



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



بهینه‌سازی ناهمواری‌های به کار رفته در کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی جهت افزایش بازده ترموهیدرولیکی

حامد رحمتی آیدنلو^{۱*}، علی محمد نیکبخت^۲

۱ و ۲ - به ترتیب دانشجوی کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه

ایمیل مکاتبه کننده: hamedrahmati1989@gmail.

چکیده

با توجه به پایین بودن ظرفیت گرمایی ویژه هوا، ایجاد ناهمواری در زیر صفحه‌ی جاذب حرارت مورد استفاده در کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی، به دلیل از بین بردن زیرلایه‌ی مرزی ایجاد شده و افزایش سطح تماس سیال هوای عبوری از مجرا با صفحه‌ی جاذب، روش موثرتری نسبت به روش‌های دیگر، جهت افزایش بازده ترمودینامیکی کالکتور صفحه تخت خورشیدی می‌باشد. این در حالی است که به دلیل ایجاد جریان متلاطم به وجود آمده توسط ناهمواری‌ها، افزایش اصطکاک تولید شده درون مجرا، موجب افزایش افت فشار تولیدی مجرا و در نتیجه افزایش توان مصرفی فن مکشی می‌گردد. بازده ترموهیدرولیکی جهت ایجاد تعادل مابین افزایش عدد ناسلت و ضریب اصطکاک ناشی از ناهمواری‌ها تعریف می‌گردد. نتایج به دست آمده از ناهمواری بهینه‌ی ارائه و آزمایش شده، نشان از افزایش بازده ترموهیدرولیکی این ناهمواری نسبت به ناهمواری‌های پیشین ارائه شده در برابر تغییرات عدد رینولدز را نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: ناهمواری، لایه‌ی مرزی، بازده ترموهیدرولیکی، ضریب اصطکاک

مقدمه

آسان‌ترین و موثرترین روش استفاده از انرژی خورشیدی، تبدیل انرژی تشعشعی رسیده به سطح زمین به انرژی حرارتی قابل استفاده از جمله در صنعت و کشاورزی می‌باشد. زیرا با توجه به تحقیقات انجام گرفته، انرژی دریافتی زمین از خورشید برای مدت ۸۴ دقیقه، معادل کل انرژی مصرفی جهان در یکسال می‌باشد (عباسپور و همکاران، ۱۳۹۱). کالکتورهای صفحه تخت با نسبت تمرکز واحد، تشعشعات خورشید را بدون ایجاد انحراف در مسیر و در همان محل برخورد، جذب نموده و به گرما تبدیل می‌کنند این نوع کالکتورها، دارای سطح برخورد و جذب تابشی یکسانی می‌باشند و بیشتر در مقیاس‌های کوچک، از جمله سیستم‌های گرمایش منازل مسکونی و یا خشک کردن محصولات کشاورزی تولید



شده توسط کشاورزان خرده که سهم عظیمی از تولیدکنندگان محصولات کشاورزی را در کشورهای در حال توسعه شامل می‌شوند، مورد استفاده قرار می‌گیرند (عباسپور، ۱۳۹۱). سیال مورد استفاده در کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی، به طور معمول هوا در نظر گرفته می‌شود. با این حال دمای هوای خروجی از کالکتور خورشیدی در اکثر مواقع، بدون توجه به شرایط آب و هوایی کشور، مناسب خشک کردن بیشتر محصولات کشاورزی نمی‌باشد. از جمله معایب استفاده از سیال هوا در کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی، می‌توان به پایین بودن ظرفیت گرمای ویژه هوا^۱ اشاره کرد که موجب کاهش نرخ انتقال حرارت مابین هوا و صفحه‌ی جاذب حرارت می‌گردد. امروزه روش‌های مختلفی به منظور بهینه‌سازی کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی برای کاربردهای مختلف صنعتی و کشاورزی پیشنهاد شده است. از جمله‌ی آن‌ها می‌توان به روش دو مجرایی کردن کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی، چین‌دار و موج‌دار کردن صفحه‌ی جاذب حرارت به‌کار رفته در کالکتورهای خورشیدی و ایجاد ناهمواری در سطح زیرین صفحه‌ی جاذب حرارت اشاره کرد که مهم‌ترین و موثرترین روش، به منظور شکستن زیرلایه‌ی ایجاد شده، می‌باشد. مهم‌ترین ایرادی که می‌توان به روش ایجاد ناهمواری و سایر روش‌های اشاره شده وارد دانست، تولید اصطکاک^۲ ناشی از تنش مابین سیال هوا با صفحه‌ی جاذب حرارت و دیواره‌های مجرای کالکتور می‌باشد. اصطکاک ایجاد شده موجب افزایش افت فشار^۳ در درون مجرا می‌گردد. افزایش افت فشار موجب افزایش توان مصرفی فن مکشی در مجرای کالکتور شده که این موضوع با اهداف استفاده از انرژی‌های جایگزین مغایرت دارد.

بازده ترموهیدرولیکی

ایجاد تعادل مابین افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی^۴ و افزایش اصطکاک، جهت انتخاب بهینه‌ترین نوع ناهمواری، امری ضروری می‌باشد. به منظور بررسی افزایش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نسبت به افزایش ضریب اصطکاک تولیدی توسط ناهمواری مورد نظر و مقایسه‌ی آن با مقادیر به دست آمده‌ی این پارامترها برای صفحه‌ی جاذب حرارت صاف، از پارامتر بدون بعد بازده ترموهیدرولیکی^۵ استفاده شده که مطابق با رابطه‌ی محاسبه می‌شود (هانز و همکاران، ۲۰۰۹).

$$\frac{\bar{St}_r}{\bar{St}_s} \quad (1)$$

$$\eta = \frac{\bar{St}_r}{\sqrt[3]{f_r/f_s}}$$

در رابطه‌ی (۱)، \bar{St}_r ، f_s ، f_r و \bar{St}_s به ترتیب نشان‌دهنده‌ی ضریب اصطکاک به‌دست آمده برای صفحه‌ی جاذب حرارت صاف و دارای ناهمواری و عدد استنتون^۶ به‌دست آمده برای صفحه‌ی جاذب حرارت صاف و دارای ناهمواری می‌باشند.

¹ Specific Heat Capacity

² Friction

³ Pressure Drop

⁴ Heat Transfer Coefficient

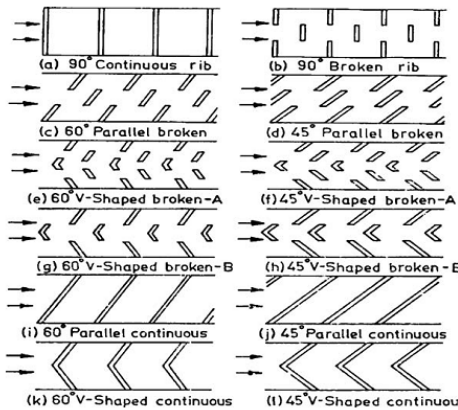
⁵ Thermohydraulic Performance

⁶ Stanton Number

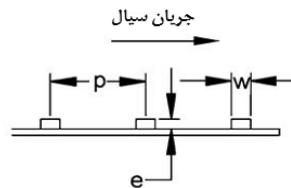


پارامترهای هندسی ناهمواری

در تحقیقات پیشین انجام گرفته، هریک از مدل‌های ارائه شده برای ناهمواری‌ها، دارای الگوی مشخص می‌باشند که توسط پارامترهای هندسی ناهمواری از یکدیگر متمایز می‌گردند. شکل ۱، چند نمونه از ناهمواری‌های استفاده شده در صفحات جاذب حرارت را نشان می‌دهد (هانز و همکاران، ۲۰۰۹). برخی از پارامترهای هندسی، حالت عمومی داشته که برای اکثر ناهمواری‌های آزمایش شده تعریف می‌گردند و برخی نیز مختص ناهمواری‌های آزمایش شده می‌باشند. از جمله پارامترهای هندسی که در اکثر ناهمواری‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند، می‌توان به ارتفاع نسبی ناهمواری $(e/D_h)^7$ ، گام نسبی ناهمواری $(P/e)^8$ و زاویه‌ی برخورد ناهمواری با جریان سیال^۹ (هوا) (α) اشاره کرد (هانز و همکاران، ۲۰۰۹). در پارامترهای هندسی اشاره شده، P و e ، به ترتیب بیان‌گر ارتفاع^{۱۰} و گام^{۱۱} ناهمواری می‌باشند (شکل ۲).



شکل ۱. چند نمونه از ناهمواری‌های استفاده شده در صفحه‌ی جاذب حرارت (هانز و همکاران، ۲۰۰۹).



سطح مقع ناهمواری
(نمای بزرگ شده)

e = ارتفاع ناهمواری

P = گام ناهمواری

W = عرض ناهمواری

شکل ۲. ارتفاع، گام و عرض ناهمواری (هانز و همکاران، ۲۰۰۹).

⁷ Relative Roughness Height

⁸ Relative Roughness Pitch

⁹ Angle of Attack

¹⁰ Roughness Height

¹¹ Roughness Pitch



مواد و روش‌ها

بر اساس تحقیقات پیشین انجام گرفته ناهمواری Inclined Broken Rib، به دلیل تغییرات کم در بازه‌ی عدد رینولدز مورد بررسی و همچنین به دلیل بالا بودن بازده ترموهیدرولیکی در مقادیر پایین عدد رینولدز، به عنوان ناهمواری مورد نظر با پارامترهای هندسی زیر انتخاب گردید.

جدول ۱. پارامترهای هندسی ناهمواری Inclined Broken Rib

پارامترهای هندسی مورد نظر	مقادیر در نظر گرفته شده
ارتفاع نسبی ناهمواری	۰,۰۳۷۷
گام هندسی ناهمواری	۱۰
زاویه‌ی برخورد ناهمواری با جریان سیال	۶۰°
موقعیت نسبی رخنه	۰,۲۵
عرض نسبی رخنه	۱
ارتفاع ناهمواری	۱۲

ناهمواری مورد نظر بر روی صفحه‌ی جاذب حرارت از جنس آلومینیوم که فلز معمول مورد استفاده در صفحات جاذب حرارت کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی می‌باشد توسط عملیات سی ان سی ایجاد شد. مجرای مورد نظر جهت ارزیابی ناهمواری بر اساس استاندارد ASHRAE 93-2010^{۱۲}، با طولی برابر با ۲ متر که شامل منطقه‌ی ورودی، منطقه‌ی مورد آزمایش و منطقه‌ی خروجی می‌باشد، طراحی و ساخته شد.

به منظور انجام آزمایش و ارزیابی ناهمواری طراحی و ساخته شده نسبت به صفحه‌ی جاذب حرارت صاف و محاسبه‌ی بازده ترموهیدرولیکی، از دستگاه شبیه‌ساز کالکتور صفحه تخت خورشیدی که در گروه مکانیک بیوسیستم ارومیه طراحی و ساخته شده بود، استفاده گردید (شکل ۳).

در ابتدا صفحه‌ی صاف در منطقه‌ی مورد آزمایش مجرای مورد نظر نصب گردید. میزان سرعت هوای عبوری از منطقه‌ی مورد آزمایش در سه مقدار ۳۰ Hz، ۴۰ Hz و ۵۰ Hz، فرکانس تنظیم شده توسط اینورتور به فن مکشی اعمال گردید. میزان شار حرارتی اعمال شده بر روی صفحه‌ی جاذب، برابر 1000 W/m^2 در نظر گرفته شد. پس از به تعادل رسیدن صفحه‌ی

¹² American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc



جاذب حرارت، مقادیر دمای صفحه‌ی جاذب حرارت و سیال هوای عبوری، اندازه‌گیری شده و بر این اساس عدد استنتون و ضریب اصطکاک برای صفحه‌ی جاذب، با استفاده از روابط زیر مورد محاسبه قرار گرفت.

$$\overline{St} = \frac{\overline{Nu}_L}{Re \cdot Pr} \quad (2)$$

$$f_{\text{test section}} = \frac{2 \cdot \delta p \cdot D_h}{4 \cdot \rho_{\text{test section}} \cdot L_{\text{test section}} \cdot (\overline{V}_{\text{test section}})^2} \quad (3)$$

در رابطه‌ی (۲)، \overline{Nu}_L ، Re و Pr به ترتیب بیان‌گر متوسط عدد ناسلت، عدد رینولدز و عدد پراوندل مربوط به سیال عبوری از منطقه‌ی مورد آزمایش می‌باشد. در رابطه‌ی (۳)، δp ، D_h ، $L_{\text{test section}}$ و $\overline{V}_{\text{test section}}$ به ترتیب بیان‌گر افت فشار، قطر هیدرولیکی مجرا، چگالی سیال عبوری از منطقه‌ی مورد آزمایش، طول منطقه‌ی مورد آزمایش و سرعت سیال عبوری از منطقه‌ی مورد آزمایش می‌باشد.

شرایط آزمایش به همین ترتیب برای صفحه‌ی دارای ناهمواری تکرار گردید. در نتیجه با مشخص شدن عدد استنتون و ضریب اصطکاک برای صفحه‌ی دارای ناهمواری در هریک از مقادیر عدد رینولدز به دست آمده، بازه ترموهیدرولیکی بر اساس رابطه‌ی (۱) محاسبه شد.



شکل ۳. شبیه‌ساز کالکتورهای صفحه تخت خورشیدی

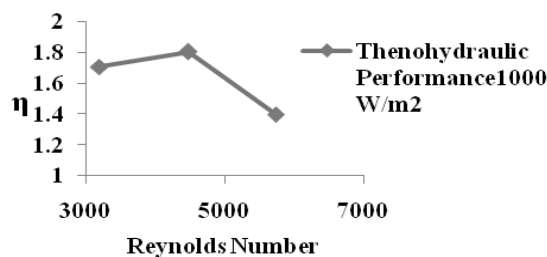
در ابتدا صفحه‌ی جاذب حرارت صاف به منظور انجام آزمایش و محاسبه‌ی عدد استنتون و ضریب اصطکاک، در مجرای مورد نظر بر روی دستگاه نصب گردید. بازه‌ی عدد رینولدز مورد آزمایش در محدوده‌ی ۳۲۰۰ الی ۵۷۵۰ (۳۲۰۰، ۴۴۸۰ و ۵۷۵۰) میزان شار حرارتی برابر 1000 W/m^2 در نظر گرفته شد. پس از انجام آزمایش بر روی صفحه‌ی جاذب صاف، آزمایش بر روی صفحه‌ی جاذب دارای ناهمواری مورد نظر، در بازه‌ی عدد رینولدز و میزان شار حرارتی برابر با صفحه‌ی جاذب صاف انجام گرفت.



نتایج و بحث

به دلیل توان پایین فن مکشی موجود، ناهمواری بهینه شده، تا حداکثر مقدار عدد رینولدز به دست آمده که در حدود ۶۰۰۰ می‌باشد، مورد آزمایش قرار گرفت. بعد از به دست آمدن عدد ناسلت و ضریب اصطکاک برای صفحه‌ی جاذب حرارت دارای ناهمواری و صفحه‌ی جاذب حرارت صاف، بازده ترموهیدرولیکی برای صفحه‌ی جاذب حرارت دارای ناهمواری بر اساس صفحه‌ی جاذب حرارت صاف، محاسبه گردید.

بازده ترموهیدرولیکی



شکل ۴. بازده ترموهیدرولیکی به دست آمده برای صفحه‌ی جاذب حرارت دارای ناهمواری نسبت به عدد رینولدز در شار حرارتی

$$1000 \text{ W/m}^2$$

شکل ۴، بیان‌گر تغییرات بازده ترموهیدرولیکی نسبت به عدد رینولدز، برای شار حرارتی تعیین شده در صفحه‌ی جاذب حرارت دارای ناهمواری، نسبت به صفحه‌ی جاذب حرارت صاف است. با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده با نتایج هانز و همکاران، می‌توان این نتیجه‌گیری را انجام داد که مدل بهینه‌ی ارائه شده برای ناهمواری در نظر گرفته شده بر روی صفحه‌ی جاذب حرارت، بازده ترموهیدرولیکی بالاتری را نسبت انواع مدل‌های ارائه شده دارا می‌باشد. دلیل کاهش بازده ترموهیدرولیکی در بازه‌ی عدد رینولدز ۵۰۰۰ به بالاتر را می‌توان ناشی از قرار گرفتن جریان سیال در منطقه‌ی گذرا دانست. به طوری که مقادیر اندازه‌گیری شده برای دمای سیال عبوری از منطقه‌ی مورد آزمایش برای صفحه‌ی جاذب حرارت دارای ناهمواری، در دو مقدار عدد رینولدز ۴۴۸۰ و ۵۷۵۰، دارای اختلاف پایینی می‌باشد و با توجه به این که عدد استنتون با دمای سیال هوا، رابطه‌ی مستقیمی دارد، این امر موجب کاهش اختلاف مقدار عدد استنتون به دست آمده برای این دو ناحیه می‌گردد. این در شرایطی اتفاق می‌افتد که با افزایش عدد رینولدز، مقدار افت فشار همچنان افزایش یافته و با توجه به این که تاثیر افزایش افت فشار بر روی ضریب اصطکاک مستقیم می‌باشد. در نتیجه مقدار ضریب اصطکاک با افزایش عدد رینولدز، با رشد بیش‌تری نسبت به عدد استنتون مواجه بوده است. لذا می‌توان این‌طور بیان داشت که مقدار بازده ترموهیدرولیکی در فاصله‌ی این دو عدد رینولدز کاهش یافته است.



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



نتیجه‌گیری

آنچه که مبرهن و آشکار است، افزایش بازده ترموهیدرولیکی برای صفحه‌ی جاذب حرارت دارای ناهمواری مورد نظر نسبت به صفحات جاذب دارای ناهمواری بررسی شده‌ی پیشین می‌باشد. می‌توان پیش‌بینی کرد که با افزایش عدد رینولدز و وارد شدن سیال به مرحله‌ی توسعه‌یافتگی^{۱۳}، میزان بازده ترموهیدرولیکی، با افزایش شار حرارتی، افزایش یابد.

منابع

عباسپور، ی. محمدنیک‌بخت، ع. رهنما، م. ۱۳۹۱. طراحی و شبیه‌سازی خشک‌کن خورشیدی برای خشک کردن انگور. جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد، دانشگاه ارومیه، شهر یور.

Hans, V. S. Saini, R. P. and Saini, J. S. 2009. Performance of artificially roughened solar air heaters -A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 13, pp 1854-1869.

¹³ Fully Developed



نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی

(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون

پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹۴ - کرج



Optimizing the Artificial Roughness Used in Solar Air Heaters for Enhancing the Thermohydraulic Performance

Abstract

The use of artificial roughness underside of the absorber plate for breaking the sublayer, is the most common and effective method for enhancing the heat transfer coefficient between the air and absorber plate in solar air heaters. Artificial roughness cause to increasing the heat transfer area and making the turbulent flow which is deduced to high exit air temperature as well as thermodynamic performance. However, this modification which is resulted the turbulence flow, leads to more excessive power of fan by increasing the pressure drop as the friction factor increases. Accordingly the balance between the heat transfer coefficient increasing which is occupied by increased friction factor is defined by thermohydraulic performance. Thermohydraulic performance for the optimum roughness is calculated at the 1000 W/m^2 constant heat flux under varying Reynolds number. The maximum thermohydraulic performance is observed for this optimum roughness as compared to others.

Keywords: Roughness, sublayer, Friction Factor, Thermohydraulic Performance