بررسی کارایی حرارتی کلکتورهای خورشیدی مشبک در جریان باد عمود بر صفحه

امیر محمودی کوچکسرایی*[۱]، علی اکبر گلنشان [۱]

تاریخ دریافت مقاله:
۸۹/۱/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله:
۸۹/۳/۶

چکیده:

باتوجه به نیاز روز افزون بشر به انرژی حرارتی و کاهش منابع انرژی فسیلی در جهان، نیاز به استفاده از انرژهای نو مورد توجه جدی قرار گرفته است. در این راستا انرژی خورشیدی در جهت تامین قسمتی از انرژی مورد نیاز جوامع بشری در آینده در اولویت قرار دارد. استفاده از کلکتورهای خورشیدی بدون شیشه با صفحه جاذب مشبک بدلیل راندمان بالا و هزینه‌ی کم یکی از راههای تامین انرژی در زمینه گرمایش هوای مورد نیاز فضاهای بزرگ مانند کارخانجات و کارگاهها و همچنین در خشک کردن محصولات کشاورزی است. در این پژوهش عملکرد حرارتی این کلکتورها که در فضای باز نصب می شوند و در معرض مستقیم تابش خورشید و وزش باد می باشند مورد بررسی قرار گرفته است. با فرض وزش باد در راستای عمود بر صفحه کارائی حرارتی صفحات جاذب با جنس‌های مختلف و میزان تخلخل متفاوت در چند حالت سرعت و مکش جریان مورد بررسی قرار گرفته شده است با توجه به آنالیزهای تحلیلی صورت گرفته ابتدا عوامل موثر بر کارایی حرارتی این کلکتورها مشخص گردید و در ادامه تاثیر هر عامل بر کارایی حرارتی این کلکتورها مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین انتقال حرارت از پشت صفحه که در اکثر تحقیقات گذشته مورد محاسبه واقع نمی‌گردید، لحاظ شده است. نتایج نشان می‌دهد که رفتار کلی این صفحات و کارایی حرارتی آنها تحت تاثیر پارامترهای مشخص شده تا حدود قابل ملاحظه‌ای مشابه به حالت وزش باد بصورت جریان موازی با صفحه بوده و تنها در برخی موارد اختلافاتی مشاهده شده است.

کلمات کلیدی:
صفحات جاذب مشبک، کارائی حرارتی، کلکتورهای بدون شیشه، کلکتورهای خورشیدی

۱) دانشکده مهندسی مکانیک و هسته ای دانشگاه شیراز
* نویسنده مسئول Amir.Mahmoodi@gmail.com

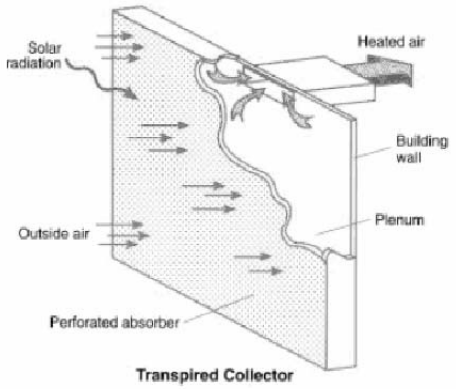
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

مقدمه

هر منظری از زندگی انسان، از فعالیت‌های معمول تا فرود بر سطح کره ماه، به پشتوانه انرژی صورت می‌گیرد. امروزه بیشتر انرژی مورد نیاز جامعه بشری توسط سوختهای فسیلی مانند نفت، گاز و زغال سنگ تامین می‌گردد. در دهه‌ی گذشته آلودگیهای زیست محیطی و روبه اتمام بودن سوختهای فسیلی ، بشر را به فکر استفاده از انرژی‌های جایگزین واداشته است. انرژی خورشید یکی از این انرژی‌ها است که علاوه بر سازگاری با محیط زیست همیشه در قسمت اعظمی از سطح کره زمین یافت می‌شود. امروزه انرژی خورشید طیف وسیعی از کاربردها را مانند گرمایش آبگرم مصرفی، تهویه مطبوع ساختمانها، خشک کردن محصولات کشاورزی، تولید برق نیروگاه‌ها با جمع کننده خورشیدی و ... دارا می باشد.

یکی از جدیدترین کاربردهای این انرژی استفاده از آن در تهویه مطبوع ساختمانهای بزرگ می‌باشد. در این زمینه هواگرمکن‌های بدون شیشه با صفحات جاذب مشبک به علت مزایای آن نسبت به کلکتورهای معمولی، راندمان بالاتر و هزینه ی کمتر، توجه خاص را به خود اختصاص داده‌اند.

طرز کار این هواگرمکن‌های بدون شیشه با صفحات مشبک بطور قابل ملاحظه ای ساده است. یک صفحه فلزی تیره رنگ مشبک در دیواره جنوبی ساختمان نصب می گردد. این صفحه ، یک فاصله هوایی چند سانتیمتری با دیوار اصلی ساختمان دارد. این صفحه‌ی تیره رنگ ، به عنوان جاذب انرژی خورشید ، انرژی دریافتی را به گرما تبدیل می‌کند (شکل۱). فن‌ها به همراه سیستم تهویه ساختمان در بالای دیوار نصب می‌شوند و هوای بیرون را از میان سوراخ‌ها یا شکاف‌های صفحه‌ی مشبک به درون مکیده و نهایتاً هوای گرم شده را از طریق کانالهایی که در سقف نصب شده اند، پخش می‌کنند. هواگرمکن‌های بدون شیشه با صفحات مشبک را در تمام یا قسمتی از نمای جنوبی ساختمان نصب می کنند . با توجه به مساحت زیاد این کلکتورها،از آنها جهت گرمایش کارگاه‌های صنعتی، مدارس، ورزشگاه‌های سرپوشیده و فروشگاهای بزرگ و انبار وسائل و ... می توان استفاده کرد.



شکل ۱: شکل شماتیک کلکتور بدون شیشه با صفحات مشبک

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

تاثیرات مکش و دمش پیوسته در جریان موازی از سال ۱۹۳۶ توسط گریفیث و مِردیث بصورت تحلیلی مورد مطالعه قرار گرفت[۱۶]. ایشان نشان دادند که در چنین شرایطی معادلات مومنتوم و پیوستگی بطرز جالبی ساده می‌شود و لایه‌ی مرزی تشکیل شده بر روی صفحات مشبک به ضخامت ثابتی خواهد رسید.

کوتچر و همکاران[۱۵] از این ویژگی استفاده کرده و عملکرد کلکتورهای مشبک بدون شیشه را مورد مطالعه قرار دادند. ایشان بصورت تحلیلی به بررسی حرکت سیال و انتقال حرارت در صفحات مشبک پرداخته و برای تعیین اندازه‌ی اتلاف حرارت در شرایط ایده‌آل بیان کردند. آنها فرض نمودند که لایه مرزی جریان آرام باقی بماند. از آنجایی که ضخامت لایه مرزی وابسته به میزان مکش می‌باشد، آنها به بررسی حداقل میزان مکش که در آن جریان آرام به جریان متلاطم تبدیل می شود، پرداختند. ایشان نشان دادند که حداقل سرعت محاسبه شده خیلی کمتر از مکش کارکرد کلکتورهای با صفحات مشبک می‌باشد. آنها همچنین به بررسی اثر افت حرارتی ناشی از جابجایی آزاد پرداخته و نشان دادند که افت حرارتی فوق بسیار ناچیز و قابل صرفنظر کردن است.

کوتچر به صورت آزمایشگاهی به بررسی کارایی حرارتی صفحات مشبک با سوراخهای دایره ای پرداخت[۱۴]. او در این آزمایش از کلکتوری کوچک استفاده کرد و اثر پارامترهای مهمی مثل نرخ مکش جریان ، جهت وزش باد ، قطر سوراخها و فاصله‌ی سوراخها از یکدیگر را مورد بررسی قرار داد.

گلنشان با ارائه تئوری لایه مرزی مکیده شده پارامترهای موثر بر عملکرد حرارتی صفحات مشبک شیاردار را معین نموده و نتایج تئوری را با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار برای کارایی حرارتی این صفحات یک رابطه تجربی ارائه نمود[۱۱]. او آزمایش خود را برای صفحات مشبک شیاردار با ضریب تخلخل پایین و تحت تاثیر شار تابشی یکنواخت و جریان هوا با جهت عمود بر راستای شیارها و موازی با سطح صفحه انجام داد. گلنشان در بررسی خود عدد بی بعد جدیدی بدست آورد و آن نسبت ضخامت سیال مکیده شده به ضخامت لایه مرزی جریان در ابتدای هر شیار بود. گلنشان و هالندز به بررسی اثر این پارامتر در کارایی حرارتی صفحات مشبک پرداختند[۱۲]. کائو نتایج گلنشان را به صورت عددی بررسی کرد و دریافت که کارایی حرارتی صفحات مشبک علاوه بر پارامترهایی که گلنشان در تحقیقات خود آنرا بررسی کرده بود به ضخامت صفحه مشبک نیز وابسته است[۹]. آرولانادام به صورت عددی به بررسی کارایی حرارتی صفحات مشبک با سوراخ های دایره‌ای و آرایش مربعی در حالت بدون وزش باد پرداخت. او در مدل خود انتقال حرارت از پشت صفحه را در نظر نگرفت و یک رابطه تجربی برای عدد ناسلت بدست آورد. آرولانادام دریافت که با افزایش سوراخها ضریب عملکرد حرارتی صفحات مشبک فوق به سمت عدد ثابتی میل می کند[۸].

شاه‌حسینی[۳]، گلنشان و همکاران[۴] با روش تقریبی به حل معادلات لایه مرزی سرعت و حرارت در صفحات مشبک با جریان موازی با صفحه پرداختند. آنها با فرض پروفیل های درجه یک و سه برای مولفه‌ی افقی سرعت و دمای سیال و یک چند جمله‌ای برای توزیع دمای روی صفحه به حل معادلات به روش تحلیلی پرداخته و کارایی حرارتی صفحات مشبک را بدست آوردند و نتایج خود را با نتایج آزمایشی گلنشان و نتایج عددی مقایسه کردند. باقری‌نژاد مسئله صفحات مشبک شیاردار را برای حالتی که حرکت موازی باد نسبت به صفحه ، به موازات امتداد شیارها باشد بررسی کرد. او

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

با رسم نمودارهای مختلف نشان داد ، تغییر جهت باد موازی با صفحه از حالت عمود بر شیارها به حالت موازی با شیارها موجب کاهش کارایی حرارتی آنها می شود[۱].

ستوده[۲۱] و گلنشان وستوده[۵،۶] نتایج کائو را برای زوایای مختلف جریان نسبت به امتداد شیارها مورد مطالعه قرار دادند و توانستند رابطه‌ای برای کارایی حرارتی این صفحات بر اساس زاویه بین جهت باد و امتداد شیارها بیان کنند.

ون‌دکر و همکاران بصورت آزمایشگاهی به بررسی چندین صفحه‌ی مشبک سوراخدار در جریان موازی پرداختند[۱۸]. آنها در مدل خود به بررسی انتقال حرارت از جلوی صفحه ، داخل سوراخها و پشت صفحه پرداختند و روابطی برای تعیین ضریب کارائی صفحه بدست آوردند. ون‌دکر همچنین به صورت آزمایشگاهی به بررسی کار آرولانانـدام پرداخت و نتایج مشابهی گرفت. او آزمایش خود را برای صفحات مشبک سوراخ دار برای هر دو آرایش مربعی و مثلثی انجام داد و یک رابطه برای کارایی حرارتی این صفحات بدست آورد[۱۷].

نعمتی[۷] و گلنشان و نعمتی[۱۳] صفحات مشبک سوراخدار تحت جریان موازی هوا نسبت به صفحه برای جهت های مختلف به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند و یک رابطه تجربی برای آن بدست آوردند. آنها در بررسی های خود هر دو آرایش مربعی و مثلثی را مورد مطالعه قرار داده و همچنین در تعداد محدودی از موارد مورد بررسی ، جریان سیال بر روی صفحه مشبک را متلاطم در نظر گرفته و با جریان آرام در همان حالت مورد مقایسه قرار دادند و در ضریب کارایی کلی تغییر قابل ملاحظه‌ای مشاهده نکردند.

از بررسی تحقیقات گذشته چنین بر می آید که علیرغم کارهای علمی بسیار، هیچگونه گزارشی در مورد اثر مکش ناپیوسته بر جریان سیال و انتقال حرارت از صفحات مشبک تحت جریان عمود بر صفحه صورت نگرفته است. در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر مکش ناپیوسته بر عملکرد صفحات مشبک سوراخدار با فرض عمود بودن جریان نسبت به صفحه مشبک خواهیم پرداخت.

تئوری مسئله

همانطور که پیشتر گفته شد در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر مکش ناپیوسته بر عملکرد صفحات مشبک سوراخدار با فرض عمود بودن جریان نسبت به صفحه مشبک خواهیم پرداخت. از انجایی که راندمان حرارتی به تنهایی نشان دهنده عملکرد حرارتی این صفحات نیست پارامتر دیگری به نام ضریب کارائی این صفحات اهمیت می یابد. ضریب کارائی صفحات مشبک خورشیدی توسط گلنشان بصورت زیر تعریف شده است:

$$\varepsilon = \frac{\overline{T}_{out} - T_{\infty}}{\overline{T}_{plate} - T_{\infty}} \qquad (۱)$$

که در آن $\overline{T}_{out}$ ، $\overline{T}_{plate}$ و T_{∞} به ترتیب دمای متوسط سیال در خروجی صفحه ، دمای متوسط صفحه جاذب و دمای هوای در محیط می باشند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

گلنشان بدلیل کوچک بودن اندازه شیارها و همچنین ضخامت صفحات مشبک امکان اندازه‌گیری دما را نداشت لذا رابطه او مستقیما وابسته به دمای متوسط صفحه بود. بعد از گلنشان ،کائو رابطه ضریب عملکرد صفحات مشبک را بر مبنای دمای سوراخ اصلاح کرد. او ضریب عملکرد این صفحات را به دو قسمت قبل و داخل سوراخ تقسیم کرد و رابطه زیر را برای تعیین ضریب عملکرد این صفحات بیان کرد:

$$\varepsilon_{front} = \frac{\overline{T}_{o1} - T_{\infty}}{\overline{T}_{plate} - T_{\infty}} \quad (۲)$$

$$\varepsilon_{hole} = \frac{\overline{T}_{o2} + \overline{T}_{o1}}{\overline{T}_{plate} - \overline{T}_{o1}} \quad (۳)$$

که در آن $\overline{T}_{o1}$ و $\overline{T}_{o2}$ به ترتیب دمای متوسط سیال در ورودی به سوراخ ، دمای متوسط سیال در خروجی از سوراخ می باشند. در هر دو تعریف فوق، پشت صفحه جاذب آدیاباتیک در نظر گرفته شده و هیچ تعریفی برای ضریب عملکرد پشت صفحه ارائه نگردید.

ون دکر رابطه کائو را کامل تر کرده و روابط زیر را برای ضریب عملکرد پشت و کلی ارائه کرد:

$$\varepsilon_{back} = \frac{\overline{T}_{out} + \overline{T}_{o2}}{\overline{T}_{plate} - \overline{T}_{o2}} \quad (۴)$$

$$\varepsilon = 1 - (1 - \varepsilon_{front})(1 - \varepsilon_{hole})(1 - \varepsilon_{back}) \quad (۵)$$

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان

از آنجایی که سرعت سیال در برخورد به صفحه‌ی مشبک دارای ماخ خیلی کمتر از ۰/۳ است لذا جریان را می توان غیر قابل تراکم فرض کرد و از معادلات مربوط به آن استفاده نمود. در این پروژه فرض بر این است که جریان سه بعدی، پایدار و مغشوش است. بدین ترتیب معادلات پیوستگی، ناویر- استوکس و انرژی حاکم بر جریان به ترتیب به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial U_i}{\partial X_i} = 0 \quad (۶)$$

$$\rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial X_j} = \frac{\partial P}{\partial X_j} + \mu\left(\frac{\partial^2 U_i}{\partial X_j \partial X_j}\right) \quad (۷)$$

$$\rho C_p U_j \frac{\partial T}{\partial X_j} = -U_j \frac{\partial P}{\partial X_j} + \mu\left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + \frac{\partial U_j}{\partial U_i}\right)\frac{\partial U_i}{\partial X_j} + k\left(\frac{\partial^2 T}{\partial X_i \partial X_i}\right) \quad (۸)$$

معادلات بالا ، به ترتیب فرم کلی معادلات پیوستگی ، ناویر- استوکس و انرژی حاکم بر جریان سیال را نشان می‌دهد که در

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

آنها Uسرعت،P فشار،T دما، ρچگالی،μ ضریب لزجت، C_p ظرفیت گرمایی ویژه در فشار ثابت و k ضریب هدایت حرارتی هوا می باشند. یک روش استاندارد برای حل جریان مغشوش روش متوسط گیری رینولدز می‌باشد. در این روش مقادیر خواص و متغیر های حل به دو قسمت نوسانی و متوسط تجزیه می شوند. بدین ترتیب برای متغیر های موجود خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} U &= \overline{U} + U' \\ P &= \overline{P} + P' \\ T &= \overline{T} + T' \end{aligned} \qquad (۹)$$

بدین ترتیب معادلات حاکم بر جریان مغشوش برای معادلات پیوستگی، ناویر- استوکس و انرژی حاکم بر جریان به ترتیب به صورت زیر در می آید:

$$\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial X_i} = 0 \qquad (۱۰)$$

$$\rho \overline{U}_j \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial X_j} = \frac{\partial \overline{P}}{\partial X_j} + \upsilon \left(\frac{\partial^2 \overline{U}_i}{\partial X_j \partial X_j} \right) \qquad (۱۱)$$

$$\begin{aligned} &\rho C_p \overline{U}_j \frac{\partial \overline{T}}{\partial X_j} = -\overline{U}_j \left(\frac{\partial \overline{P}}{\partial X_j} + \overline{\frac{\partial P'}{\partial X_j}} \right) + \\ &\mu \left(\frac{\partial \overline{U}_i}{\partial X_j} + \frac{\partial \overline{U}_j}{\partial U_i} \right) \frac{\partial \overline{U}_i}{\partial X_j} + k \left(\frac{\partial^2 \overline{T}}{\partial X_i \partial X_i} \right) \\ &- \rho C_p \frac{\partial}{\partial X_j} \left(\overline{U'_j T'} \right) + \varepsilon \end{aligned} \qquad (۱۲)$$

که در معادلات بالا $\overline{U}$ ، $\overline{P}$ و $\overline{T}$ به ترتیب بیانگر سرعت ، فشار و دمای متوسط سیال و U'، P' و T' به ترتیب بیانگر نوسانات سرعت ، فشار و دما می باشد. همچنین ε بصورت زیر تعریف می شود:

$$\varepsilon = \mu \left[\overline{\left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} \right) \left(\frac{\partial U_j}{\partial X_i} \right)} \right] + \left[\overline{\left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} \right) \left(\frac{\partial U_i}{\partial X_j} \right)} \right] \qquad (۱۳)$$

در معادله (۱۱) جمله‌ی $\overline{U'_i U'_j}$ منفی تانسور تنش تلاطم تقسیم بر چگالی سیال می‌باشد یعنی:

$$\tau_{ij}^T = -\rho \overline{U'_i U'_j} \qquad (۱۴)$$

معادلات حاکم بر صفحه جاذب

معادله انرژی برای صفحه جاذب را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$k_s \left(\frac{\partial^2 T_s}{\partial X_i \partial X_i} \right) = 0 \qquad (۱۵)$$

که در آن T_s دمای سطح صفحه ی جاذب و k_s ضریب هدایت حرارتی آن می باشد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

شرایط مرزی

اگر مبدا مختصات را بر روی مرکز صفحه مشبک قرار داده و جهت مثبت x را به سمت ورودی جریان بگیریم شرایط مرزی را بصورت زیر خواهیم داشت:

در ورودی ناحیه مورد بررسی سرعت وزش باد شرط مرزی معلوم مسئله می باشد یعنی:

$$\text{at} \quad X = X_\infty : \vec{V} = (u_\infty , v_\infty , w_\infty) , \quad T = T_\infty , P = P_\infty \tag{۱۶}$$

بر روی صفحه جاذب بجز در سوراخها داریم:

$$\text{at} \quad X = 0 : -k_s \frac{\partial T_s}{\partial X} + q'' = h_r (T_s - T_{sur}) + h_c (T_s - T_\infty) \tag{۱۷}$$

که در آن q'' میزان شار حرارتی صفحه ، h_r ضریب تشعشع ، h_c ضریب جابجایی هوا ، T_{sur} دمای اطراف و T_∞ دمای محیط می‌باشند. دمای اطراف و دمای محیط معمولا" متفاوت از یکدیگر می‌باشند ولی در این تحقیق این دو دما یکسان در نظر گرفته می شوند. همچنین مقدار q'' و h_r از روابط زیر بدست می آید:

$$q'' = \alpha G \tag{۱۸}$$

$$h_r = \sigma\varepsilon(T_s^3 + T_S^2 T_{sur} + T_s T_{sur}^2 + T_{sur}^3 \tag{۱۹}$$

که α ضریب جذب صفحه، G میزان تشعشع رسیده از خورشید به صفحه ، σ ثابت استفان- بولتزمن و ε ضریب انتشار می باشند.

همچنین شرط مرزی جریان بر روی صفحه جاذب بصورت زیر است:

$$\text{at} \quad X = 0 : \vec{V} = (u, v, w) = 0 \tag{۲۰}$$

شرط مرزی سطوح جانبی صفحه جاذب آدیاباتیک در نظر گرفته شده است یعنی:

$$\text{at} \quad 0 \le X \le t \;\&\; y = \pm \frac{L_y}{2} : \frac{\partial T}{\partial Y} = 0 \tag{۲۱}$$

$$\text{at} \quad 0 \le X \le t \;\&\; z = \pm \frac{L_z}{2} : \frac{\partial T}{\partial z} = 0 \tag{۲۲}$$

که در آن t ضخامت صفحه ، L_y اندازه صفحه‌ی مشبک در راستای محور y ها و L_z اندازه صفحه‌ی مشبک در راستای محور z ها می باشند.

برای انجام مکش در پشت صفحه جاذب فشار در ناحیه‌ی فوق مقداری کمتر از فشار محیط قرار داده می شود و همچنین فرض بر این است که انتقال حرارتی از پشت صفحه صورت می پذیرد. به عبارت دیگر شرط مرزی برای جریان برابر است با:

$$\text{at} \quad X = -L_{out} : P_\infty - \Delta P \tag{۲۳}$$

L_{out} فاصله‌ای در پشت صفحه است که فشار را در آنجا به عنوان پارامتر مشخص قرار می دهیم.

در خروجی جریان از ناحیه مورد بررسی فشار به عنوان شرط مرزی معلوم در نظر گرفته شده است

$$\text{at} \quad X = -X_\infty : P = P_{out} \tag{۲۴}$$

برای کلیه سطوح جانبی ناحبه مورد بررسی از شرط مرزی تقارن استفاده شده است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

با توجه به آنالیز ابعادی صورت گرفته بر روی معادلات جریان مشاهده شده است که ضریب عملکرد این صفحات تابع ۶ پارامتر زیر می باشد:

-رینولدز درون سوراخ (Re_D)

- تخلخل صفحه جاذب (σ)

- نسبت ضخامت صفحه به قطر سوراخ($\frac{t}{D}$)

- فشار مکش به فشار دینامیک جریان ($\frac{P_s}{\frac{1}{2}\rho U_\infty^2}$)

- ضریب هدایت حرارت در صفحه($Ad = \frac{k_s}{k_a}\frac{\pi Dt}{P^2}$)

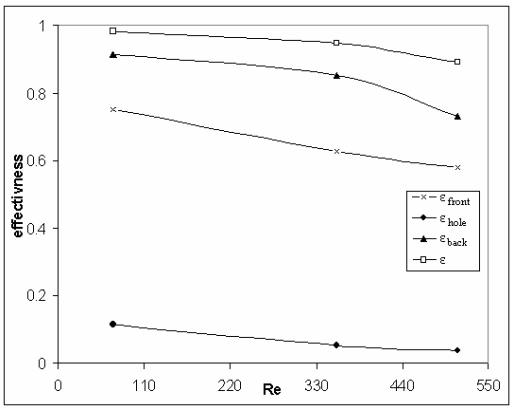
- عدد ناسلت تابشی (Nu_r)

در رابطه‌های بالا P_s فشار مکش ، k_a ضریب هدایت حرارتی هوا و P گام سوراخ ها یا بعبارت دیگر فاصله مرکز دو سوراخ مجاور می‌باشند.

در ادامه به بررسی اثر پارامترهای فوق بر ضریب کارائی صفحات مشبک پرداخته می‌شود. بدین منظور صفحه مشبکی با عرض ۴ متر و طول بسیار زیاد در نظر گرفته شد. اختلاف زیاد طول و عرض صفحه باعث می شود که سیال فقط در جهت عرض صفحه حرکت کند. لذا بررسی فقط یک ردیف از سوراخ ها کافی بود و نیاز به بررسی کل صفحه نمی باشد. لازم بذکر است که از نرم افزار تجاری فلوئنت برای تحلیل مسئله فوق استفاده شده است و با توجه به تعداد شبکه محاسباتی بالا از امکانات مرکز محاسبات سریع دانشگاه شیراز جهت تحلیل مسئله استفاده شده است.

نتایج

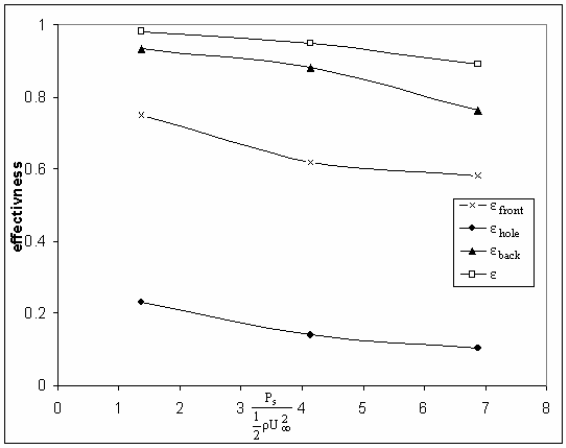
در شکل (۲) تغییرات ضریب کارائی جلو ، سوراخ ، پشت صفحه و کل صفحه نسبت به عدد رینولدز درون سوراخ نشان داده شده است. همانطور که در شکل قابل ملاحظه است ضریب کارائی صفحات مشبک با افزایش عدد رینولدز کاهش می‌یابد. این کاهش برای ضریب عملکرد پشت صفحه با افزایش عدد رینولدز شدت بیشتری می‌گیرد.



شکل۲ : تغییرات ضریب کارائی صفحه نسبت به عدد رینولز سوراخ

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

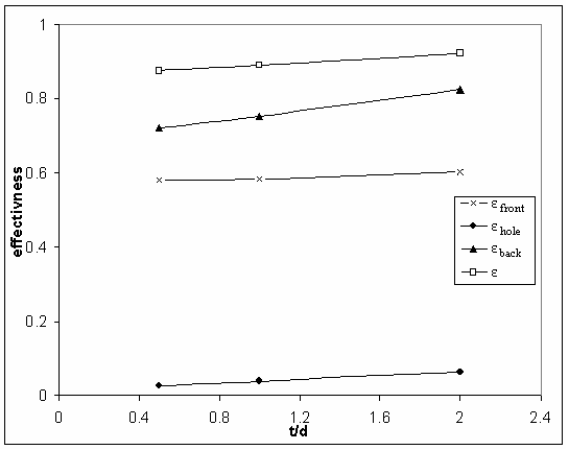
شکل (۳) تغییرات ضریب کارائی صفحات مشبک را نسبت به نسبت فشار مکش به فشار دینامیک جریان را نشان می‌دهد.



شکل۳ : تغییرات ضریب کارائی صفحه نسبت به نسبت فشار مکش به فشار دینامیکی جریان

همانطور که مشاهده می‌شود ضریب کارائی صفحات مشبک با افزایش فشار مکش به فشار دینامیک جریان کاهش می‌یابد. میزان شدت کاهش برای ضریب کارائی پشت صفحه نسبت به جلوی صفحه و سوراخ کاملا متفاوت است.

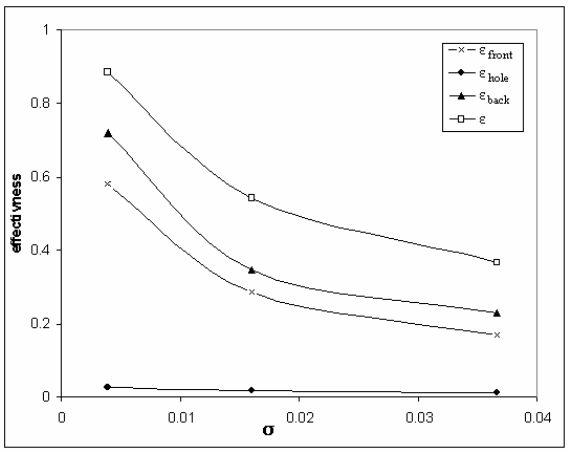
شکل (۴) تغییرات ضریب کارائی صفحات مشبک را نسبت به نسبت ضخامت صفحه به قطر سوراخ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود اثر پذیری ضریب کارائی صفحه در جلو نسبت به تغییرات نسبت ضخامت صفحه به قطر سوراخ کمتر می‌باشد ولی اثر تغییرات نسبت ضخامت صفحه به قطر سوراخ بر ضریب کارائی صفحه در سوراخ و پشست صفحه و در نتیجه ضریب کارائی کل صفحه روند افزایشی را نشان می‌دهد.



شکل۴ : تغییرات ضریب کارائی صفحه نسبت به ضخامت صفحه به قطر سوراخ

شکل (۵) تغییرات ضریب کارائی صفحات مشبک را نسبت به ضریب تخلخل صفحه نشان می دهد.

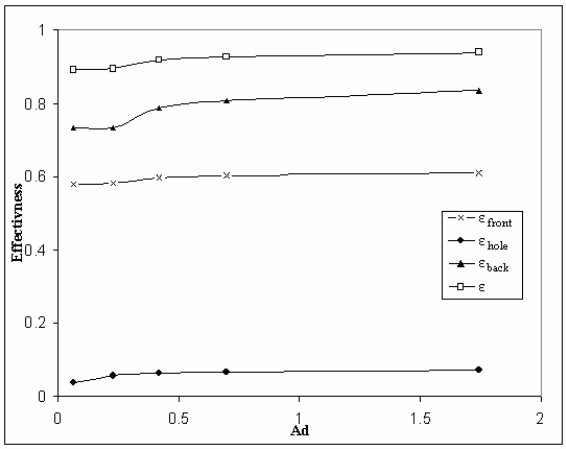
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]



شکل۵ : تغییرات ضریب کارائی صفحه نسبت به تخلخل صفحه

با توجه به شکل مشاهده می شود که شیب تغییرات در ضریب تخلخل کم خیلی زیاد بوده و روند کاهشی بسیار زیادی در ضریب کارائی صفحات مشبک با افزایش تخلخل صفحه مشاهده می شود. میزان تغییرات ضریب کارائی در سوراخ کم بوده و مقدار آن با افزایش تخلخل صفحه به سمت مقدار ثابتی میل می کند.

در شکل (۶) تغیرات ضریب کارائی جلو ، سوراخ ، پشت و کلی نسبت به ضریب هدایت حرارتی در صفحه نشان داده شده است.



شکل۶ : تغییرات ضریب کارائی صفحه نسبت به ضریب هدایت حرارتی

همانطور که در شکل قابل ملاحظه است ضریب کارائی صفحات مشبک با افزایش ضریب هدایت حرارتی افزایش می یابد ولی در ضرایب هدایتی بالا با توجه به رسانش مناسب، کل صفحه دارای دمای تقریبا یکسانی می شود و این موجب می گردد که ضریب کارائی ثابت بماند

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

نتیجه‌گیری

با توجه به شکل‌های گذشته مشاهده شده است که کارایی حرارتی صفحات مشبک در حالت جریان عمود از لحاظ رفتار کلی مشابه حالت در جریان موازی می باشد و تنها در مقادیر بدست آمده برای حالات مختلف تفاوت های دیده می‌شود.

سپاسگزاری

در پایان لازم می دانیم از زحمات و حمایتهای کارکنان مرکز محاسبات سریع بخصوص خانم مهندس فالیزی که امکانات سخت افزاری لازم جهت تحلیل مسئله در اختیارمان قرار دادند سپاسگزاری نماییم.

منابع

[۱] باقری نژاد، علیرضا. ۱۳۷۹ ."آنالیز سه بعدی جریان سیال همراه با انتقال حرارت روی صفحات مشبک تحت مکش."پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

[۲] ستوده، عطا الله. ۱۳۸۱."آنالیز سه بعدی جریان هوا ، همراه با انتقال حرارت از صفحات مشبک شیاردارتحت مکش با زوایای مختلف وزش باد." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

[۳] شاه حسینی، ابراهیم. ۱۳۷۸. "حل تقریبی معادلات لایه مرزی برای جریان روی صفحات مشبک تحت مکش." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.

[۴] گلنشان، علی اکبر. محزون، مجتبی . و شاه‌حسینی، ابراهیم. ۱۳۷۹."حل تقریبی معادلات لایه مرزی برای جریان روی صفحات مشبک تحت مکش."هشتمین کنفرانس سالانه انجمن مهندسان مکانیک ایران، دانشگاه صنعتی شریف.

[۵] گلنشان، علی اکبر. و ستوده، عطا الله. ۱۳۸۱."استفاده از کلکتورهای خورشیدی طرح جدید در پیش گرم نمودن هوای مورد نیاز فضاهای بزرگ." دومین همایش بهینه سازی مصرف سوخت در ساختمان، تهران.

[۶] گلنشان، علی اکبر. و ستوده، عطا الله. ۱۳۸۲."تاثیر زاویه ی وزش جریان سیال موازی با صفحه، بر انتقال حرارت از صفحات مشبک شیاردار." یازدهمین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک ، دانشگاه فردوسی مشهد.

[۷] نعمتی، حسین ۱۳۸۳."بررسی عددی عملکرد حرارتی صفحات مشبک سوراخدار تحت جریان موازی هوا در جهت های مختلف ." پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز

[8] Arulanandam, S. J. 1995, “A Numerical Investigation of Unglazed Transpired-plate Solar Collector Under Zero-wind Condition”, M.Sc. Thesis , University of Waterloo, Waterloo , Ontario ,Canada.

[9] Cao, S. 1993, “Numerical Investigation on an Unglazed Transpired-plate Solar Collector”, M.Sc. Thesis , University of Waterloo, Waterloo , Ontario , Canada.

[10] FLUENT User Manual , ver 6.3 .2006

[11] Golneshan, A. A. 1994, “Forced Convection Heat Transfer from Low Porosity Slotted Transpired Plates”, Ph. D .Dissertation, University of Waterloo, Dept. Mech. Eng.

[12] Golneshan, A. A. and Hollands, K. G. T. 1998, “Experiments on Forced Convection Heat Transfer from Slotted Transpired Plates”, Proceedings of CSME Forum 1998, Toronto, Canada, vol. 1. pp. 78–88.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]

[13] Golneshan, A. A. and Nemati, h. 2004, "3D Numerical Analysis of Heat Transfer from Transpired Perforated Plates with Circular Holes Arranged On Square Pitch", Proceedings of IMEC 2004, International Mechanical engineering Conference, Kuwait

[14] Kutscher, C. F. 1994, "Heat Exchanger Effectiveness and Pressure Drop for Air Flow Through Perforated Plates, with and without Crosswind", ASME Journal of Heat Transfer 116, pp. 391–399.

[15] Kutscher, C. F., Christensen, C. and Barker, G. 1993, "Unglazed transpired Solar Collectors: Heat Loss Theory", ASME Journal of Solar Engineering 115 (3), pp. 182–188.

[16] Schilting, H.1979. "Boundary Layer Theory", seventh edition, McGraw-Hill Book Company , New York.

[17] Van Decker, G. W. E 1996, "Asymptotic Thermal Effectiveness of Numerical Unglazed Transpired-plate Solar Collector Air Heaters", M.Sc. Thesis , University of Waterloo, Waterloo , Ontario ,Canada.

[18] Van Decker, G.W.E., Hollands, K. G. T. and Brunger, A. P. 1996, "Heat Exchange Effectiveness of Unglazed Transpired-Plate Solar Collector in 3-D Flow", Proceedings from EuroSun, pp. 130-135.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-25]