حل عددی انتقال حرارت مکش و جریان موازی درون صفحات سوراخدار دایروی تحت اشعه خورشید

بهنام رحمانیان'، محمد رضا صفائی و مرجان گودرزی[†] Rahmanian_Behnam@yahoo.com

چکیدہ

در آینده بسیار نزدیک، جمع کنندههای مشبک خورشیدی بدون شیشه به طور گستردهای در سراسر دنیا، برای پیش گرم نمودن هوا مورد استفاده قرار خواهند گرفت. پیش گرم کردن هوای ساختمانها، فضاهای بزرگ و گرم نمودن هوا به منظور خشک کردن محصولات کشاورزی، چند نمونه از کاربردهای این جمع کنندهها می،اشند هوای محیط به طور مستقیم از طریق یک مکنده، به داخل منافذ تعبیه شده بر روی صفحه جاذب (صفحه بدون شیشه ای که با رنگ تیره پوشیده شده است) که در مقابل آفتاب قرار دارد، کشیده شده و این امر باعث گرم شدن هوای مکیده شده خواهد شد. عملکرد این صفحات وابسته به پارامترهای متعددی از قبیل هندسه و نوع منافذ، سرعت مکش و همچنین جهت باد خواهد بد. در این پژوهش، با بهکارگیری روش حجم محدود، نقشی که باد در عملکرد در نظر گرفته شدهاند و سعی شده که دامنه در نظر گرفته شده، برای پارامترهای مستقل مسئله، نظیر ضریب تخلخل، سرعت مکش، منفذ، سرعت مکش و همچنین جهت باد خواهد بود. در این پژوهش، با بهکارگیری روش حجم محدود، نقشی که باد در عملکرد در نظر گرفته شدهاند و سعی شده که دامنه در نظر گرفته شده، برای پارامترهای مستقل مسئله، نظیر ضریب تخلخل، سرعت مکش، مخامت صفحه، ضریب گذر حرارتی و سرعت باد دامنه عملی این پارامترهای مستقل مسئله، نظیر ضریب تخلخل، سرعت مکش، صفحات مشبک وابسته به شش پارامتر بدون بعد بوده که مهمترین آنها پارامتر رینولدز درون سوراخ بوده و کم اهمیت ترین این ویزمان ماسلت تشعشعی می باشد. نیز بررسی تغییرات فشار در پشت این صفحات این نتیجه را حاصل نمود که موثرین پارامتر بر وی این نتیج دراحمل نمود که موثرین آنها پارامترهای ایز، در برگیرد. نتایج نشان میده عملکرد حرارتی مفیدات مشبک وابسته به شش پارامتر بدون بعد بوده که مهمترین آنها پارامتر مینولدز درون سوراخ بوده و کم اهمیت ترین این وی وی این نتیجه راحمل نمود که موثرین پارامترها را نیز، در برگیرد. نتایج نشان می می می می بر ی پارامتر بر نور می می نور این می نور به می با یوری می موثرین پارامتر بر نواه دان مود که موثرین پارامتر بر نوی نتیجه را حاصل نمود که موثرین پارامتر بر روی این تغییرات، پارامتر ضریب تخلخل بوده و با تغییر این پارامتر، تغییرات شدید افت فشار رخ خواهد داد. همچنین، در شرایط

کليد واژه:

جمع کننده خورشیدی مشبک بدون شیشه - روش حجم محدود - صفحه سوراخدار مثلثی شکل - عدد ناسلت تشعشعی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوا فضا، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک و عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

۳- كارشناس مهندسى كامپيوتر، دانشگاه آزاد اسلامى واحد مشهد

۱– مقدمه

بروز بحران کمبود نفت در سالهای اخیر و شروع نگرانیهای مربوط به مسایل آلودگی محیط زیست، کشورهای جهان به ویژه کشورهای صنعتی توسعه یافته را بر آن داشته تا از انرژیهای تجدیدپذیر بهره بیشتری ببرند. این نوع انرژیها که به آنها انرژیهای نو نیز گفته می شود، شامل انرژی خورشیدی، باد، زمین گرمایی، هیدروژن و امواج دریاست. لازم به ذکر است که فقط انرژی خورشیدی در حال تابش بر سطح ایران، بیش از دو برابر انرژی مصرفی کل جهان است و فقط نیرویی لازم است تا آن را مهار کند. لذا، استفاده از صفحات مشبک به عنوان صفحه جاذب در کلکتورهای خورشیدی هوا گرمکن، مدتی است که توجه محققان را به خود جلب کرده است. بر خلاف کلکتورهای هوا گرمکن معمول که علاوه بر صفحه جاذب، باید از پوشش شفاف (شیشه) و عایق مناسب و جعبه محافظ در آنها استفاده نمود، کلکتورهای با صفحه مشبک هیچگونه پوشش شفافی ندارند و لزومی به عایق کاری در آنها نیست. هزینه آنها بسیار کمت ر از کلکتورهای معمولی و بازده حرارتی آنها بیشتر است. علاوه بر ایس مزایا، در حالیکه کلکتورهای معمـولی بایـد در انـدازه هـای کوچـک (معمولاً ۲m×۱m) تولید شده و سپس به صورت سـری یـا صوازی بهم متصل گردند، کلکتورهای مشبک بدون شیـشه را مـی تـوان در اندازههای بسیار بزرگ و به طور یکپارچه ساخت. مصرف عمده این کلکتورها در پیش گرم نمودن هوا به منظور تهویه فضاهای بزرگ اعم از کارخانجات، کارگاهها، ساختمانهای بزرگ و ... می باشد، هـر چند کاربردهای دیگری همچون خشک کردن محصولات کـشاورزی و رطوبت زدایی از مواد رطوبت گیر نیز گزارش شده است. اجزا تشكيل دهنده اين كلكتورها عبارتند از:

۱- صفحه جاذب مشبک که منافذ آن بـه صـورت شـيار يـا سـوراخ مي باشد.

۲- پایههای نگهدارنده که صفحه جاذب را به فاصلهای معین از دیوار نگه میدارد.

۳– دستگاه مکنده هوا

۴- سیستم توزیع هوای گرم

نصب این کلکتورها سـاده بـود و عمـدتاً بـر روی دیوارهـای جنـوبی ساختمان نصب میشود.

عملکرد کلکتورهای مشبک بدون شیشه بر پایه مکش هوا از درون منافذ صفحه می باشد. مکش باعث می شود سیال در هنگام عبور از درون منفذ، گرمای صفحه را جذب کرده و به فضای مورد نظر منتقل نماید. علیرغم آنکه در کلکتورهای معمولی، شیشه برای محافظت صفحهٔ جاذب از حمله باد و در نتیجه از دست دادن حرارت از طریق جابجایی است و نیز مانع تلف شدن حرارت جذب

شده صفحه به صورت تابش به محیط می شود، در کلکتورهای مشبک بدون شیشه وجود باد یک مزیت بوده و موجب چسبیده شدن بیشتر لایه مرزی به صفحه می گردد و ضریب کارآئی صفحه را افزایش می دهد. همچنین مکیده شدن هوای محیط از درون منافذ، از زیاد گرم شدن صفحه جلوگیری کرده و تلفات تابشی به محیط را بسیار کم می کند[۱]. مزایای فوق اعم از سادگی ساخت، ارزانی، عدم نیار به شیشه و در نتیجه خلاصی از مسائل تمیز کردن مداوم شیشه نیار به شیشه و در نتیجه خلاصی از مسائل تمیز کردن مداوم شیشه این کلکتورها در شرائط مختلف اقلیمی مورد مطالعه قرار گرفته و آنها، فاصله منافذ از یکدیگر و نحوه آرایش آنها، ضریب جذب آنها، فاصله منافذ از یکدیگر و نحوه آرایش آنها، ضریب جذب تشعشع صفحه و ضریب صدور تابشی آن و غیره بررسی گردد.

سسسع صعاع و عریب علور تابیلی آن و عیرا بررسی ترای بررسیهای آزمایشگاهی در مورد عملکرد و طراحی هواگرمکن های مشبک بدون شیشه برای منافذ شیار مانند توسط گلنشن و هولاندس [۲] برای اولین بار انجام شد. کوتچر و جاولیک و همکارانش [۲،۴،۲] با اعمال تئوری لایه مرزی ضخامت لایه مرزی، طول شروع و اتلاف انرژی برای صفحات مشبک با مکش پیوسته را تخمین زدند و مدلی را برای کارایی حرارتی آنها ارائه دادند. معادلاتی که کوتچر و همکارانش [۲،۴،۲] برای حل مسئله مورد استفاده قرار دادند، معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی در دو بعد بودند. باقری نژاد [۶] با بسط دادن مسئله صفحات شیاردار تحت مکش، حرکت موازی باد نسبت به صفحات را به گونهای در نظر گرفت که راستای وزش باد به موازات امتداد شیارها باشد.

گلنشن [۱]، به شیوهای بسیار عملی تر مسئله صفحات شیاردار را بررسی و تحلیل نمود. وی با استفاده از نـرم افـزار FLUENT و بـه صورت عددی، صفحات شیاردار تحت مکش را در وضعیتی که باد موازی با صفحه و در جهات مختلف نسبت به راستای شیارها میوزد، بررسی نمود. تحقیق عددی دیگری نیز توسط ارولناندام و هولاندس [۷] و به وسیله نرم افزار تجاری TASCflow انجام گرفت که مدل ضریب عملکرد را برای صفحات سوراخ دار با منافذی که به صورت مربعی چیده شده بودند و از وجود باد نیز صرف نظر شده بود به دست می داد. دسکر و هولاندس [۹و۸] آزمایشاتی بر روی صفحات سوراخ دار انجام داد و نتایجی را به صورت آزمایـشگاهی و عملی در شرایط موجود به دست آورد. در آزمایشات دسکر و هولاندس [۹و۸]، جهت باد ثابت در نظر گرفته شد و تنها از یک جهت به این صفحات باد میوزید. تاکنون تحلیل عددی برای مسئله صفحات سوراخ دار در شرایطی که وزش باد در راستای موازی با صفحه وجود داشته باشد، انجام نگرفته است. در تحقيق حاضر با بهره گیری از نرم افزار Fluent به بررسی این موضوع پرداخته

میشود. در این مطالعه، جهت وزش باد موازی با راستای آرایـش سوراخ فرض شده و جهت آن تغییر نمیکند.

۲- بیان مسئله

صفحه مشبک سوراخ داری را در نظر گرفته که جریان باد به طور موازی با آن، روی سطح در حال وزش است و هوا در اثر مکش، از قسمت زیرین لایه مرزی به داخل سوراخ ها مکیده می شود که در این صورت جریان بر روی صفحه، به صورت سه بعدی خواهد بود. علی رغم بررسیهای علمی که تاکنون بر روی این گونه صفحات انجام شده، تنها یک بررسی به صورت عددی گزارش گردیده که در آن بررسی، از اثر وجود باد صرف نظر شده و آرایش سوراخ ها به صورت مربعی بوده است. هدف از انجام پژوهش حاضر، تحقیق و بررسی اثر وزش باد بر عملکرد حرارتی صفحات سوراخ دار با آرایش مربعی و مثلثی می باشد. شکلهای (۲و۱) طرحواره مسئله را نشان می دهند.

معادلاتی که بر جریان روی صفحه مشبک حاکم است، در دستگاه مختصات دکارتی عبارتند از:

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

$$\rho \left[u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right] =$$

$$- \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)$$
(Y)

$$\rho\left(u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z}\right) =$$

$$-\frac{\partial p}{\partial y} + \mu\left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2}\right)$$
(**Y**)

$$\rho\left(u\frac{\partial w}{\partial x} + v\frac{\partial w}{\partial y} + w\frac{\partial w}{\partial z}\right) =$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} + \mu\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2}\right)$$
(*)

$$u\frac{\partial T}{\partial x} + v\frac{\partial T}{\partial y} + w\frac{\partial T}{\partial z} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right) + \phi$$
 (Δ)

$$\phi = 2\mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right] +$$

$$\mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right]$$

$$(\mathbf{\mathcal{F}})$$

$$\mu \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \right]$$

۲- خواص سیال اعم از لزجت، جرم حجمی، ضریب انتقال حرارت و نظایر آنها در هر سه جهت ثابت و برابر با هم است.
 ۳- وزش هوا به صورت موازی با سطح صفحه و در راستای قرار گرفتن سوراخ ها می باشد.
 ۴- افت فشار در راستای وزش باد وجود ندارد.

۵- از نیروی جاذبه صرف نظر شده است.

۴- شرایط مرزی

۱- در صفحه $y = y_{\infty}$ ، شرط مرزی به صورت سرعت ورودی از بالای صفحه که v_0 می باشد، بوده و دما در این صفحه، دمای محیط x_{∞} می باشد.

Z=0, و صفحات $\frac{P}{2} = Z$ و Z= $\frac{P}{2}$ برای حالت مربعی و صفحات Z=0, -۲ در صفحات Z=0 و Z=P در حالت مثلثی، از خاصیت تقارن هندسی استفاده شده و شرط مرزی به صورت متقارن در نظر گرفته شده است.

۲- در صفحات $\mathbf{x} = \mathbf{0}$ $\mathbf{x} = \mathbf{x}$ شرط مرزی متناوب در نظر گرفته شده است.

۴- بر روی صفحه (y = t) از شرط عدم لغزش روی سطح استفاده شده است.

۶- شرط مرزی در پشت صفحه و قسمتی که جامد است، به صورت عایق فرض شده است.
 ۷۰۰ لازم به ذکر است که در تمام محاسبات انجام شده، αG برابر ۷۰۰ د.
 در نظر گرفته شده است.

۵- تاثیر وجود جابه جایی آزاد در جریان

اگر جریان سیال بر روی این صفحات در سرعت کم صورت گرفته و سرعت مکش نیز پایین باشد، انتقال حرارت میتواند به صورت جابجایی آزاد نیز از صفحه به سیال صورت گیرد. در صورت وجود این نوع انتقال حرارت، باید آن را در محاسبات وارد نمود. برای بررسی اثر این نوع جریان می توان از کسر $\frac{Gr}{\text{Re}_{\infty}^2}$ استفاده کرد. این کسر نشان دهنده تاثیر و یا عدم تاثیر جریان جا به جایی آزاد میباشد. در صورتی که این کسر خیلی کوچک تر از یک باشد، از اثر انتقال حرارت جابجائی آزاد می توان صرف نظر کرد. به عنوان نمونه، یکی از حالت ها بررسی شده اند. اگر:

$$\operatorname{Re}_{D} = 132.7367$$
 , $\frac{v_{0}}{U_{\infty}} = 0.04$, $h_{t} = 6.2$

 $0.32mm \le D \le 7.5mm$ $5mm \le P \le 25mm$ $0.032mm \le t \le 37mm$ $0.3(m/s) \le U_{\infty} \le 160$ $0.001(m / s) \le v_0 \le 0.5(m / s)$ $0.1(W / m^{\circ}C) \le k_{s} \le 160(W / m^{\circ}C)$

۷- روش حل عددی

لذا:

در این مطالعه، برای حل معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی، از روش حجم محدود که به طور کامل در [۱۰] بیان شده، استفاده شده است. در اینجا توضیح مختصری در مورد این روش ارائه می شود. در روش حجم محدود، کار با تقسیم حوزه محاسباتی به تعداد محدودی حجم کنترل شروع می شود. گره های شبکه در مراکز حجم های کنترل قرار گرفته است. در مرحله بعدی بایستی از معادلات حاکم روی حجم های کنترل انتگرالگیری شود که در این صورت معادلات دیفرانسیل حاکم با یک دستگاه معادلات جبری جایگزین خواهد شد که برای این کار از روش گسسته سازی جدا از هم استفاده شده است. مقادیر هـر گـره در متغیرهـای موجـود در معادلات جبری موجود است. همچنین برای تفکیک متغیرهای سرعت و فشار، از الگوریتم سیمیل [۱۰] استفاده شده است. سیس برای حل دستگاه معادلات جبری روش حل خط به خط ماتریسهای قطری (TDMA) بکار گرفته شده است. و معادله بدست آمده با روش حجم كنترل حل شده است.

همچنین روش حل معادلات تشعی میں روش (DO) Ordinates می باشد. تعداد کل گرههای شبکه برای هر دو حجم جامد و سیال در حدود ۲۲۵۰۰۰ گره می باشد که در سه راستا، حدودا برابر (۵۰×۹۰×۵۰) می باشد. شکل(۳) المانی از صفحه جاذب سوراخ دار را نشان میدهد که در محاسبات مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین شکلهای(۵و۴) شبکه تولیدی برای صفحات سوراخدار با آرایش مربعی و مثلثی را نشان میدهد.

۸- گسسته سازی معادلات در روش جدا از هم

نرمافزار FLUENT با استفاده از روش حجم محدود، معادلات حاكم را به معادلات جبری قابل حل تبدیل میکند که به صورت انتگرال گیری بر روی حجم معیار خواهد بود. جداسازی معادلات را می توان به سادگی با در نظر گرفتن بقای خاصیت ϕ نشان داد که برای یک حجم معیار خواهیم داشت:

$$\oint \rho \phi \vec{V} d\vec{A} = \oint \Gamma_{\phi} d\vec{A} + \int_{\Gamma} S_{\phi} dV \tag{Y}$$

T = 300K, P = 0.01m

و سرعت مکش، این عدد کمتر نیز خواهد بود.

8- محدوده يارامترها

جریان حرکت سیال و انتقال حرارت آن در صفحات مشبک در صورتی که جهت وزش هوا، موازی با راستای آرایش سوراخ ها باشـد با توجه به فرم بدون بعد معادلات (۱–۳) تا (۵–۳) تابع شش یارامتر زير خواهد بود:

$$x_{1} = F = \frac{v_{0}}{U_{\infty}}$$

$$\sigma = x_{2} = \frac{\pi D^{2}}{4P^{2}}$$

$$x_{3} = \frac{v_{h}D}{D}$$

$$x_{4} = \pi \frac{k_{s}}{k_{a}} \frac{tD}{p^{2}}$$

$$x_{5} = \frac{t}{D}$$

$$x_{6} = Nu_{r} = \frac{h_{r}D}{k_{a}}$$

$$0.004 \le x_1 \le 0.08$$

$$0.0033 \le x_2 \le 0.08$$

$$50 \le x_3 \le 800$$

$$0.5 \le x_4 \le 300$$

$$0.1 \le x_5 \le 5$$

$$x_6 = Nu_r = \frac{6.2D}{k_a}$$

پس

قابل

49

ho : جرم حجمی سیال \overline{V} : بردار سرعت \overline{A} : بردار مساحت سطح \overline{P}_{φ} : ضریب پخش φ $\overline{\nabla}_{\varphi}$: گرادیان φ S_{φ} : منبع تولید φ بر واحد حجم معادله (۷) برای هر حجم معیار یا سلول در دامنه محاسباتی به کار می رود. شکل(۶) سلولی به صورت مثلثی و دوبعدی از این نوع حجم

معيار را نشان مىدهد، كه براى اين حجم خواهيم داشت:

$$\sum_{f}^{N_{pm}} V_{f} \varphi_{f} A_{f} = \sum_{f}^{N_{pm}} \Gamma_{\varphi} (\nabla \varphi)_{n} A_{f} + S_{\varphi} V$$
 (A)
 N_{faces}
 N_{faces}
 N_{f} : تعداد سطوح سلول
 M_{f} - مقدار φ ، جابهجا شده از سطح f

f : شار جرمی گذرنده از سطح f : ساحت سطح A_f : مساحت سطح f در دو بعد A_f : معدار $(
abla \varphi_n)$: مقدار $\phi \nabla$ عمود بر سطح f : V = V

نرمافزار، مقادیر گسسته اسکالر φ را در مرکز سلولها ذخیره میکند. اما مقادیر φ روی سطوح سلول که برای عبارتهای جابهجایی مورد نیاز است باید از مقادیر مرکزی سلولها میانیابی شوند، که توسط طرح بالادست انجام میشود. طرح بالادست، به این معنی است که مقادیر φ روی سطوح از کمیتهای سلولهایی که در بالادست جریان (نسبت به جهت بردار عمودی سرعت در معادله (۸) قرار دارند، به دست میآید. هنگامی که دقت مرتبه اول مورد نیاز باشد، کمیتهای سطوح سلول با این فرض که در هر میدان، معادیر مرکزی سلول نشان دهنده میانگین آن در کل سلول است، است. بنابراین در طرح بالادست مرتبه اول معروف محاسبه میشود که این فرض به طرح بالادست مرتبه اول معروف محالب میشود که این فرض به طرح بالادست مرتبه اول معروف نظر گرفتن معادلات انتگرالی پیوستگی و اندازه حرکت قابل توضیح است.

$$\oint \rho \vec{V} \, d\vec{A} = 0 \tag{9}$$

$$\oint \rho \vec{V} \vec{V} \, dA = -\oint \rho \vec{I} \, d\vec{A} + \oint \vec{\tau} \, d\vec{A} + \int \vec{F} dV \tag{1}$$

که \overline{I} ماتریس واحد، $\overline{\tau}$ تانسور تنش و \overline{F} بردار نیروی جسمی است. با استفاده از روشهای گسسته سازی گفته شده برای گسسته نمودن یک معادله غیربرداری، می توان معادله اندازه حرکت را گسسته نمود.

به عنوان مثال معادله اندازه حرکت در جهت x را با در نظر گرفتن $\varphi = u$ می توان به صورت زیر گسسته کرد: $a_p u = \sum a_{nb} u_{nb} + \sum p_f . \vec{IA} + S$ (۱۱)

اگر میدان فشار و نرخ جرمی گذرنده از سطوح معلوم باشد معادله (۱۱) را میتوان با روشهای گفته شده حل نمود و میدان سرعت را مشخص کرد. اما میدان فشار و شار جرمی گذرنده از سطوح، از قبل مشخص نیستند و باید به عنوان قسمتی از حل مسأله، محاسبه شوند. از آن جا که FLUENT مقادیر فشار و سرعت را در مرکز سلولها ذخیره می کند هرگاه نیاز به مقدار فشار روی سطح باشد با استفاده از مقادیر فشار در مرکز سلولها، مقادیر فشار روی سطوح را میانیابی می کند که البته این عمل با این فرض انجام می شود که تغییرات فشار بین سلولها هموار است. معادله پیوستگی (۹) با انتگرال گیری روی حجم معیار به صورت زیر نوشته می شود:

$$\sum_{j=1}^{N_{low}} J_j = 0 \tag{11}$$

که در آن J_f نرخ گذر جرمی از سطح f میباشد به عبارت دیگر: $\int_{-\infty}^{N_{exc}} \rho V_n A_f = 0$ (۱۳)

همان طور که گفته شد در روش جدا از هم، معادلات پیوستگی و اندازه حرکت به ترتیب حل می شوند. در این شیوه، معادله پیوستگی، به عنوان یک معادله برای فشار به کار می رود. اما برای جریان تراکمناپذیر، فشار در معادله (۱۲) به صورت صحیح ظاهر نمی شود (چون جرم حجمی به طور مستقیم با فشار در ارتباط نمی باشد). برای ادامه حل، لازم است که مقادیر سرعت عمود بر سطح مرزها با مقادیر سرعت مربوط به مرکز سلول ها ارتباط یابند. ولی مقادیر سرعت ها در سطوح، متوسط خطی سرعتها در مرکز سلول نبوده و از تابع وزنی اندازه حرکت ($_a$) استفاده می شود. با استفاده از این روش، شار جرمی گذرنده از سطح به صورت زیر نوشته می شود:

$$J_{f} = \dot{J}_{f} + d_{f} \left(p_{e0} - p_{e1} \right)$$
 (14)

 J_f که در آن p_{ei}, p_{eo} فشار دو سلول طرفین سطح میباشند و J_f تأثیر سرعتها دراین سلولها میباشند. عبارت d_f را میتوان به صورت زیر نوشت:

$$d_f = \frac{\rho A_f^2}{\overline{a_p}} \tag{10}$$

و $\overline{a_p}$ متوسط a_p مربوط به سلول ها اطراف سطح است. $\overline{a_p}$

۹-۷- مقادیر سرعت جریان هوا در روی صفحه و داخل ۹- نتایج و بحث سوراخ در آرایش مثلثی ۱-۹- لایسه مسرزی گرمسایی در مسسیر جریسان هسوا از روی در شکل(۱۳) مقادیر سرعت جریان در روی صفحه، داخل سوراخ و سوراخها در آرایش مربعی همچنین جریان برگشتی (ویک) که در دیواره سوراخ به وجود آمده، در شکل(Y) هوا با سرعت s = 10m / s در راستای بردار x حرکت کرده نشان داده شده است. و ضمن عبور از صفحه، لایه مرزی حرارتی تشکیل داده است. هوای ۸-۹- لایه مرزی گرمایی عمود بر مسیر جریان در آرایش گرم شده نیز توسط فن مکش به درون سوراخ کشیده میشود. ۹-۲- لایه مرزی گرمایی داخل سوراخ در مسیر جریان هـوا مربعى در شکل(۱۴) هوا با سرعت 0.2m / s از بالای صفحه به سمت سطح در آرایش مربعی صفحه در جهت بردار y جریان دارد به صورت توزیع دمادر حاشیه در شکل(۸) قسمت ورودی جریان (سوراخ) نشان داده شده است که سمت چپ گراف مشخص شده است. به علت جریان برگشتی (ویک) که در سوراخ به وجود آمده، دمای ۹-۹- توزیع دمای سیال در آرایش مربعی در صفحه هوا بالاتر رفته و سپس به درون مجرا راه پیدا می کند. ۹–۳– لایه مرزی گرمایی در مسیر جریان هوا در حدفاصل y = 1.65mmدر شکل(۱۵)، توزیع دما از نمای دید بالا در فاصله بین سوراخها در آرایش مربعی و در آرایش مربعی y = 1.65E - 3mدر شکل(۹) هوا با سرعت s / 10m در راستای بردار x حرکت نشان داده شده است. می کند. چون در حدفاصل بین سوراخها در این مسیر سوراخی ۹-۱۰- توزیع دمای سیال در آرایش مربعی در صفحه وجود ندارد، لایه مرزی به تدریج بزرگتر می شود. ایـن گـراف عیـب صفحات سوراخدار با آرایش مربعی را نشان داده است. زیرا هوایی که y = 1.7mmاین شکل هم مانند شکل بالا میباشد، با این تفاوت که توزیع دما در در حد فاصل بین سوراخها جریان دارد گرم شده و بدون استفاده از فاصله y = 1.7E - 3 از سطح صفحه نشان داده شده است. آن، از سمت دیگر صفحه بیرون میرود. ۹-۱۱-۱ توزیع دمای سیال در آرایش مربعی در صفحه ۹-۴- لایه مرزی گرمایی درمسیر جریان هوا از روی سوراخها در آرایش مثلثی v = 1.75mmاین شکل توزیع دما را در آرایش مربعی در فاصله x = 1.75E - 3 از در شکل(۱۰) هوا با سرعت 10m/s در راستای محور x به سـمت سطح صفحه نشان میدهد. صفحه در حرکت می باشد. مقادیر توزیع دما بر روی صفحه در ۹–۱۲– توزیع دمای سیال در آرایش مربعی در صفحه آرایش مثلثی نشان داده شده است. حسن صفحات سوراخدار با آرایش مثلثی دراین است که اگر هوا در هر فاصله از صفحه در y = 1.8mmراستای محور z حرکت کند، در مسیر خود به سوراخی رسیده و این شکل نیز مانند بالا توزیع دما را در آرایش مربعی در فاصله y =1.8E - 3 از سطح صفحه نشان می دهد. انتقال حرارت به صورت كامل تر از آرایش مربعی صورت می گیرد. در شکلهای(۱۵ تا ۱۸) به ترتیب هر چه از سطح صفحه دورتر ۹-۵- مقادیر سرعت جریان هوا در روی صفحه و داخل میشویم، دمای سطح پایین تر میآید. سوراخ در آرایش مربعی ۹–۱۳– توزیع دمای سیال در آرایش مثلثی در صفحه در شکل(۱۱) مقادیر جزء به جزء سرعت در لایه مرزی و درون سوراخ نشان داده شده است. همچنین جریان برگشتی (و یک) به y = 1.65mmوجود آمده در جداره سوراخ نیز، مشخص می باشد. در شکل(۱۹)، توزیع دما از نمای دید بالا در فاصله ۹-۶- نمایش خطوط مسیر جریان داخل سوراخ در آرایش رایش مثلثی y = 1.65E - 3m از سطح صفحه در جهت y و در آرایش مربعي در شکل(۱۲)، خطوط مسیر جریان درون سوراخ نشان داده شده

است. خطوط مسیر جریان، مسیر کلی جریان را از شروع حرکت تا

انتهای مسیر، لایه به لایه نشان میدهند.

نشان داده شده است. **۹–۱۴– توزیع دمای سیال در آرایش مثلثی در صفحه** y = 1.7mm در این شکل توزیع دما از نمای دید از بالا در فاصله 3m – 1.7E – y از سطح صفحه در جهت y نشان داده شده است.

۹–۱۵– توزیع دمای سیال در آرایش مثلثی در صفحه y = 1.75mmدر این شکل توزیع دما از نمای دید از بالا در فاصله ا سطح صفحه در جهت y نشان داده شده است. y = 1.75E - 3m۹-۱۶- توزیع دمای سیال در آرایش مثلثی در صفحه y = 1.8mmy = 1.8E - 3m در این شکل توزیع دما از نمای دید از بالا در فاصله از سطح صفحه در جهت y نشان داده شده است. در شکلهای(۱۹ تا ۲۲) به ترتیب هر چه از سطح صفحه دورتر میشویم، دمای سطح پایینتر میآید. ۹-۱۷- لایه مرزی گرمایی عمود بر مسیر جریان هوا در آرایش مثلثی در این شکل هوا با سرعت s / 0.2m از بالای صفحه به سمت یایین جریان دارد و در این شکل توزیع دما بـه صـورت کامـل نـشان داده شده است. ۹–۱۸– نمایش خطوط مسیر جریان در راستای سوراخها در آرایش مثلثی در این شکل خطوط مسیر جریان درداخل سوراخ نـشان داده شـده است. خطوط مسیر جریان مسیر کلی جریان را از شروع حرکت تا انتهای مسیر، لایه به لایه نشان میدهد.

۱۰- نتیجهگیری

۱- عملکرد حرارتی صفحات مشبک وابسته به شش پارامتر بدون
 بعد بوده که مهم ترین آنها پارامتر رینولدز درون سوراخ بوده و کم
 اهمیت ترین این پارامترها، ناسلت تشعشعی می باشد.

۲- بالاترین کارائی حرارتی صفحات هنگامی رخ می دهـ د کـه
 پارامترهای ₁ x₁ و x₃ کمینه شوند.

۳- بررسی تغییرات فشار در پشت این صفحات این نتیجه را حاصل نمود که موثرترین پارامتر بر روی این تغییرات، پارامتر ضریب تخلخل بوده و با تغییر این پارامتر، تغییرات زیادی را بر افت فشار شاهد خواهیم بود.

۴- هر چه از سطح صفحه دورتر میشویم، دمـای سـطح پـایینتـر میآید.

۵- در نهایت نشان داده شد؛ در شرایط مساوی، صفحات با آرایت مثلثی سوراخ ها، کارایی بهتری نسبت به همان صفحات با آرایش مربعی خواهند داشت. زیرا در صفحات سوراخدار با آرایش مثلثی، اگر هوا در هر فاصله از صفحه در راستای محور ۲ حرکت کند، در

مسیر خود به سوراخی رسیده و انتقال حرارت به صورت کاملتر از آرایش مربعی صورت میگیرد.

11- فهرست علائم

D	فطر سوراخ (m)
G	$\left(W \ / \ m^{2} ight)$ شدت تشعشع نور خورشید
Η	طول صفحه بین دو شیار $ig(mig)$
L	ig(mig) گام تکرار شکافها $ig(mig)$
L_s	(m) طول شروع لایه مرزی سرعت
р	گام سوراخها $ig(mig)$
Т	دما (K)
и	سرعت هوا در جهت x (m / s) سرعت هوا در
V	سرعت جریان هوای یکنواخت در جهت y (m / s)
W	سرعت هوا در جهت z (m / s)
k_s	$igwedge_{W \ / \ m^{2} \circ k} ig)$ ضریب انتقال حرارت هدایتی جامد
$\operatorname{Re}_{\infty}$	عدد رینولدز روی صفحه
t	عدد رینولدز داخل شیار
Nu_r	عدد ناسلت تشعشعی
Gr	عدد گراشف
y_{∞}	فاصله بی نهایت دور از صفحه
x_1	پارامتر ہی بعد اول
$x_2 = \sigma$	بارامتر بی بعد دوم (ضریب تخلخل)
<i>x</i> ₃	بارامتر بی بعد سوم
x_4	بارامتر بی بعد چهارم
x_5	بارامتر بی بعد پنجم
x_6	بارامتر بی بعد ششم
h	$(W \ / m^2 \ k)$ ضریب انتقال حرارت تشعشعی
k	$(W \ / \ m^{2} \circ_k)$ ضریب انتقال حرارت هدایتی هوا
V.	(m/s) سرعت هوا در بالای صفحه (m/s)
• h 1)	$\left(\frac{m^2}{s}\right) \leq \frac{\pi}{s}$
U U	$\binom{m+s}{2}$
a	$\left(\frac{m^2}{s}\right) = \frac{m^2}{s}$
đ	صریب پخس ترمایی (s / m) ۱۰ - تابله از ج
φ	ابغ تشاک ترج حگال جرا
σ	چنانی هوا ضربت تخلخا ر
	<u> </u>







۵۲



- [9] G. V. Decker, T. Hollands and A. Brunger, "Heat-exchange relations for unglazed Transpired solar collectors with circular holes on a square or triangular pitch", Solar Energy, 71(1), pp. 33–46, 2001.
- [10] S. V. Patankar, "Numerical Heat Transfer and Fluid Flow", Mc Graw-Hill, 1980.
- [11] H. Schlichting, "Boundary Layer Theory", Mc Graw-Hill, 1973.
- F. P. Incorpera, D. P. Dewitt, "Introduction to Heat Transfer. External Flow (pp.364-375) Free Convection (pp.496-533) ", New York: John Wiley and Sons, 2002.
- [13] L. Gunnewiek, E. Brundrett and T. Hollands, "Flow distribution in unglazed transpired Plate solar air heaters of large area", Solar Energy, 58(4-6), pp. 227–237, 1996.
- [14] L. Gunnewiek, T. Hollands and E. Brundrett, "Effect of wind on flow distribution In unglazed transpired-plate collectors", Solar Energy, 72(4), pp. 317–325, 2002.
- [15] T. Hollands, "Principles of the transpired-plate air heating collector: the solar wall. In Renewable Energy Technologies in Cold Climates", Solar Energy Society of Canada Annual Meeting, pp. 139–144, 1998.
- [16] B. A. Fleck, R. M. Meier and M. D. Matovic, "A Field Study of the Wind Effects on the Performance of an Unglazed Transpired Solar Collector", Solar Energy, 73 (3), pp. 209-216, 2002.

س. آقا نجفی و ع. دهقان، "انرژی تشعیشع خورشیدی پیسرفته و کاربردهای صنعتی"، انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیراادین طوسی،

[18] Fluent 6.2.16 Users Guide.

۱۳- مراجع

- [۱] ع. ستوده، انالیز عددی سهبعدی جریان هو، همراه با انتقال حرارت از صفحات مشبک شیاردار تحت مکش با زوایای مختلف وزش باد، پایاننامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز، شهریورماه ۱۳۸۴.
- [2] A. Golneshan, T. Hollands, "Forced convection experiments on slotted transpired Plates", Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering, 24 (1 B), pp. 335–348, 2000.
- [3] C. Kutscher, "Transpired solar collector systems: A Major advance in solar heating", In Proceedings of the World Energy Engineering Congress, pp. 481–489, Atlanta, GA, 1996.
- [4] C. Kutscher, K. Gawlik, "Wind heat loss from corrugated, transpired solar collectors", Journal of Solar Energy Engineering, 124, pp. 256–261, 2002.
- [5] C. Kutscher, C. Dymond, "Development of a flow distribution and design model For transpired solar collectors", Solar Energy, 60(5), pp. 291–300, 1997.

[۶] ع، باقری نژاد، انالیز سه بعدی جریان سیال همراه با انتقال حرارت روی صفحات مشبک تحت مکش، پایان نامه کار شناسی ار شد، دانـ شگاه شیراز، آبان ماه ۱۳۷۹.

- [7] S. Arulanandam, T. Hollands, and E. Brundrett, "CFD heat transfer analysis of the transpired solar collector under nowind conditions", Solar Energy, 67(1), pp. 93–100, 1999.
- [8] G. V. Decker, T. Hollands, "An empirical heat transfer equation for the transpired solar collectors, including no-wind conditions", In Proceedings of ISES Solar World Congress 1999, 3, pp. 23–27, 1999.