



## بررسی عددی انتقال حرارت جریان عبوری از روی سیلندر همراه با پره های با ضریب هدایت بالا

علی ساری<sup>۱\*</sup>، حسین فتاحیان<sup>۲</sup>، اسماعیل فتاحیان<sup>۳</sup>

*alisariir@gmail.com*

*fatahianhossein@gmail.com*

*esmaeelfatahian@gmail.com*

### چکیده

مساله انتقال حرارت جابجایی اجباری جریان عبوری از روی سیلندر افقی با پره هایی با فاصله یکنواخت و ضریب هدایت بالا در سطح بیرونی با روشهای عددی مورد بررسی قرار گرفت. تاثیر بکارگیری تعداد متعدد پره ها و ارتفاع آنها در اعداد ناسلت میانگین در دامنه اعداد رینولدز ۵ تا ۲۰۰۰ مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان دادند که یک تعداد مطلوبی از پره ها برای به دست آوردن عدد ناسلت ماکزیمم در ترکیب ارتفاع پره ها و اعداد رینولدز وجود داشت. پره های کوتاه عدد ناسلت را کاهش دادند. تاثیر پره ها بر انتقال حرارت جریان اجباری عبوری از سیلندر افقی هم دما برای ترکیب متعدد تعداد پره ها ( $F=0$ ) (14)، ارتفاع پره ها ( $H=0.5-3$ ) و اعداد رینولدز ( $Re_D=2000-5$ ) مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات در عدد ناسلت میانگین، برای مقدار داده شده عدد رینولدز، به دلیل افزایش تعداد پره ها، ناسلت میانگین در اعداد رینولدز مشابه توسط عدد ناسلت سیلندر بدون پره نرمال شد. این کار به خاطر تمرکز در تاثیر نسبی افزایش پره ها انجام شد.

کلمات کلیدی: انتقال حرارت جابجایی، ناسلت، پره، سیلندر، ضریب هدایت بالا.

### ۱- مقدمه

جابجایی اجباری آرام بر روی استوانه گرم یکی از مسائل مهم در زمینه انتقال حرارت می باشد که برای مدل سازی محدوده وسیعی از کاربردهای مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد و بینش بهتری در سیستم های پیچیده بیشتری از انتقال حرارت به ما می دهد. دانش دقیق انتقال حرارت جابجایی حول استوانه در بسیاری از زمینه ها شامل مبدل های حرارتی، آب گرم، لوله های بخار، گرم کننده ها، مبردها و رساناهای الکتریکی از اهمیت زیادی برخوردار است. به دلیل اهمیت صنعتی زیاد آن، این زمینه از انتقال حرارت موضوع بسیاری از مطالعات عددی و آزمایشگاهی است. همچنین کارهای زیادی که در این

۱- \*دانشجوی دکتری مکانیک- تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود-۰۹۱۶۱۱۶۹۹۸۷

۲- دانشجوی دکتری مکانیک- تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود-۰۹۱۲۸۴۳۰۹۸۵

۳- دانشجوی دکتری مکانیک- تبدیل انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور-۰۹۱۲۰۸۸۵۵۳۴



زمینه انجام شده، هنوز موضوع بسیاری از بررسی ها باقی مانده است. براساس کاربرد، نگرانی های اقتصادی و محیط زیستی اخیر میل در روشهای افزایش یا کاهش انتقال حرارت جابجایی از یک استوانه افقی را در پی داشته است. محققان در پی آن هستند تا روشهای جدیدی از کنترل انتقال حرارت پیدا کنند. استفاده از مواد متخلخل جهت تغییر مشخصه انتقال حرارت توسط محققان متعددی شامل وفایی و همکاران [۱]، النمر و همکاران [۲] و ابوهجله و همکاران [۳] گزارش شدند. پره ها همیشه به عنوان یک روش غیر فعال جهت افزایش انتقال حرارت جابجایی از سطح سیلندر مورد استفاده قرار می گیرند [۴-۶]. در این مطالعه نتایج عددی استفاده از پره هایی با ضریب هدایت بالا در سطح بیرونی استوانه جهت افزایش انتقال حرارت جابجایی اجباری در جریان عبوری از روی استوانه را ارائه می کند. سیال مورد نظر هوا است. حل عددی معادله مومنوم و معادله انرژی با استفاده از نرم افزار فلوئنت انجام گرفت. این مطالعه در اعداد رینولدز ۵ تا ۲۰۰۰، تعداد پره های صفر تا ۱۴ و ارتفاع ۰/۵ تا ۳ واحد صورت گرفته است.

## ۲- مدل سازی ریاضی

معادلات حالات پایدار برای جریان جابجایی اجباری آرام دو بعدی حول استوانه افقی به صورت زیر است:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial(ru)}{\partial r} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial u}{\partial \theta} - \frac{v^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \nu \left[ \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 u}{\partial \theta^2} - \frac{2}{r^2} \frac{\partial v}{\partial \theta} \right] \quad (2)$$

$$u \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{uv}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial \theta} + \nu \left[ \frac{\partial^2 v}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial v}{\partial r} - \frac{v}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 v}{\partial \theta^2} + \frac{2}{r^2} \frac{\partial u}{\partial \theta} \right] \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{v}{r} \frac{\partial T}{\partial \theta} = \alpha \nabla^2 T \quad (4)$$

$$\nabla^2 \equiv \left[ \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \theta^2} \right]$$

## ۳- ساختمان مورد بررسی

۳-۱- مدل هندسی و ابعاد هندسی



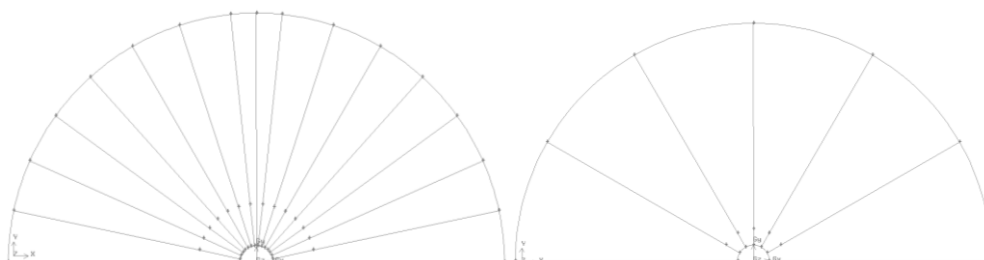
استوانه همراه با پره های با ضریب هدایت بالا شکل ۱ در مدل دو بعدی ترسیم شد. این مدل سازی همان طور که در شکل ۲ دیده می شود بسته به نوع ورودی مساله، در تعداد پره و ارتفاع پره ها متفاوت می باشد. مدل سازی در نرم افزار گمبیت صورت گرفت و حالات مختلف هندسه مورد بررسی ترسیم شد.



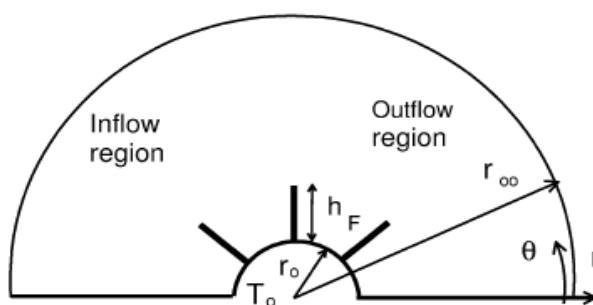
شکل ۱- مدل هندسی

### ۳-۲- نمونه ای از حالات مختلف مورد بررسی

جدول ۱ و شکل ۳ به بررسی پارامترهای متغیر در هندسه و اندازه آنها در حالات مورد بررسی در این تحقیق می پردازند.



شکل ۲- حالات مختلف مورد بررسی



شکل ۳- پارامترهای هندسی [۹]

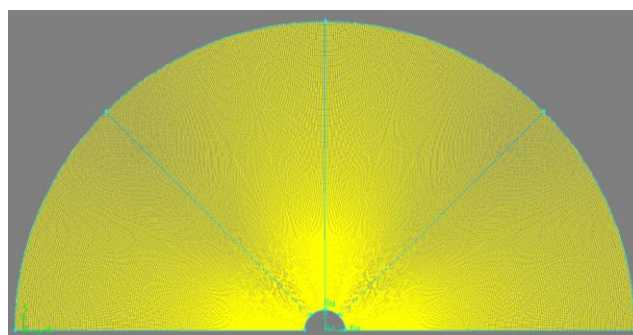
جدول ۱ پارامترهای هندسی



$h$	$\theta^\circ$	$F$	$r_0$	$r_\infty$
	۹۰	۱	$r_0$	$15r_0$
۰,۵-۱	۴۵	۳	$r_0$	$15r_0$
۱,۵-۲	۳۰	۵	$r_0$	$15r_0$
۲,۵-۳	۱۸	۹	$r_0$	$15r_0$
	۱۲	۱۴	$r_0$	$15r_0$

### ۳-۳- مدل شبکه

برای مش زدن هندسه این مسئله از نرم افزار Gambit استفاده شده است. شکل ۴ یک نمونه مش را نمایش می دهد.



شکل ۴- نمونه مش

همانطور که در شکل ۴ دیده می شود، برای بهینه سازی تعداد مش موجود و ایجاد دقت بالاتر در فرآیند حل به همراه کاهش هزینه های محاسباتی، شبکه مش زده شده در اطراف استوانه از تراکم بالاتری برخوردار بوده و با فاصله گرفتن از این منطقه تراکم آن کاهش می یابد.

- تعداد ناحیه: بستگی به تعداد پره ها دارد. در شکل ۴، چهار ناحیه موجود می باشد.
- تعداد المان ها: ۱۰۲۹۰۰
- نوع المان ها: دو بعدی - چهار ضلعی

### ۴- روش عددی و شرایط مرزی

در این پژوهش معادلات حاکم بر مسئله با استفاده از روش حجم محدود به کمک روش جداسازی بالادست مرتبه دوم<sup>۴</sup> تجزیه و تحلیل می شوند. جهت کوپل معادلات سرعت و فشار از روش SIMPLC استفاده شده است.

$$1- \text{ روی سطح استوانه. } (r = r_0, u = v = 0, T = T_0, T = 700 \text{ k})$$

<sup>4</sup> Second Order Upwind





۲- جریان دور دست استوانه. ( $T_{\infty} = 300 \text{ K}$ ),  $v \rightarrow -U_{\infty} \sin(\theta)$ ,  $u \rightarrow U_{\infty} \cos(\theta)$ ,  $r \rightarrow \infty$

جدول ۲ مشخصات سرعت ورودی بر حسب اعداد رینولدز

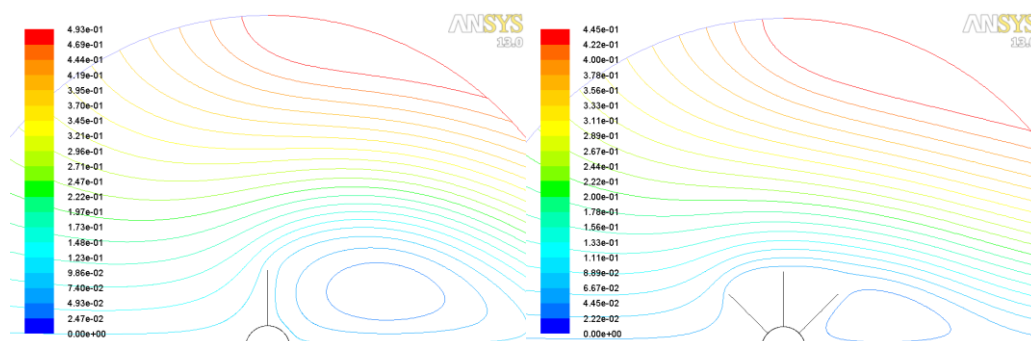
u	Re
$3,65 e^{-5}$	۵
$5,11 e^{-4}$	۷۰
$1,4 e^{-3}$	۲۰۰
$3,65 e^{-3}$	۵۰۰
$7,3 e^{-3}$	۱۰۰۰
$1,4 e^{-2}$	۲۰۰۰

به همین شکل برای دما، جریان دور دست به یک ناحیه خروجی  $\theta \leq 90$  و ناحیه ورودی  $\theta > 90$ ، شکل ۳ شرط مرزی دما برای جریان دور دست در جریان ورودی و خروجی به ترتیب  $T = T_{\infty}$ ,  $\frac{\partial T}{\partial r} = 0$  می باشد.

۳- صفحه تقارن. ( $\theta = 0, \theta = 180$ ),  $\frac{\partial u}{\partial \theta} = \frac{\partial T}{\partial \theta} = 0$ ,  $v = 0$

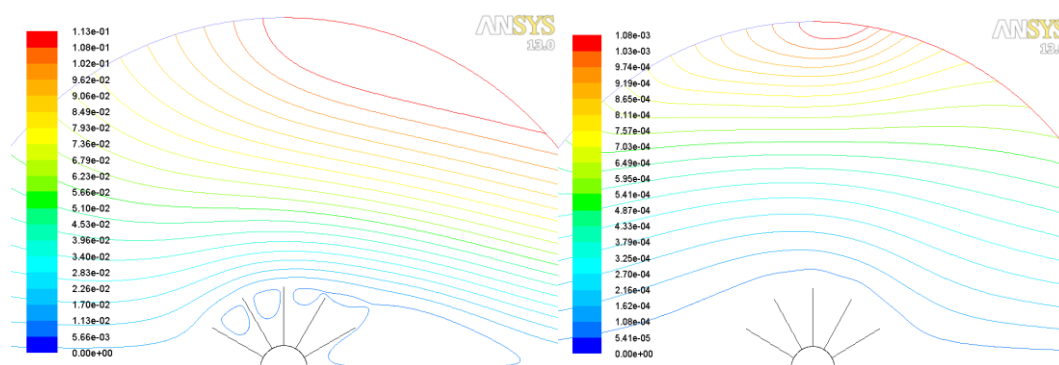
## ۵- بحث و نتایج

نتایج بدست آمده با استفاده از نرم افزار فلونت صورت گرفته است که در اعداد رینولدز ۵ تا ۲۰۰۰، تعداد پره های صفر تا ۱۴ و ارتفاع ۰/۵ تا ۳ واحد بررسی شده است. افزایش پره تاثیر زیادی بر خطوط جریان دارد، با توجه به شکل ۵ با افزایش پره ها جریان اطراف سیلندر در اعداد رینولدز مشابه کاهش می یابد. در نتیجه باعث افزایش عدد ناسلت و همچنین افزایش انتقال حرارت می شود.



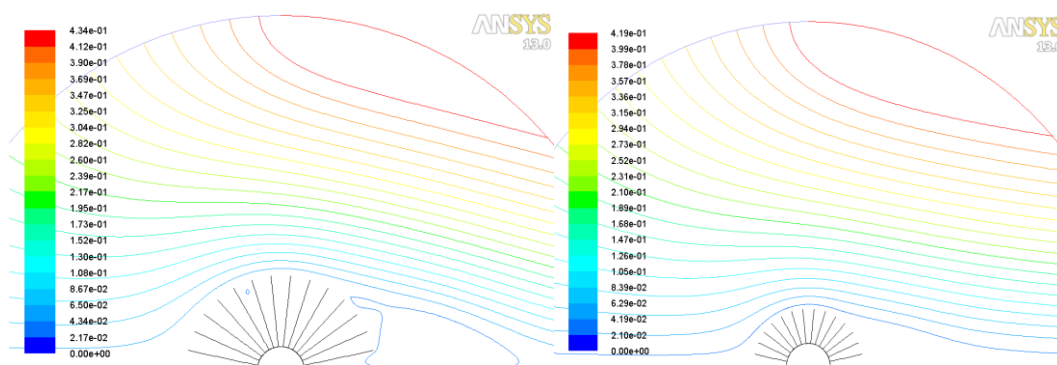
شکل ۵- تاثیر افزایش پره بر خطوط جریان

در شکل ۶ افزایش عدد رینولدز باعث تولید جریان گردشی بین پره ها می شود که نتیجه آن افزایش عدد ناسلت می باشد.



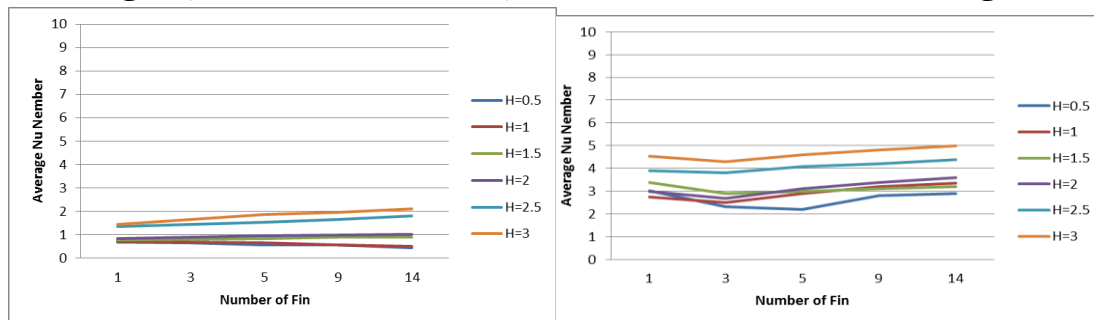
شکل ۶- تاثیر افزایش عدد رینولدز بر خطوط جریان

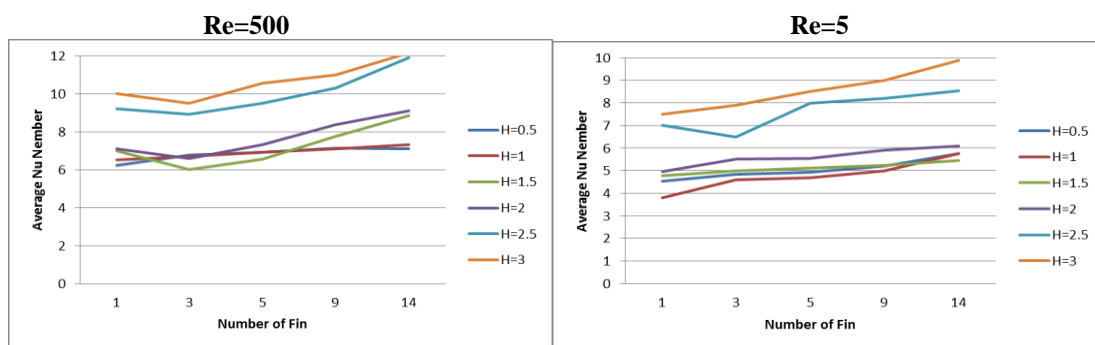
همچنین افزایش ارتفاع پره در اعداد رینولدز مشابه در حوزه جریان یکسان باعث ایجاد تولید جریان گردشی در اطراف سیلندر می شود که باعث افزایش انتقال حرارت می گردد. این امر در شکل ۷ مشاهده خواهد شد.



شکل ۷- تاثیر افزایش ارتفاع پره بر خطوط جریان

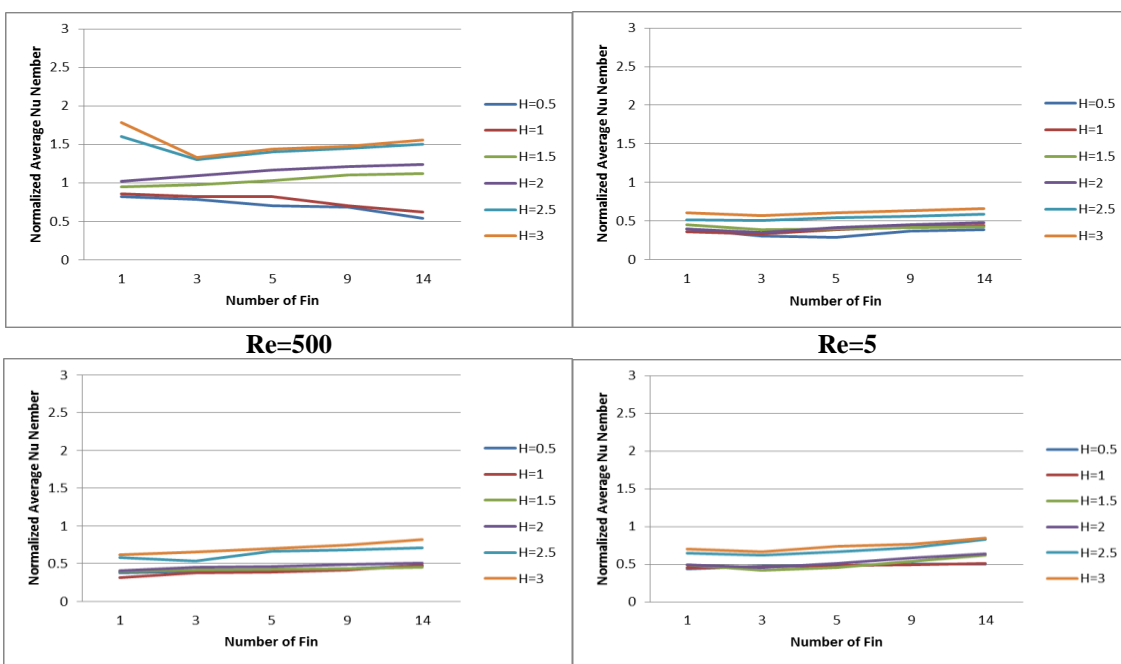
نمودار ۱ نشان می دهد که در اعداد رینولدز مشابه با افزایش تعداد پره، عدد ناسلت میانگین افزایش پیدا می کند.





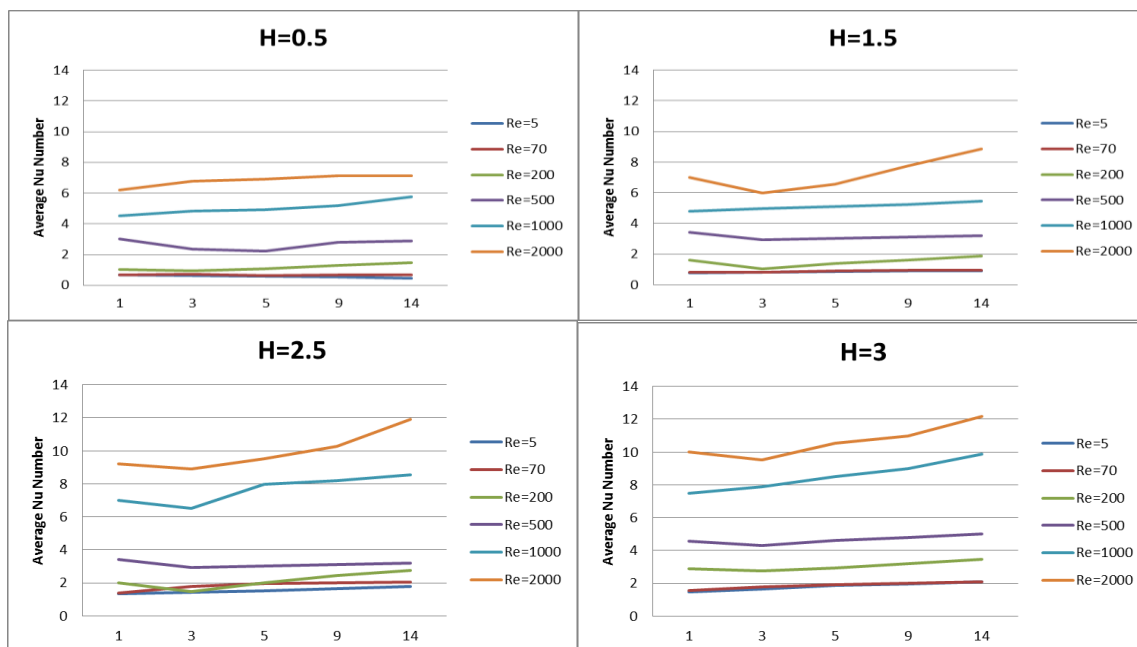
نمودار ۱- عدد ناسلت میانگین به عنوان تابعی از تعداد پره ها در ترکیب مختلف تعداد پره و اعداد رینولدز

نمودار ۲ نشان می دهد که در یک عدد رینولدز یکسان با افزایش تعداد پره عدد ناسلت نیز افزایش پیدا می کند.



نمودار ۲- عدد ناسلت میانگین نسبت به حالت بدون پره به عنوان تابعی از تعداد پره ها در ترکیب مختلف تعداد پره و اعداد رینولدز

نمودار ۳ نشان میدهد که در یک ارتفاع مشخص با افزایش تعداد پره و با توجه به اعداد رینولدز مختلف اعداد رینولدز افزایش پیدا می کنند.



نمودار ۳- عدد ناسلت میانگین به عنوان تابعی از ارتفاع در ترکیب مختلف تعداد پره و اعداد رینولدز

## ۶- نتیجه گیری

تاثیر پره ها بر انتقال حرارت وجود بخش جمع بندی و نتیجه گیری پس از متن اصلی مقاله الزامی است. جریان اجباری عبوری از سیلندر افقی هم دما برای ترکیب متعدد تعداد پره ها ( $F=0-14$ )، ارتفاع پره ها ( $H=0.5-3$ ) و اعداد رینولدز ( $Re_D=5-2000$ ) مختلف مورد مطالعه قرار گرفت. تغییرات در عدد ناسلت میانگین، برای مقدار داده شده عدد رینولدز، به دلیل افزایش تعداد پره ها، ناسلت میانگین در اعداد رینولدز مشابه توسط عدد ناسلت سیلندر بدون پره نرمال شد. این کار به خاطر تمرکز در تاثیر نسبی افزایش پره ها انجام شد.

نمودار ۱، ۲ و ۳ تغییرات عدد ناسلت میانگین نرمال بعنوان تابعی از تعداد پره ها در مقادیر مختلف اعداد رینولدز و ارتفاع پره را نشان می دهد. تغییرات در مقادیر اعداد ناسلت میانگین نرمال وابسته است به تعداد و ارتفاع پره ها که در مقادیر مناسب اعداد رینولدز به کار برده شد. تعداد کمی از پره های کوتاه تمایل به کاهش انتقال حرارت از سیلندر داشتند. اضافه کردن پره ها باعث کاهش سرعت جریان هوا حول سیلندر در نزدیکی پره ها شد که این خود باعث کاهش انتقال حرارت از سطح سیلندر شد. به دلیل اینکه اضافه کردن پره های کوچک از دست رفتن انتقال حرارت از سطح سیلندر را جبران نکرد، انتقال حرارت زیادی از سطح بیشتری اضافه شد که باعث یک کاهش خالص در عدد ناسلت میانگین نرمال از سیلندر شد. وقتی پره های بلند مورد استفاده قرار گرفتند، انتقال حرارت بیشتری از سطح وسیع زیادی بیشتر از جبران برای کاهش انتقال حرارت از سطح سیلندر باعث افزایش در عدد ناسلت نرمال میاتگین شد.

## مراجع





- [1] Vafai, K., & Huang, P. C. (1994). Analysis of heat transfer regulation and modification employing intermittently emplaced porous cavities. *Journal of heat transfer*, **116**(3), 604-613.
- [2] Al-Nimr, M. A., & Alkam, M. K. (1998). A modified tubeless solar collector partially filled with porous substrate. *Renewable Energy*, **13**(2), 165-173.
- [3] Abu-Hijleh, B. A. (2001). Natural convection heat transfer from a cylinder covered with an orthotropic porous layer. *Numerical Heat Transfer: Part A: Applications*, **40**(7), 767-782.
- [4] Badr, H. M. (1983). A theoretical study of laminar mixed convection from a horizontal cylinder in a cross stream. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **26**(5), 639-653.
- [5] Saitoh, T., Sajiki, T., & Maruhara, K. (1993). Bench mark solutions to natural convection heat transfer problem around a horizontal circular cylinder. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **36**(5), 1251-1259.
- [6] A/K Abu-Hijleh, B. (2003). Numerical simulation of forced convection heat transfer from a cylinder with high conductivity radial fins in cross-flow. *International journal of thermal sciences*, **42**(8), 741-748.
- [7] Ahmad, R. A. (1996). Steady-state numerical solution of the Navier-Stokes and energy equations around a horizontal cylinder at moderate Reynolds numbers from 100 to 500. *Heat Transfer Engineering*, **17**(1), 31-81.
- [8] Bassam, A., & Abu-Hijleh, K. (1999). Laminar mixed convection correlations for an isothermal cylinder in cross flow at different angles of attack. *International journal of heat and mass transfer*, **42**(8), 1383-1388.