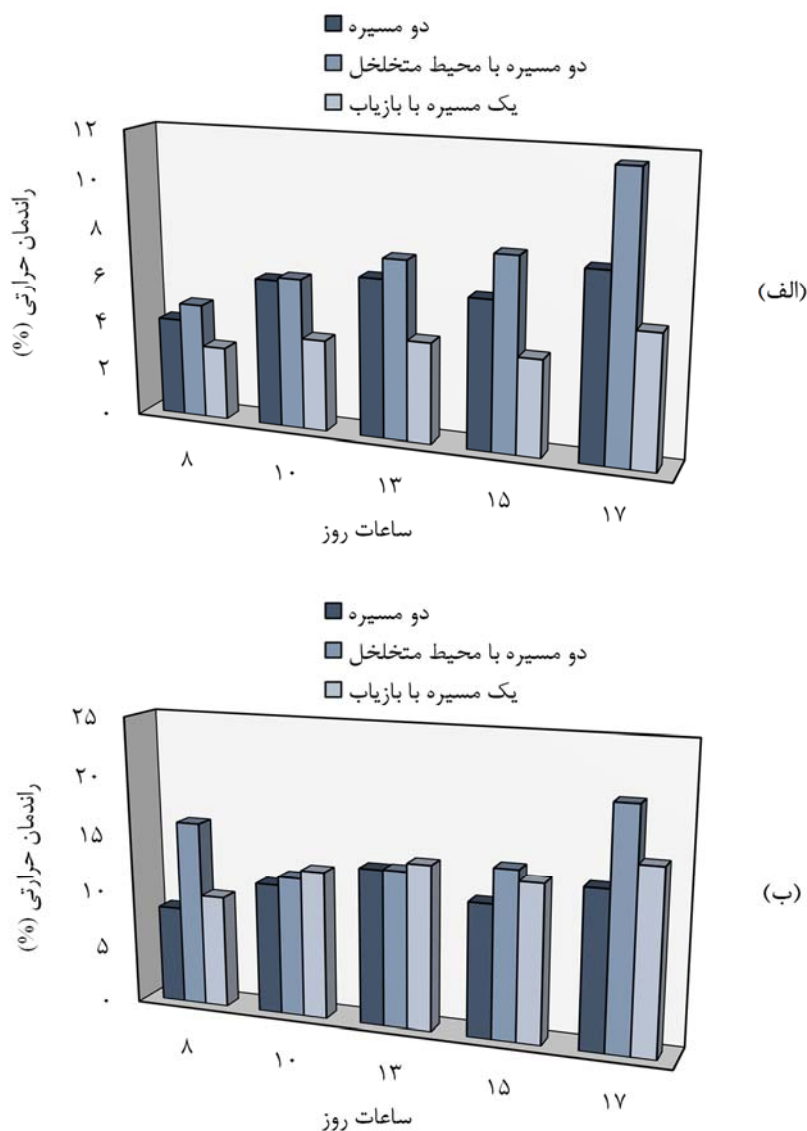
شکل ۶- اختلاف دمای هوای ورودی و خروجی در هواگرمکن‌های مختلف در روز ۱۵ دی در (الف) دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه و (ب) دبی جرمی ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر ثانیه.



شکل ۷- راندمان حرارتی در هواگرمن‌های مختلف در روز ۱۵ تیر در (الف) دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه و (ب) دبی جرمی ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر ثانیه.

### ۸- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، سه نوع هواگرمن خورشیدی برای موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی شهر کرمانشاه به صورت عددی و با استفاده از نرم افزار فلونت تحلیل شده است. سه مدل عبارتند از ۱- هواگرمن خورشیدی دو مسیره؛ ۲- هواگرمن خورشیدی دو مسیره با محیط متخلخل در زیر صفحه جاذب؛ ۳- هواگرمن خورشیدی تک مسیره با بازیاب در پایین صفحه جاذب. در این تحلیل تاثیر پارامترهای مختلف بر عملکرد هر یک از مدل‌های فوق بررسی و با یکدیگر مقایسه شده است. شدت تابش خورشید در روزهای ۱۵ دی و ۱۵ تیر و در ساعات مشخصی از روز توسط دستگاه تابش‌سنج اندازه‌گیری شده و به عنوان یکی از ورودی‌های نرم‌افزار شبیه‌سازی استفاده شده است. برای حل مساله و استخراج نتایج و داده‌ها از نرم افزار Fluent 15 استفاده شده است. صحت مدل مورد مطالعه توسط نتایج تجربی بررسی و تایید شده است.



**شکل ۸-** راندمان حرارتی در هواگرمن‌های مختلف در روز ۱۵ دی در (الف) دبی جرمی ۰/۰۱۱ کیلوگرم بر ثانیه و (ب) دبی جرمی ۰/۰۳۷ کیلوگرم بر ثانیه.

با بررسی خروجی‌های مدل‌سازی نتایج ذیل حاصل می‌شود:

- در کلیه حالت‌های مورد بررسی با نزدیک شدن به ظهر خورشیدی اختلاف دما بیشتر شده و با دور شدن از ظهر خورشیدی میزان اختلاف دما کاهش می‌یابد. اما در بعضی از حالات در هنگام صبح و غروب آفتاب هرچند اختلاف دما زیاد نیست ولی بخاطر پایین بودن میزان تابش راندمان بالا می‌رود که با نتایج مقاله تجربی [۹] سازگاری دارد.

- در هواگرمن‌های دو مسیره با افزایش دبی جرمی میزان اختلاف دما کاهش می‌یابد. علت این امر نیز آن است که با افزایش دبی جرمی میزان تشعشع خورشید باید مقدار بیشتری از هوا را در حین عبور از مجرای هواگرمن گرم کند لذا اختلاف دمای آن کاهش می‌یابد.

- در هواگرمن‌های دومسیره با افزایش دبی جرمی هرچند که میزان اختلاف دما کاهش می‌یابد ولی راندمان حرارتی افزایش یافته که این امر به صورت تحلیلی و با استفاده از رابطه کاملاً قابل توجیه و سازگار است.

- استفاده از محیط متخلخل در زیر سطح جاذب در هواگرمن‌های دومسیره باعث افزایش اختلاف دما و همچنین افزایش راندمان حرارتی می‌شود. علت این امر نیز آن است که استفاده از این لایه‌ها مدت زمان انتقال حرارت را افزایش داده و همچنین باعث آشفستگی در نوع جریان می‌شود.

- در حالت کلی می‌توان گفت اختلاف دماهای ایجاد شده و راندمان حرارتی در حالت تک مسیره با بازیاب از دو حالت هواگرمن دو مسیره با محیط متخلخل و دو مسیره ساده کمتر است. علت این امر آن است که در حالت‌های دومسیره هوا با تمامی دبی جرمی ورودی از مسیر پایین عبور کرده و کلیه حجم هوا در دو مجرا تحت اثر تابش خورشید قرار می‌گیرد. این در حالی است که در هواگرمن تک مسیره با بازیاب به علت اختلاف فشار در مسیر بازیاب جریان تمایل بیشتری به خروج از هواگرمن نسبت به ورود به مسیر بازیاب داشته و همین امر باعث می‌شود که مقدار دبی جرمی کمی از مسیر بازیاب عبور کند و اختلاف دما و راندمان حرارتی در این حالت پایین‌تر از دو حالت قبل شود. به طوری که بیشترین اختلاف دما در هواگرمن یک مسیره همراه با بازیاب مربوط به روز ۱۵ تیر و در دبی جرمی  $0/037$  کیلوگرم بر ثانیه اتفاق افتاده و برابر  $12/9$  درجه سلسیوس می‌باشد.

- ماکزیمم اختلاف دما در هواگرمن دو مسیره با محیط متخلخل در ساعت ۱۳ و در دبی جرمی  $0/011$  اتفاق افتاد که مقدار آن برابر  $40/8$  درجه سلسیوس می‌باشد.

- ماکزیمم راندمان حرارتی در روز ۱۵ تیرماه و در ساعت ۱۳ و در دبی جرمی  $0/037$  اتفاق افتاد، که مقدار آن  $70$  درصد می‌باشد و مربوط به حالت هواگرمن دو مسیره با محیط متخلخل می‌باشد.

- میزان اختلاف دما در تمامی حالت در روز ۱۵ دی ماه در مقایسه با ۱۵ تیرماه پایین‌تر بود و همین امر باعث شد که راندمان حرارتی کمتری در اکثر نقاط نظیر به نظیر به دست آید. به طوری ماکزیمم اختلاف دما در روز ۱۵ تیرماه و در دبی جرمی  $0/011$  اتفاق افتاد که مقدار آن  $3/8$  درجه سلسیوس می‌باشد.

## مراجع

- [1] Kabeel, A.E., Hamed, M.H., 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] Ansari, M., and Bazargan, M., "Optimization of Flat Plate Solar Air Heaters with Ribbed surfaces", *Appl. Therm. Eng.*, Vol. 136, pp. 356-363, (2018).
- [3] Akhbari, M., Rahimi, A., and Hatamipour, M.S., "Modeling and Experimental Study of a Triangular Channel Solar Air Heater", *Appl. Therm. Eng.*, Vol. 170, 114902, (2020).
- [4] Hosseini, S.S., Ramiar, A., and Ranjbar, A.A., "The Effect of Fins Shadow on Natural Convection Solar Air Heater", *Int. J. Therm Sci*, Vol. 142, pp. 280-294, (2019).



- [5] Hedayatizadeh, M., Sarhaddi, F., Safavinejad, A., Ranjbar, F., and Chaji, H., "Exergy Loss Based Efficiency Optimization of a Double-pass/Glazed V-corrugated Plate Solar Air Heater", *Energy*, Vol. 94, pp. 799-810, (2016).
- [6] Jamal-Abad, M.T., Saedodin, S., and Aminy, M., "Heat Transfer in Concentrated Solar Air-Heaters Filled with a Porous Medium with Radiation Effects: a Perturbation Solution", *Renew. Energy*, Vol. 91, pp. 147-154, (2016).
- [7] Hatami, N., and Bahadorinejad, M., "Experimental Determination of Natural Convection Heat Transfer Coefficient in a Vertical flat-plate Solar Air Heater", *Sol. Energy.*, Vol. 82, pp. 903-910, (2008).
- [8] Fakoor Pakdaman, M., Lashkari, A., Basirat Tabrizi, H., and Hosseini, R., "Performance Evaluation of a Natural-convection Solar Air-heater with a Rectangular-finned Absorber Plate", *Energy Conversion and Management*, Vol. 52, pp. 1215-1225, (2011).
- [9] Yeh, H.M., and Ho, C.D., "Heat-transfer Enhancement of Double-pass Solar Air Heaters with External Recycle", *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Vol. 42, pp. 793-800, (2011).
- [10] Dhiman, P., and Singh, S., "Recyclic Double Pass Packed Bed Solar Air Heaters", *International Journal of Thermal Sciences*, Vol. 87, pp. 215-227, (2015).
- [11] Alam, T., Saini, R.P., and Saini, J.S., "Experimental Investigation on Heat Transfer Enhancement due to V-shaped Perforated Blocks in a Rectangular Duct of Solar Air Heater", *Energy Conversion and Management*, Vol. 81, pp. 374-383, (2014).
- [12] 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).
- [13] Anderson, J.D., and Wendt, J., "*Computational Fluid Dynamics*", Springer, Berlin, Germany, (1995).
- [14] Duffie, J.A., and Beckman, W.A., "*Solar Engineering of Thermal Processes*", John Wiley and Sons, New York, USA, (2013).
- [۱۵] میرمعینی ع., "تعیین ضریب صافی هوا برای شهرهای مختلف ایران"، رساله کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ایران، اسفند (۱۳۸۱).
- [16] Nowzari, R., Aldabbagh, L., and Egelioglu, F., "Single and Double Pass Solar Air Heaters with Partially Perforated Cover and Packed Mesh", *Energy*, Vol. 73, pp. 694-702, (2014).

**Abstract**

In the present study, three types of solar air heaters for geographical location and climatic conditions of Kermanshah were analyzed numerically using fluent software. The analysis was carried out for the radiation intensity measured at different hours of July 15th and January 15th at two mass flowrates of 0.011 and 0.037 kg / s. The results show that the use of porous media below the adsorbent surface in double-pass solar air heaters increases the temperature difference and also increases thermal efficiency. The maximum temperature difference in double-pass solar air heater with porous medium was calculated at 13 o'clock at a mass flow rate of 0.011 kg / s and its value was 40.8 ° C. At the same solar air heater, the maximum thermal efficiency was calculated on July 15th at 1:00 pm at a mass flow rate of 0.037 kg / s and its value was 70%. In general, it can be concluded that the temperature difference and thermal efficiency in the single-pass solar air heaters with thermal recovery are less than double-pass heaters with porous medium and simple double-pass heaters.