



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

بررسی انتقال حرارت و افت فشار در کانال دندانه ای با فازهای مختلف در اثر ایجاد جریان آشفته

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

محمد حیدری ثابت

استاد راهنما:

دکتر مجید میرزایی

مهرماه ۱۳۹۸



مؤسسه آموزش عالی غیر دولتی غیر انتفاعی انرژی

بررسی انتقال حرارت و افت فشار در کانال دندانه ای با فازهای مختلف در اثر ایجاد جریان آشفته

پایان نامه یا رساله برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

نام دانشجو

محمد حیدری ثابت

استاد راهنما:

دکتر مجید میرزایی

اساتید مشاور:

دکتر حیدر مداح

مهر ماه ۱۳۹۸ پ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب محمد حیدری ثابت به شماره دانشجویی ۱۹۷۰ دانشجوی رشته مکانیک مقطع تحصیلی کارشناسی ارشد تأیید می‌نمایم که کلیه‌ی نتایج این پایان‌نامه/رساله حاصل کار اینجانب و بدون هرگونه دخل و تصرف است و موارد نسخه‌برداری شده از آثار دیگران را با ذکر کامل مشخصات منبع ذکر کرده‌ام. در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص دانشگاه مطابق با ضوابط و مقررات حاکم (قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان و قانون ترجمه و تکثیر کتب و نشریات و آثار صوتی، ضوابط و مقررات آموزشی، پژوهشی و انضباطی ...) با اینجانب رفتار خواهد شد و حق هرگونه اعتراض درخصوص احقاق حقوق مکتسب و تشخیص و تعیین تخلف و مجازات را از خویش سلب می‌نمایم. در ضمن، مسئولیت هرگونه پاسخگویی به اشخاص اعم از حقیقی و حقوقی و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) به عهده‌ی اینجانب خواهد بود و دانشگاه هیچ‌گونه مسئولیتی در این خصوص نخواهد داشت.

نام و نام خانوادگی: محمد حیدری ثابت

امضا و تاریخ:

مجوز بهره‌برداری از پایان‌نامه

بهره‌برداری از این پایان‌نامه در چهارچوب مقررات کتابخانه و با توجه به محدودیتی که توسط استاد راهنما به شرح زیر تعیین می‌شود، بلامانع است:

- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله برای همگان بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله با اخذ مجوز از استاد راهنما، بلامانع است.
- ☐ بهره‌برداری از این پایان‌نامه / رساله تا تاریخ ممنوع است.

نام استاد یا اساتید راهنما:

تاریخ:

امضا:

تقدیم به:

شایسته است از استاد و راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر میرزایی و جناب آقای دکتر

مداح که در به ثمر رساندن تحقیقات بنده دلسوزانه از هر کمکی دریغ نکردند، صمیمانه تشکر

نمایم.

علاوه بر توجیهات علمی، منش ایشان بهترین بالگوی اخلاقی من بود. امیدوارم در کلیه مراحل

زندگی موفق و پیروز باشید.

تشکر و قدردانی:

تقدیم به پدر عزیزم

که همیشه حامی و پشتیبانم بود و همواره به من درس مبحث کوشش و تلاش آموخت و نبودش پیمودن راه را برایم دشوار کرد.

تقدیم به مادر مهربانم

هم او که با نگاهش سایه ساری از مهر بر سرم گسترانید و درس گذشت و صبوری به من آموخت

چکیده

امروزه با کوچک سازی بسیاری از صنایع، نیاز به حداکثر افزایش ضریب انتقال حرارت احساس می شود. زیر کردن سطوح باعث آشفته گی جریان و در نتیجه افزایش ضریب انتقال حرارت جابه جایی است. موج کردن سطح صفحه های که انتقال حرارت دارد یکی از راه های افزایش عملکرد حرارتی سیستم می باشد، موج کردن سطح باعث کاهش زیر لایه آرام سیال و تبدیل سیال به مغشوش می شود و باعث افزایش میزان انتقال حرارت می شود. این زبری سطح برای خنک کاری و افزایش ضریب انتقال حرارتی جابه جایی در راکتور هسته ای، پره های توربین و تجهیزات الکترونیکی استفاده می گردد. هدف از انجام این پروژه بدست آوردن هندسه بهینه برای صفحه موج مثلثی و چکم های و بررسی تاثیر سرعت سیال و اختلاف فاز و تغییر فاصله صفحات موج بر پارامترهای انتقال حرارت و مقایسه نتایج عددی و تجربی می باشد. در این پژوهش به منظور حل معادلات حاکم بر میدان جریان و دما از روش عددی حجم به همراه الگوریتم Simple استفاده شده است مدل توربولانس مورد استفاده در این تحقیق $k-\epsilon$ می باشد. نتایج عددی بدست آمده برای جریان سیال با عدد رینولدز ۳۰۰۰ تا ۵۰۰۰۰ می باشد.

واژه های کلیدی: ضریب ، انتقال حرارت ، آشفته گی ، جریان ، سیال ، معادله ، توربولانس ، رینولدز

فهرست مطالب

۱	فصل اول
۱	مقدمه
۱-۱	پیشگفتار..... ۲
۱-۲	هدف از انجام این پروژه:..... ۲
۳	فصل دوم
۳	مروری بر منابع
۲-۱	تعاریف، اصول و مبانی نظری..... ۴
۲-۲	بررسی انتقال حرارت و ضریب اصطکاک کانال مستطیلی با صفحات دندانه و شیاردار: ۵
۲-۲-۱	بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:..... ۶
۲-۳	اثر اندازه بر جابه‌جایی انتقال حرارت در کانال با شار حرارتی خورشیدی:..... ۷
۲-۳-۱	بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:..... ۹
۲-۴	اثر زبری ماکرو و میکرو دندانه بر انتقال حرارت اجباری:..... ۱۰
۲-۴-۱	بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:..... ۱۱
۲-۵	ساختار سیال و میزان انتقال حرارت با دندانه خارج از محور در پره‌های توربین:..... ۱۳
۲-۵-۱	بررسی شکل هندسی تمامی دندانه‌ها:..... ۱۴
۲-۵-۲	بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:..... ۱۴
۲-۶	بررسی انتقال حرارت در کانال با سیال مغشوش در دندانه‌های غیر هم محور تحت

- زاویه: ۱۸
- ۱-۶-۲- شرایط مرزی مسئله: ۱۹
- ۲-۶-۲- بررسی کانتور دما برای انواع زوایای دندانه‌ها: ۱۹
- ۳-۶-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب عملکرد حرارتی سیال درون صفحات مواج: ۲۱
- ۷-۲- بررسی میزان انتقال حرارتی سیال مغشوش در کانال با صفحه دندانه شیاردار: ۲۲
- ۱-۷-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار: ۲۴
- ۸-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و جریان سیال در کانال با زبری مصنوعی: ۲۵
- ۱-۸-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب عملکرد سیستم: ۲۷
- ۹-۲- بررسی میزان افزایش انتقال حرارت در صفحات مبدل حرارتی با صفحه‌های زیر دندانه‌دار: ۲۸
- ۱-۹-۲- اشکال هندسی صفحات دندانه‌دار درون کانال: ۲۹
- ۲-۹-۲- کانتور سیال درون کانال بر حسب سرعت سیال: ۳۰
- ۳-۹-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و سرعت سیال بر حسب فاصله روی صفحه گرم: ۳۰
- ۱۰-۲- اثر شکل دندانه بر میزان انتقال حرارت محلی و ضریب اصطکاک در کانال مستطیلی: ۳۲
- ۱-۱۰-۲- اعتبار سنجی میزان عدد ناسلت برای حل عددی و آزمایشگاهی: ۳۳
- ۲-۱۰-۲- بررسی کانتور سرعت و جابه‌جایی سیال درون کانال با صفحات دندانه‌دار: ۳۴
- ۱۱-۲- بررسی انتقال حرارت سیال مغشوش در کانال با دندانه های داخلی: ۳۵

- ۱-۱۱-۲- شکل هندسی دندانه‌های درون صفحات موج:..... ۳۶
- ۲-۱۱-۲- بررسی کانتور جابه‌جایی سیال درون کانال با صفحات دندانه‌دار:..... ۳۷
- ۳-۱۱-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و انرژی جنبشی:..... ۳۷
- ۲-۱۲- بررسی میزان افزایش انتقال حرارت در کانال با دندانه و شیار دوزنقه‌ای:..... ۳۹
- ۱-۱۲-۲- شکل هندسی تمامی صفحات دندانه‌دار:..... ۴۰
- ۲-۱۲-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و سرعت برای تمام اشکال هندسی:..... ۴۰
- ۲-۱۳- مطالعه انتقال حرارت جابه‌جایی در کانال با برآمدگی‌های مختلف:..... ۴۲
- ۱-۱۳-۲- شکل هندسی کانال و صفحات موج:..... ۴۳
- ۲-۱۳-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب جابه‌جایی:..... ۴۴
- ۲-۱۴- بررسی عددی انتقال حرارت جابه‌جایی و افت فشار در کانال مبدل حرارتی با صفحات مورب:..... ۴۵
- ۱-۱۴-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:..... ۴۵
- ۲-۱۵- بررسی سیال و عملکرد حرارتی در صفحه‌های موج در مبدل‌های حرارتی با افزایش زاویه حمل سیال:..... ۴۶
- ۱-۱۵-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب افت فشار:..... ۴۷
- ۲-۱۵-۲- بررسی کانتور جابه‌جایی و سرعت سیال درون صفحات موج:..... ۴۸
- ۳-۱۵-۲- بررسی میزان ضریب عملکرد حرارتی و افت فشار بر حسب عدد رینولدز تحت زوایای مختلف دندانه:..... ۴۹
- ۲-۱۶- شبیه‌سازی عدد جریان سیال و انتقال حرارت در کانال با برآمدگی V شکل صفحات:..... ۵۰

- ۵۰ ۲-۱۶-۱- هندسه تمامی صفحات دنداندار:
- ۵۱ ۲-۱۶-۲- اعتبار سنجی مش هندسه با حل عددی:
- ۵۲ ۲-۱۶-۳- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب عملکرد:
- ۵۴ ۲-۱۷- بررسی جریان مغشوش و انتقال حرارت جابه‌جایی در کانال با دیواره مواج:
- ۵۵ ۲-۱۷-۱- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب اصطکاک و افت فشار سیال:
- ۵۷ ۲-۱۷-۲- بررسی کانتور و سرعت و جابه‌جایی تحت اثر اندازه دامنه دنداندار:
- ۵۸ ۲-۱۸- بررسی عددی انتقال حرارت و جریان سیال در کانال با صفحات مواج:
- ۵۹ ۲-۱۸-۱- اعتبار سنجی حل عددی و عملی:
- ۶۰ ۲-۱۸-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب اصطکاک:
- ۶۱ ۲-۱۹- بررسی هندسه شیار بر انتقال حرارت شیارهای داخلی لوله:
- ۶۲ ۲-۱۹-۱- شکل هندسی صفحات شیاردار:
- ۶۳ ۲-۱۹-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار سیال درون لوله:
- ۶۵ ۲-۲۰- اثر نانو شکل هندسی بر افزایش میزان انتقال حرارت در کانال مواج با اختلاف فاز مختلف:
- ۶۵ ۲-۲۰-۱- اعتبار سنجی مش هندسه مورد نظر:
- ۶۷ ۲-۲۰-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار سیال:
- ۷۰ فصل ۳:
- ۷۰ روش تحقیق
- ۷۱ ۱-۳- مقدمه:

۲-۳ - تشریح کامل روش تحقیق ۷۱

۳-۳ - مراحل انجام کار: ۷۲

۴-۳ - مش بندی مسئله : ۷۲

۵-۳ - بررسی استقلال شبکه از مش : ۷۳

۶-۳ - معادلات حاکم بر مسئله : ۷۳

فصل چهارم ۷۵

نتایج و تفسیر ۷۵

۴-۱- مقدمه : ۷۶

..... ۷۸

۴-۲- نتایج تحقیق حاضر : ۷۹

۴-۲-۲- مقایسه تغییرات ناسلت متوسط با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز 90° : ۷۹

۴-۲-۳- مقایسه تغییرات ناسلت متوسط با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز 180° : ۸۰

۴-۳- نمودارهای افت فشار در واحد طول ۸۲

۴-۳-۱- اختلاف فاز 0° درجه: ۸۲

۴-۳-۲- اختلاف فاز 90° درجه: ۸۳

۴-۳-۳- اختلاف فاز 180° درجه: ۸۴

۴-۳- تغییرات بردار سرعت، کانتور دما و خط جریان: ۸۶

۴-۳-۱- برای فاصله ۱۲/۵ میلیمتر و رینولدز ۱۱۰۰: ۸۶

۴-۳-۲- برای فاصله ۲۰ میلیمتر و رینولدز ۱۱۰۰: ۹۲

۴-۴- اعتبار سنجی نتایج به دست آمده در مسئله حاضر با نتایج تجربی: ۹۸

فصل پنجم ۱۰۲

جمع بندی و پیشنهاد ها ۱۰۲

۵-۱- مقدمه: ۱۰۳

۵-۱-۱- نتایج TEF برای حالت های مختلف مسئله: ۱۰۳

۵-۲- جمع بندی و نتیجه گیری: ۱۰۴

مراجع ۱۰۶

فهرست مطالب

شکل ۳-۱	هندسی صفحات با اختلاف فاز های متفاوت.....	۷۱
شکل ۳-۲	هندسی صفحات موج و کانال های مورد بررسی.....	۷۲
شکل ۳-۳	نمایش شبکه مش مسئله.....	۷۲
شکل ۴-۱	دستگاه طراحی شده جهت بررسی تجربی تاثیر ایجاد زبری در کانال.....	۷۶
شکل ۴-۲	بررسی تغییرات عدد ناسلت میانگین نسبت به رینولدز های مختلف در فاز های مختلف.....	۷۷
شکل ۴-۳	بررسی تغییرات افت فشار نسبت به عدد رینولدز در فاز های مختلف.....	۷۸
شکل ۴-۴	بررسی میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای فواصل مختلف صفحات در اختلاف فاز ۰.....	۷۹
شکل ۴-۵	بررسی میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای فواصل مختلف صفحات در اختلاف فاز ۹۰.....	۸۰
شکل ۴-۶	بررسی میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای فواصل مختلف صفحات در اختلاف فاز ۱۸۰.....	۸۱
شکل ۴-۷	تغییرات ناسلت متوسط با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فازهای مختلف در فاصله ثابت $S=12,5$	۸۲
شکل ۴-۸	مقایسه تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز ۰.....	۸۳
شکل ۴-۹	تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز ۹۰.....	۸۴
شکل ۴-۱۰	تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز ۱۸۰.....	۸۵
شکل ۴-۱۱	تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فازهای مختلف در فاصله ثابت $S=12,5$	۸۶
شکل ۴-۱۲	بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۰.....	۸۷
شکل ۴-۱۳	کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۰.....	۸۷
شکل ۴-۱۴	مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۰.....	۸۸
شکل ۴-۱۵	بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۹۰.....	۸۹

شکل ۴-۱۶	کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۹۰	۸۹
شکل ۴-۱۷	مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۹۰	۹۰
شکل ۴-۱۸	بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰	۹۱
شکل ۴-۱۹	کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰	۹۱
شکل ۴-۲۰	مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰	۹۲
شکل ۴-۲۱	بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۰	۹۳
شکل ۴-۲۲	کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۰	۹۳
شکل ۴-۲۳	مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۰	۹۴
شکل ۴-۲۴	بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۹۰	۹۵
شکل ۴-۲۵	کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۹۰	۹۵
شکل ۴-۲۶	مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۹۰	۹۶
شکل ۴-۲۷	بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰	۹۷
شکل ۴-۲۸	کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰	۹۷
شکل ۴-۲۹	مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰	۹۸
شکل ۵-۱:	نتایج TEF برای فاز صفر درجه برای فاصله صفحات مختلف	۱۰۳

فهرست جداول

جدول (۱-۲) ابعاد هندسی کانال و صفحه دندانه‌دار ۲۵

جدول (۲-۲) ابعاد مورد بررسی صفحات دندانه‌دار ۴۵

فهرست علائم اختصاری

<i>specific heat ($\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)</i>	C_p
<i>Friction factor</i>	f
<i>Friction factor of smooth surface</i>	f_s
<i>Reynolds number</i>	Re
<i>Thermal conductivity ($\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$)</i>	k
<i>local nusselt number</i>	Nu_x
<i>Nusselt number of smooth surface</i>	Nu
<i>Pressure (Pa)</i>	p
<i>Temperature (K)</i>	T
<i>Velocity (m.s^{-1})</i>	u
<i>Heat transfer rate (W/m^2)</i>	q
<i>Dynamic viscosity (N.s.m^{-2})</i>	μ
<i>Kinematic viscosity ($\text{m}^2.\text{s}^{-1}$)</i>	ν
<i>Density (Kg.m^{-3})</i>	ρ
<i>Angle of slant line</i>	θ
<i>Phase difference</i>	ϕ
<i>Length of Ducts (m)</i>	L

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

مواج کردن سطح صفحه‌های که انتقال حرارت دارد یکی از راه‌های افزایش عملکرد حرارتی سیستم می‌باشد، موج کردن سطح باعث کاهش زیر لایه آرام سیال و تبدیل سیال به مغشوش می‌شود و باعث افزایش میزان انتقال حرارت می‌شود با ایجاد کردن موج روی سطح باعث کاهش مقاومت حرارتی و افزایش میزان انتقال حرارت می‌شویم هرچه میزان ضریب اصطکاک درون کانال افزایش یابد میزان قدرت فن برای ثابت ماندن سرعت سیال افزایش می‌یابد این زبری سطح برای خنک کاری و افزایش شار حرارتی سطح به محیط اطراف در راکتور هسته‌ای، پره های توربین و تجهیزات الکترونیکی مثل صفحه روی پردازنده رایانه استفاده می‌گردد برای طراحی توربین باید دمای ورودی سیال برای تولید برق بیشتر و افزایش ضریب عملکرد سیستم افزایش یابد که در بعضی از موارد دمای سطح تیغه‌های توربین تا سرحد دمای ذوب بالا می‌رود که برای افزایش مقاومت تیغه توربین از آلیاژسازی استفاده می‌شود اما این آلیاژ سازی تا جایی صرفه اقتصادی ندارد و در بعضی از موارد آلیاژسازی راهکاری برای جلوگیری و یا افزایش مقاومت فلز وجود ندارد و برای کاهش دمای تیغه‌های توربین از موج کردن روی سطح تیغه استفاده می‌کنیم تجربه نشان داده است وجود موج روی تیغه‌ها اثر بهتری را روی افت فشار نسبت به انتقال حرارت دارد. سیستم‌های خورشیدی به دلیل پایین بودن سرعت و آرام بودن جریان سیال میزان انتقال حرارت پایینی را شامل می‌باشند و با ایجاد کردن صفحات موج روی صفحه باعث شکسته شدن مرز جریان آرام به جریان آشفته. برای افزایش میزان انتقال حرارت باید تاجایی که امکان دارد جدایش سیال را کاهش دهیم سیال مغشوشتر شود و پدیده جایگزین سیال به صفحه گرم را افزایش دهیم در این راستا ارتفاع دندان، گام، عدد رینولدز، زاویه پخ شکل هندسی روی صفحه بسیار مهم می‌باشد در تمامی کارهای تحقیقاتی حداکثر میزان انتقال حرارت زمانی رخ می‌دهد که سیال به صفحه گرم باز می‌گردد درگام اول طراحی مبدل‌های حرارتی بهینه سازی و ذخیره سازی انرژی به منظور افزایش انتقال حرارت صفحات گرم با طراحی کردن صفحات مبدل‌های حرارتی می‌باشد لذا در این بین صفحات موج سهم مهمی را برای انتقال حرارت بازی می‌کنند.

۱-۲- هدف از انجام این پروژه:

هدف از انجام این پروژه بدست آوردن هندسه بهینه برای صفحه موج مثلثی و چکمه‌های می‌باشد. همچنین بررسی تاثیر سرعت سیال و اختلاف فاز و تغییر فاصله دندان‌های صفحه موج بر پارامترهای انتقال حرارتی می‌باشد. همچنین ساخت مبدل حرارتی صفحه‌های موج و مقایسه نتایج عددی و تجربی می‌باشد.

فصل دوم

مروری بر منابع

۲-۱ - تعاریف، اصول و مبانی نظری

برای انجام پژوهش مورد نظر تمامی روابط زیر بر مسئله حاکم می‌باشد. معادله زیر نشان دهنده مقدار گرمای انتقال یافته را برحسب دبی جریان و ظرفیت گرمای ویژه و اختلاف دمای خروجی و ورودی سیال درون کانال می‌باشد.

$$Q = mCp(T_o - T_i) \quad (۲-۱)$$

رابطه زیر نشان دهنده ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی اجباری سیال می‌باشد که بر حسب شار حرارتی و اختلاف دمای سطح دیواره با دمای هوای محیط اطراف می‌باشد:

$$h = \frac{Q}{Ap(T_p - T_f)}$$

رابطه زیر نشان دهنده ضریب ناسلت می‌باشد که بر حسب ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی سیال و قطر هیدرولیکی و ضریب انتقال حرارت هدایتی سیال می‌باشد.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (۲-۳)$$

رابطه زیر نشان دهنده عدد رینولدز می‌باشد که میزان مغشوش یا آرام بودن سیال را نشان می‌دهد که بر حسب سرعت سیال و قطر هیدرولیکی کانال و ضریب پواسون می‌باشد.

$$Re = \frac{UD}{\nu} \quad (۲-۴)$$

معادله زیر ضریب اصطکاک را بر حسب پارامترهای افت فشار سیال و قطر هیدرولیکی و چکالی سیال و سرعت سیال و طول صفحه امواج نشان داده شده است.

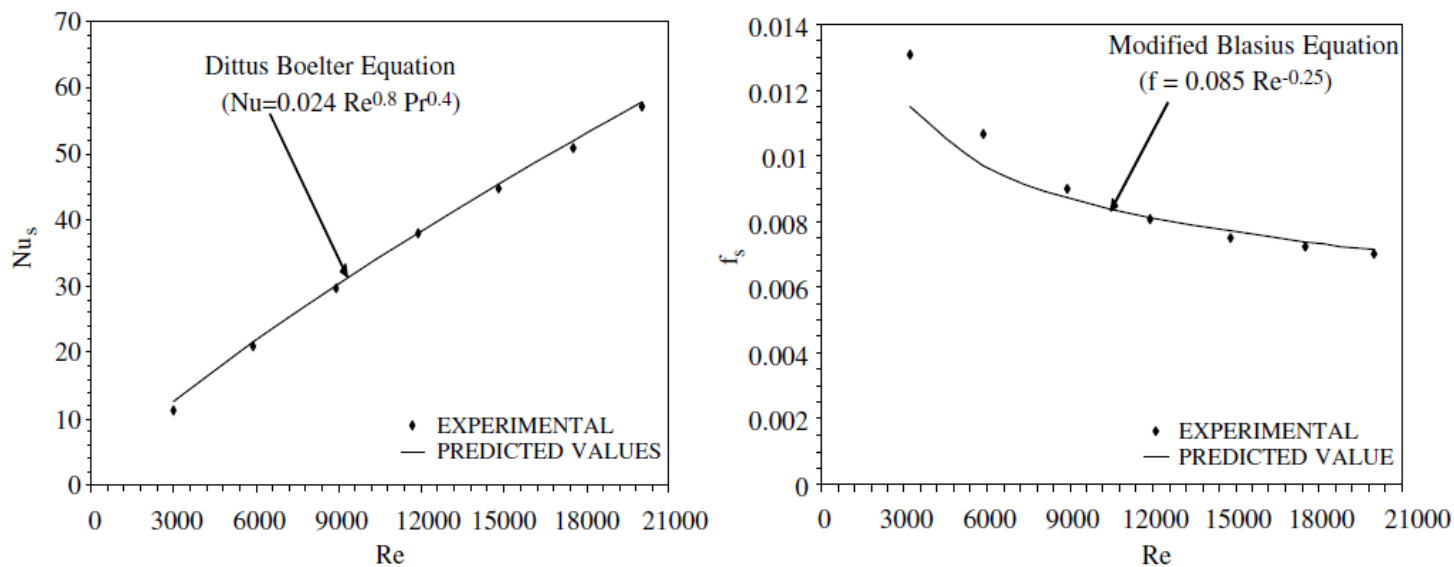
$$f = \Delta P * \frac{D}{(\frac{1}{2})\rho U^2 L} \quad (۲-۵)$$

رابطه زیر نشان دهنده ناسلت از رابطه Dittus-bolter برای کانال با صفحات صاف برحسب عدد رینولدز و عدد پرانتل نشان داده شده است.

$$Nus = 0.024Re^{0.8}Pr^{0.4} \quad (۲-۶)$$

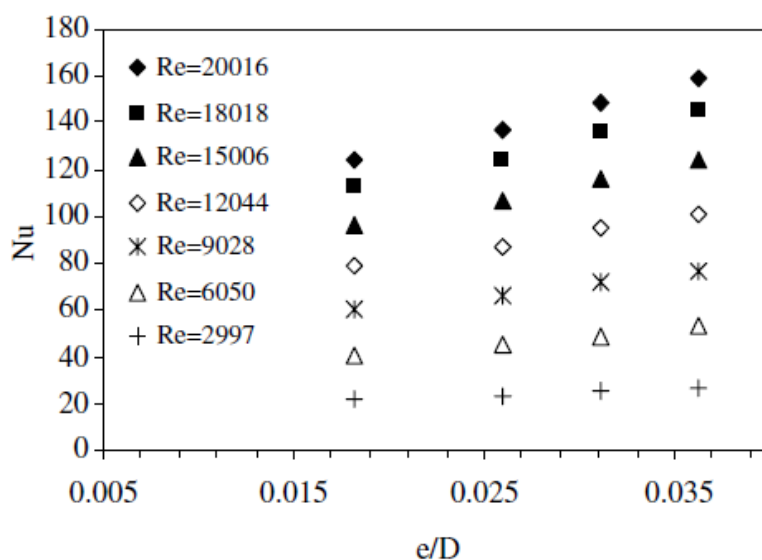
۲-۲-۱- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:

نمودار زیر مقدار ناسلت و ضریب اصطکاک صفحه صاف بر حسب عدد رینولدز ترسیم شده است:



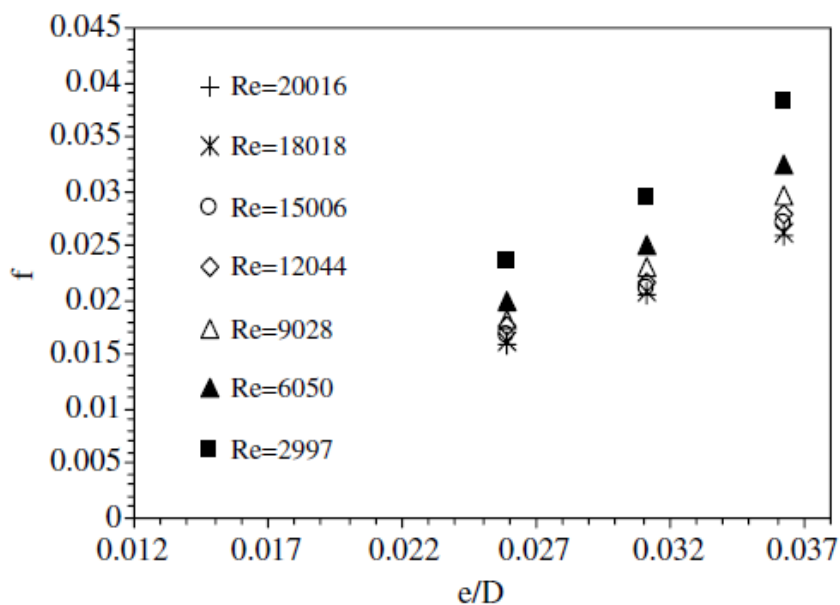
شکل ۲-۲ بررسی ناسلت و ضریب اصطکاک صفحه صاف بر حسب عدد رینولدز

نمودار شکل زیر عدد ناسلت بر حسب ارتفاع دندانه برای اعداد مختلف رینولدز ترسیم شده است که با زیر کردن سطح میزان انتقال حرارت سطح ۲,۷۵ برابر سطح صاف بدون هیچ زبری رسیده است.



شکل ۲-۳: بررسی ناسلت بر حسب اندازه ارتفاع دندانه برای رینولدزهای مختلف

نمودار زیر مقدار ضریب اصطکاک سطح بر حسب ارتفاع دندانه برای اعداد رینولدز مختلف ترسیم شده است



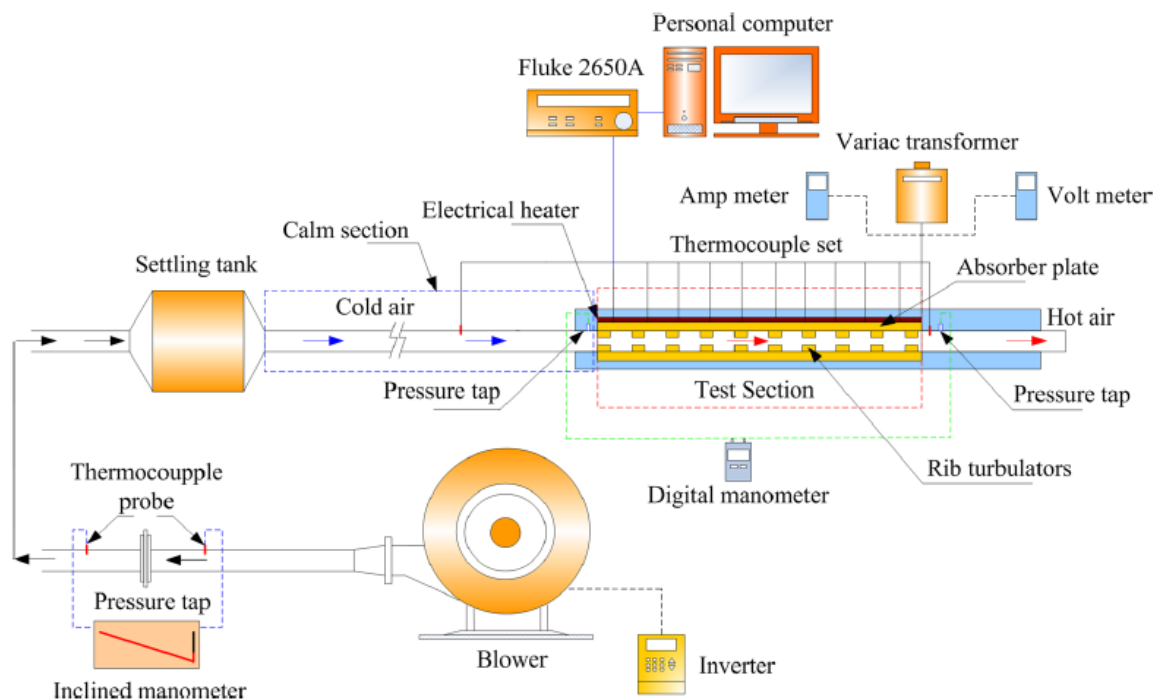
شکل ۲-۴: بررسی ضریب اصطکاک بر حسب اندازه دندانه بر حسب رینولدزهای مختلف

۳-۲- اثر اندازه بر جابه‌جایی انتقال حرارت در کانال با شار حرارتی خورشیدی:

در بررسی انجام گرفته توسط آقایان Chinaruk Thianpong و Sopol Skullong^۱ که مطابق زیر انجام گردیده است:

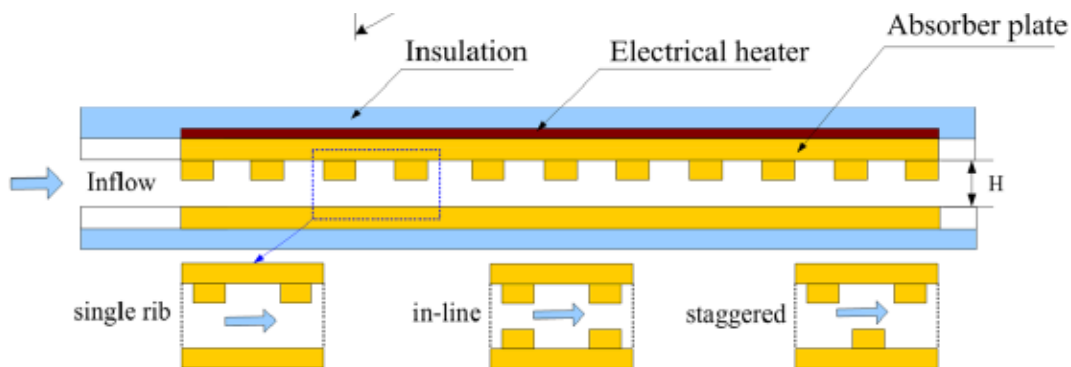
برای انجام دادن آزمایش به کانالی به ابعاد ۲۰۰۰*۳۰*۳۰ میلی متر نیاز داریم که هیتر مورد نظر بر صفحه بالایی موج شار حرارتی ثابتی را وارد می‌کند که با وجود شیرهای فشار میزان افت فشار برای هر قسمت نمایش داده می‌شود و همچنین برای اندازه‌گیری اختلاف دمای حرارتی از ترموکوپل استفاده می‌کنیم قابل ذکر است که وجود ارفیس میزان سرعت و ولتاژسنج و آمپرسنج میزان ولتاژ و آمپر موجود را اندازه‌گیری می‌کند.

^۱ Effects of rib size and arrangement on forced convective heat transfer in a solar air heater channel



شکل ۲-۵: سیستم طراحی شده برای تست‌گیری صفحات موج

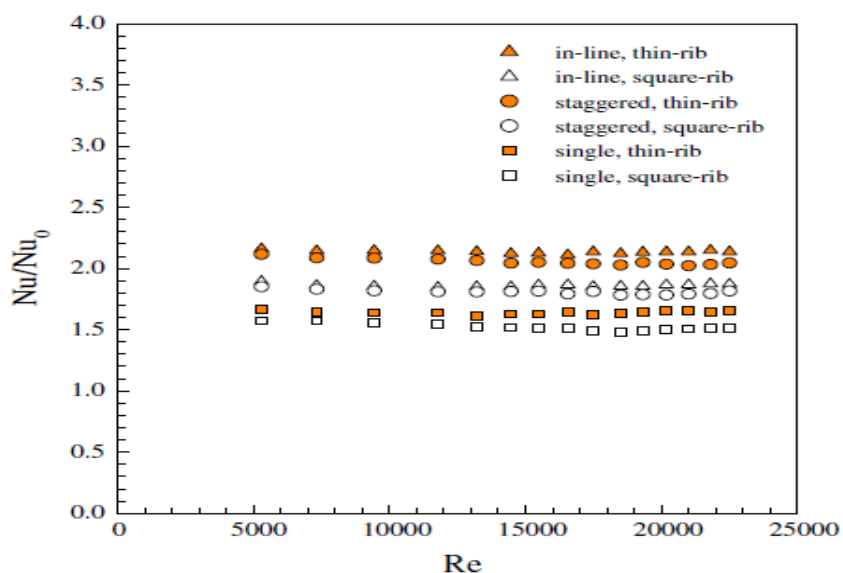
شکل‌گیری صفحات موج نسبت به یکدیگر در شکل زیر نمایش داده شده است :



شکل ۲-۶: هندسه تمامی دندان‌های مورد بررسی

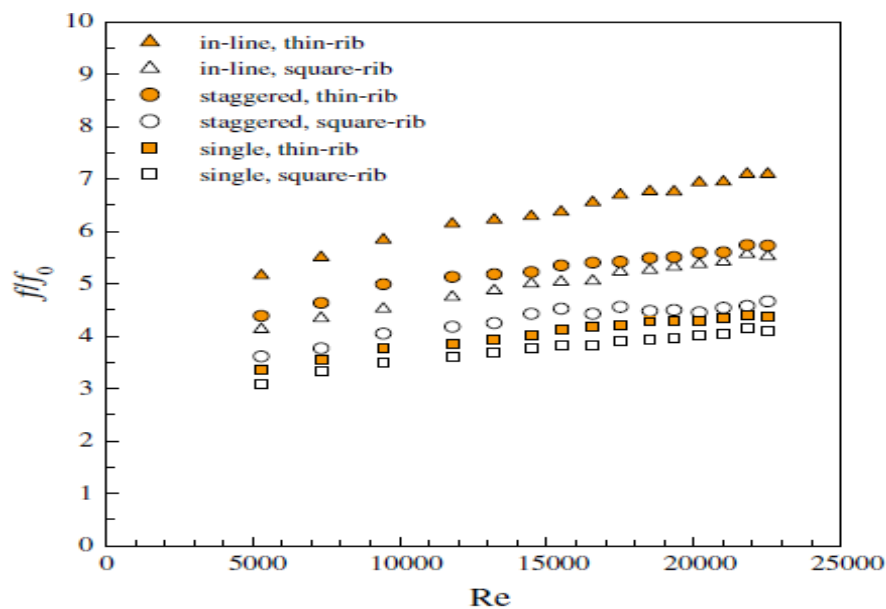
۱-۳-۲ بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:

شکل زیر میزان ناسلت صفحه موج نسبت به صفحه صاف می باشد



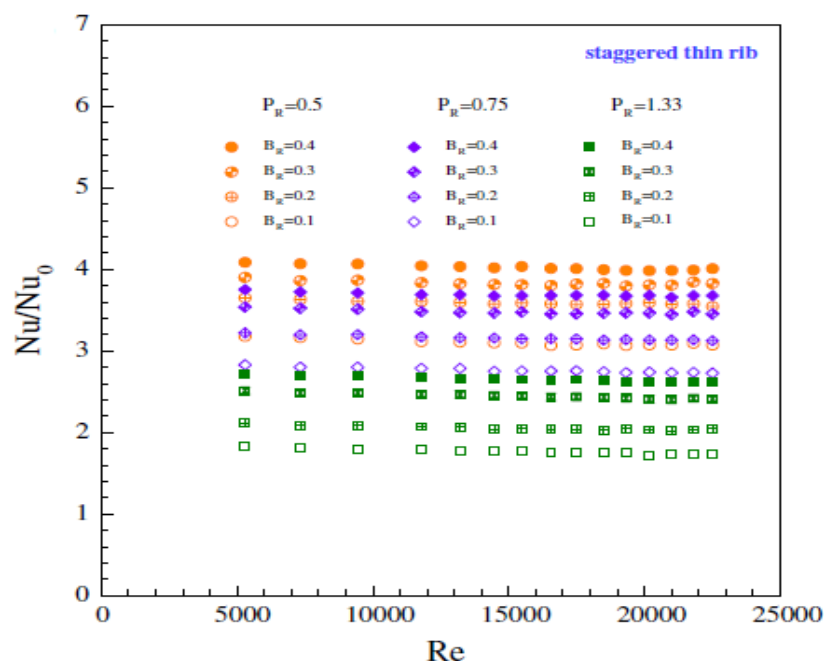
شکل ۲-۷: ناسلت صفحه دندانه دار به ناسلت صفحه صاف بر حسب رینولدز برای انواع شکل هندسی

نمودار زیر ضریب اصطکاک نسبت به عدد رینولدز برای انواع صفحات ترسیم شده است:



شکل ۲-۸: ضریب اصطکاک صفحه دندانه دار به صفحه صاف برای رینولدز مختلف

نمودار زیر مقدار ناسلت صفحه موج نسبت به صفحه صاف برای انواع نسبت ارتفاع و نسبت گام دندان به ارتفاع کانال ترسیم شده است.



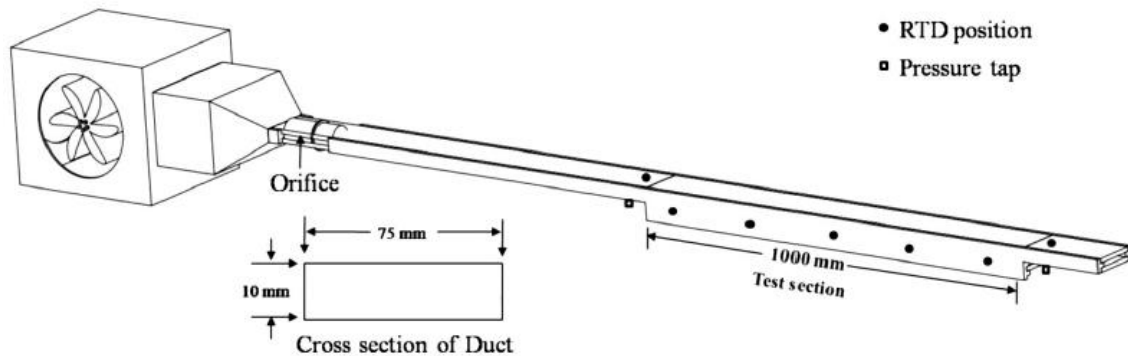
شکل ۹-۲: ناسلت به ناسلت صفحه صاف برای انواع اندازه گام و ارتفاع دندان برحسب رینولدزهای مختلف

۴-۲- اثر زبری ماکرو و میکرو دندان بر انتقال حرارت اجباری:

این کار تحقیقاتی توسط آقای^۱ Md. J. Nine و همکاران صورت گرفته که مطابق شکل زیر می باشد:

هر چه میزان اصطکاک افزایش یابد میزان افت فشار افزایش می یابد هر چه تعداد ریبها افزایش یابد میزان افت فشار افزایش می یابد طول کانال ۲,۵ و طول آزمایش ۱ و عرض کانال ۰,۰۷۵ و ارتفاع کانال ۰,۱ می باشد ضخامت صفحات موج ۱۰ تا ۱۰۰ میلی متر می باشد قدرت هیتر ۱۰۰ وات است برای عایق بودن کانال از شیشه های ۲ میلی متر استفاده شده است برای اندازه گیری دمای ورودی و خروجی کانال دو ترموکوپل به فاصله ۴ سانتی متر از ورودی و خروجی صفحه گرم و برای اندازه گیری افت فشار دو فشار سنج در فاصله ۶ سانتی متر از ورودی و خروجی صفحه گرم قرار داده شده است، شکل زیر نمایی از سیستم و کانال مورد آزمایش می باشد.

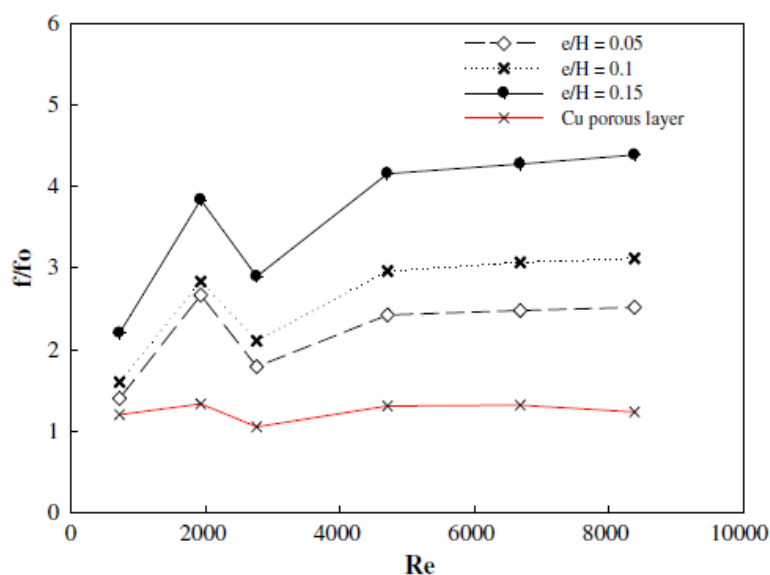
^۱ Effects of macro and micro roughness in forced convective heat transfer



شکل ۲-۱۰: کانال مورد بررسی برای تست‌گیری صفحات دندانه‌دار

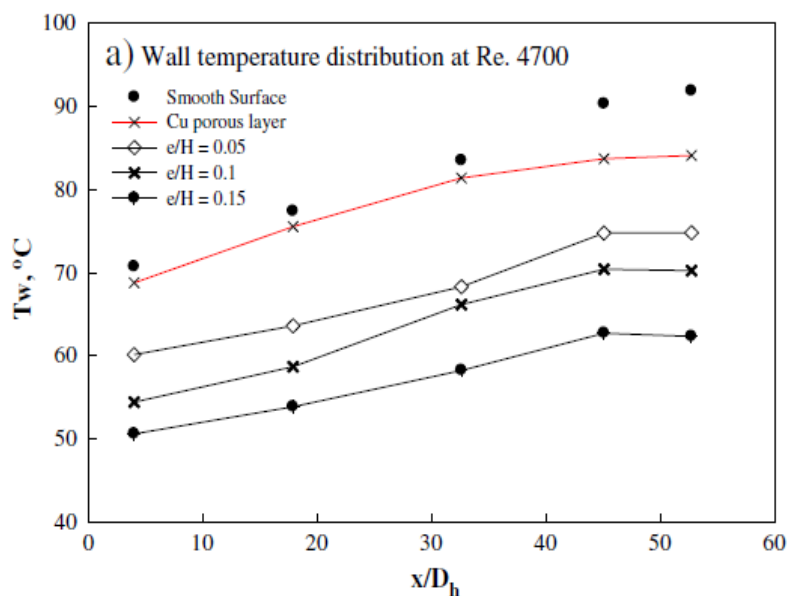
۱-۴-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار

میزان ضریب اصطکاک نسبت به ضریب اصطکاک صفحه صاف در نمودار زیر ترسیم شده است که هر چه میزان سرعت سیال و ارتفاع دندانه افزایش یابد میزان افت فشار افزایش می‌یابد.



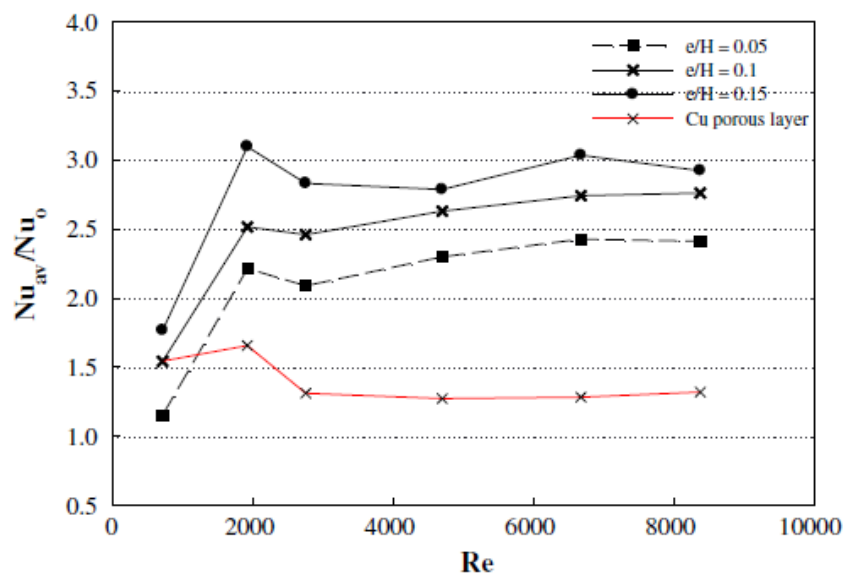
شکل ۲-۱۱: ضریب اصطکاک به ضریب اصطکاک صفحه صاف بر حسب رینولدز برای انواع اندازه دندانه

نمودار شکل صفحه بعد میزان دمای سطح صفحه را نسبت به فاصله از شروع گرم به ارتفاع کانال و بر حسب ارتفاع دندانه ترسیم شده است که هر چه میزان ارتفاع دندانه افزایش یابد میزان انتقال حرارت افزایش و در نتیجه آن صفحه گرم‌تر خواهد بود



شکل ۲-۱۲: دمای سطح گرم صفحه دنداندار بر حسب اندازه دندان و فاصله گیری از قسمت ورودی

در نتیجه آن چه که در بالا گفته شده عدد ناسلت افزایش می یابد که مطابق شکل زیر به نمایش در آمده است .

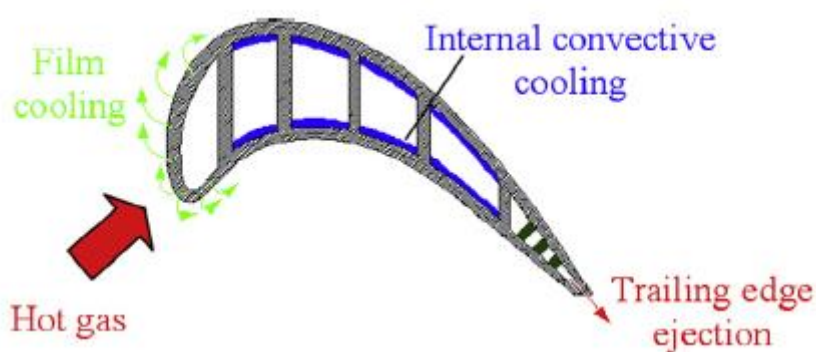


شکل ۲-۱۳: ناسلت متوسط بر حسب ناسلت صفحه صاف بر حسب رینولدز برای اندازه مختلف دندان

۵-۲- ساختار سیال و میزان انتقال حرارت با دندانه خارج از محور در پره‌های توربین:

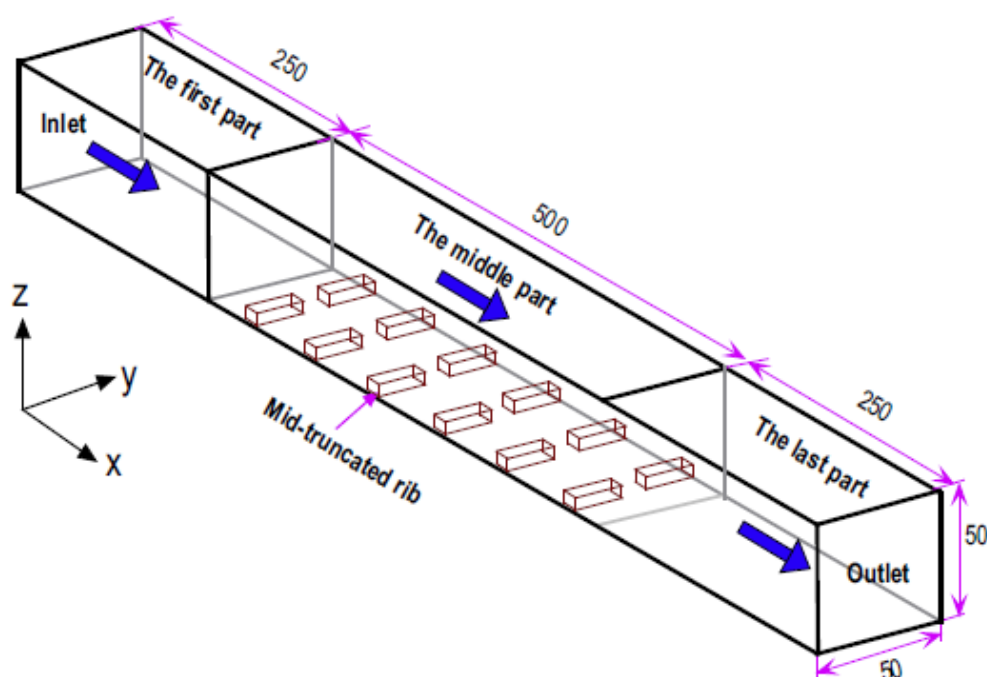
این کار تحقیقاتی انجام گرفته توسط آقای Jian Liu و همکاران می باشد که مطابق شکل زیر می باشد:

شکل زیر هندسه تیغه توربین را نشان می دهد:



شکل ۲-۱۴: هندسه صفحات دندانه‌دار به کار برده شده در پره‌های توربین

شکل زیر هندسه کانال را برای تست‌گیری نشان می‌دهد

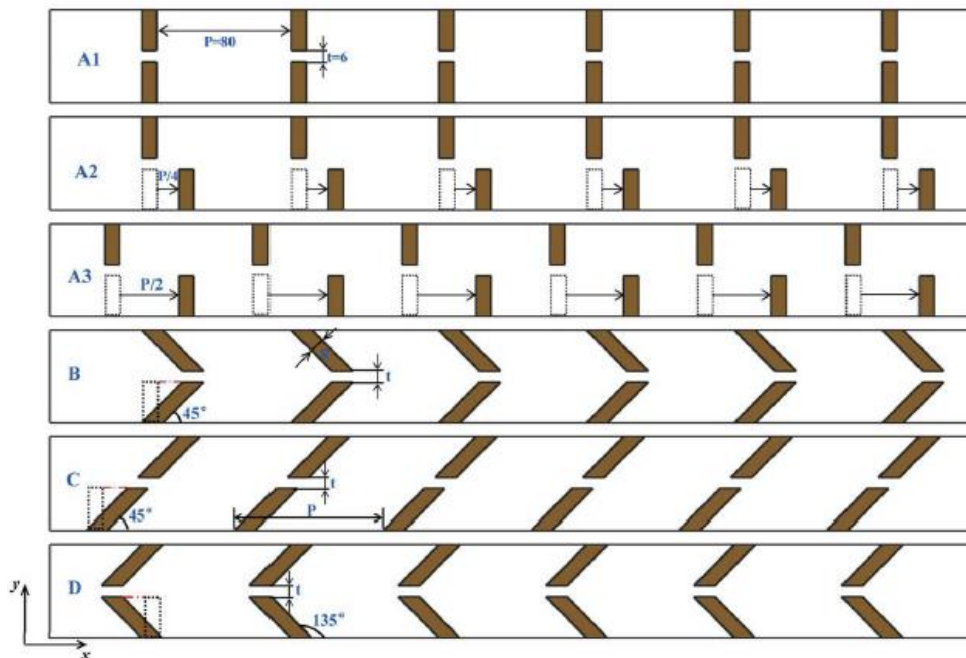


شکل ۲-۱۵: هندسه کانال مورد تست‌گیری صفحات دندانه‌دار

^۲ Flow structure and heat transfer in a square passage with offset mid-truncated ribs

۱-۵-۲- بررسی شکل هندسی تمامی دندانه‌ها:

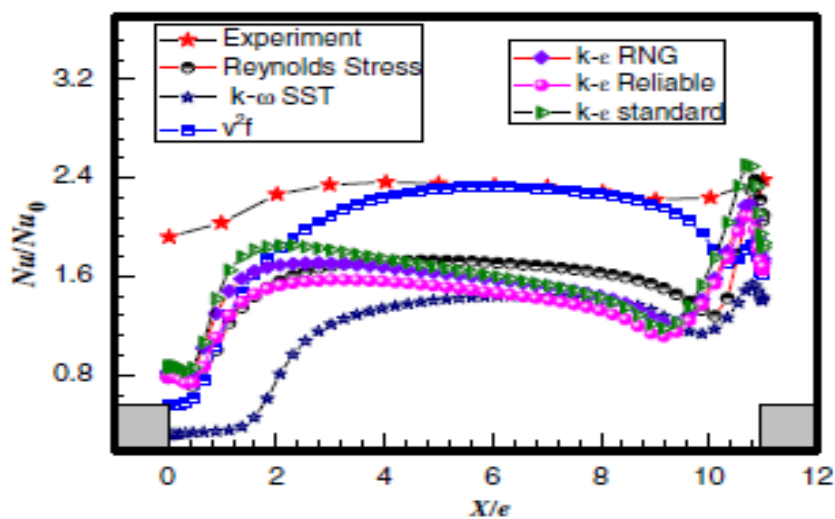
شکل زیر تمامی انواع دندانه را روی صفحه گرم را نشان می‌دهد:



شکل ۲-۱۶: هندسی تمام دندانه و اختلاف فاز دندانه‌ها

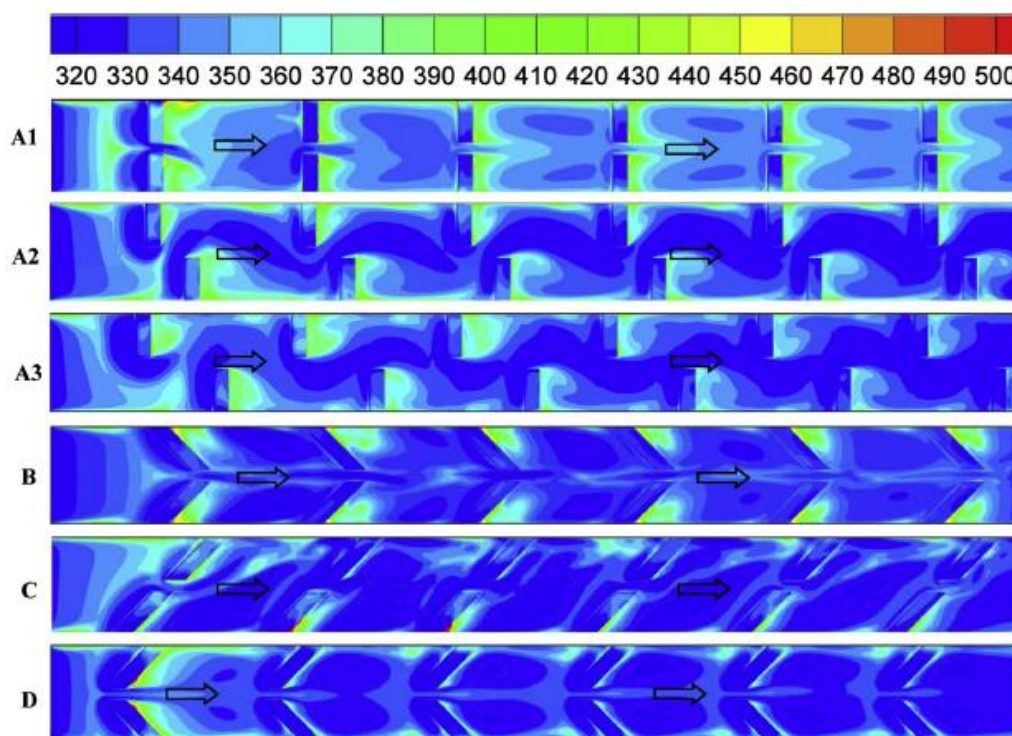
۲-۵-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:

شکل زیر میزان ناسلت صفحه گرم به ناسلت صفحه صاف را بر حسب جابه‌جایی نشان می‌دهد که معادله V^2f به مقادیری که در آزمایش تجربی به دست آمده بسیار نزدیک می‌باشد.



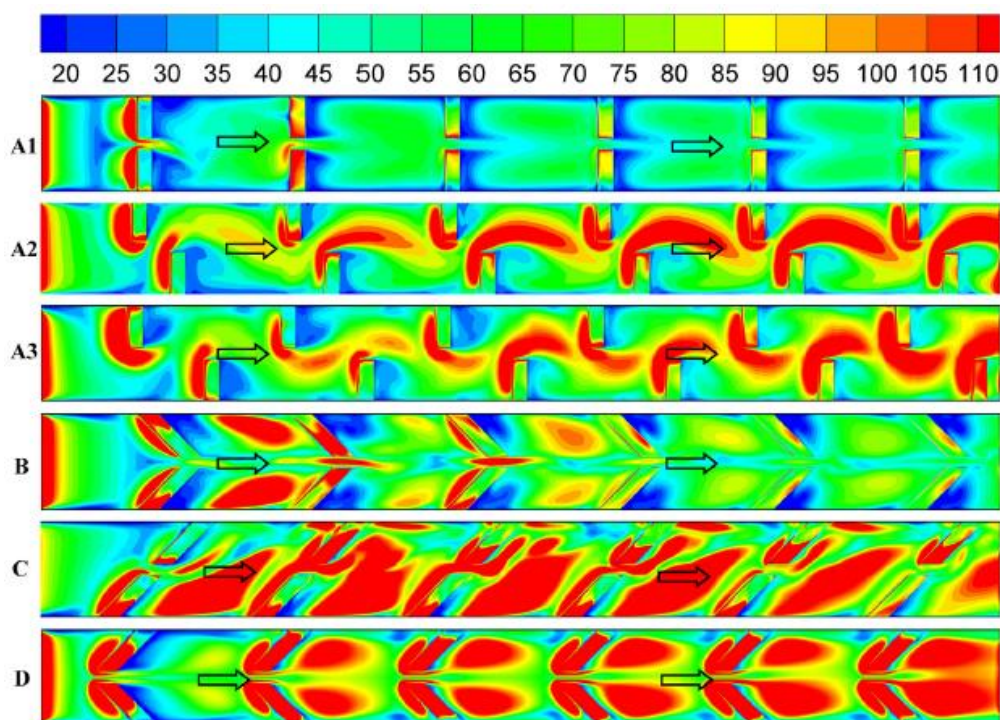
شکل ۲-۱۷: ناسلت بر حسب ناسلت صفحه صاف بر حسب جابه‌جایی روی صفحه گرم

شکل زیر کانتور دمایی سیال را بر حسب جابه‌جایی را برای انواع دندان‌ها نشان می‌دهد:



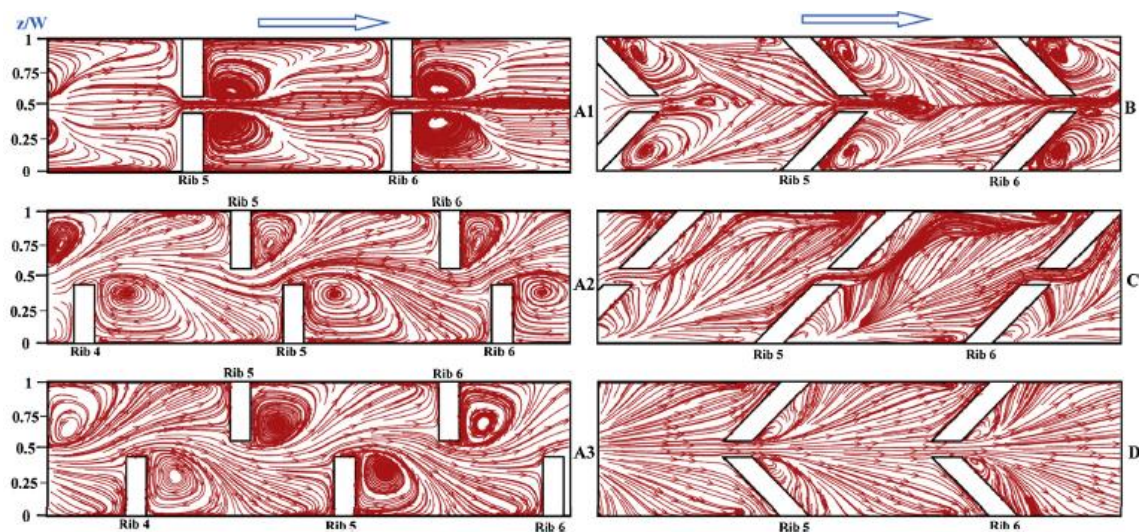
شکل ۲-۱۸: کانتور دمایی سیال در مجاورت دندان‌ها

شکل زیر کانتور عدد ناسلت را در مجاورت انواع صفحات نشان داده شده است :



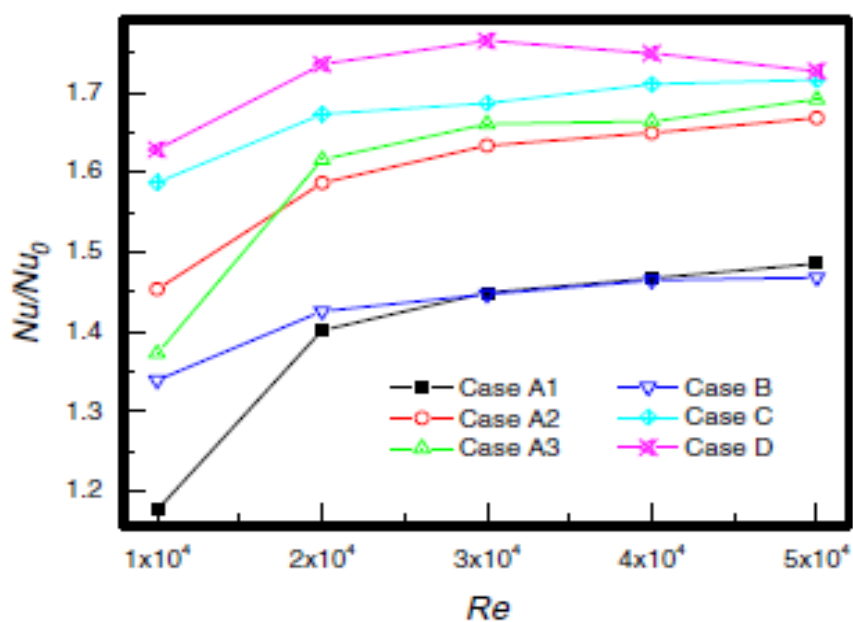
شکل ۲-۱۹: کانتور عدد ناسلت در مجاورت انواع دندان‌ها

شکل زیر وکتور جا به جایی سیال را نشان می دهد:



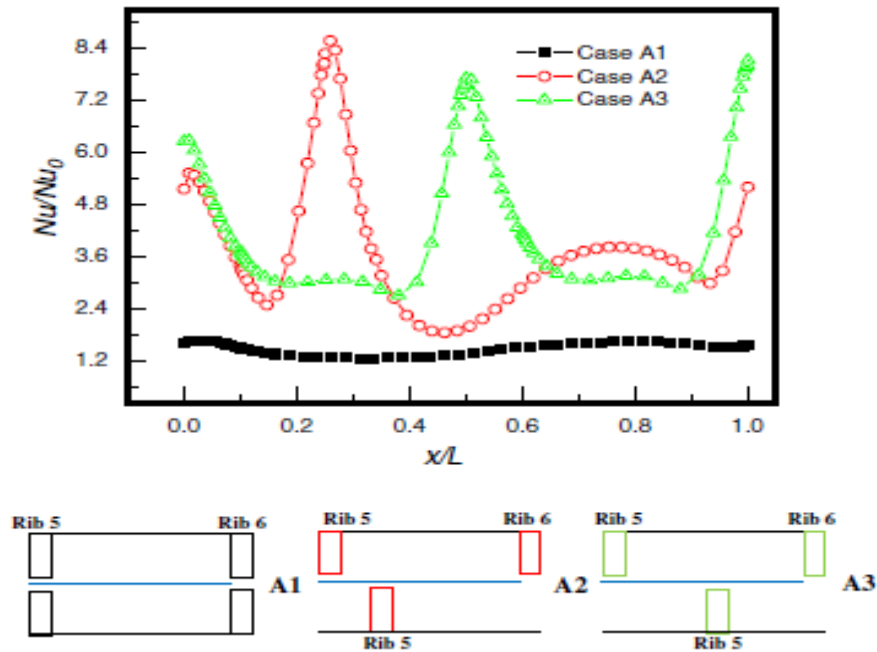
شکل ۲-۲۰: بردار جابه‌جایی سیال در مجاورت دندانه

در بین تمامی صفحات نشان داده شده صفحه نوع D بهترین میزان انتقال حرارت را شامل می‌باشد.



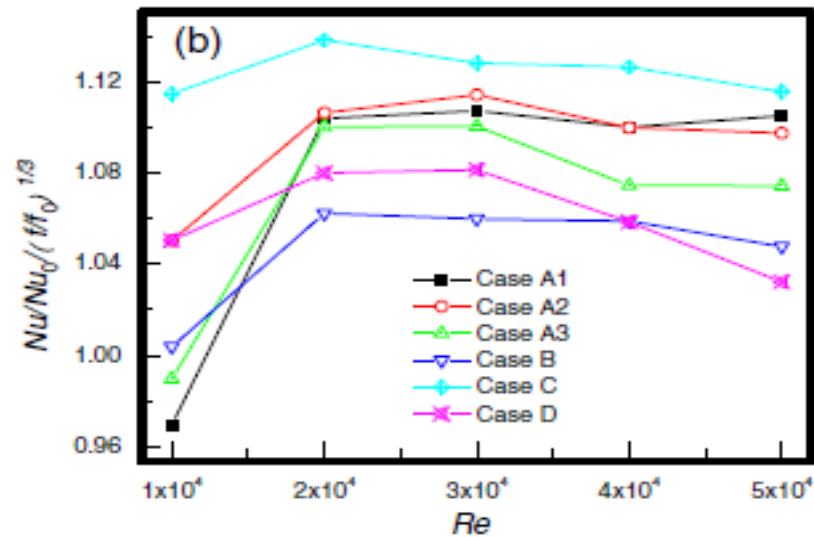
شکل ۲-۲۱: ناسلت به ناسلت صفحه صاف بر حسب عدد رینولدز برای انواع هندسه قرارگیری دندانه‌ها

شکل زیر تاثیر اختلاف فاز را بر میزان انتقال حرارت نشان داده شده است :



شکل ۲-۲۲: ناسلت به ناسلت صفحه صاف بر حسب جابه‌جایی روی صفحه دندانه‌دار برای سه نمونه قرارگیری دندانه

شکل زیر ضریب عملکرد سیستم بر حسب عدد رینولدز برای انواع صفحات ترسیم شده است :

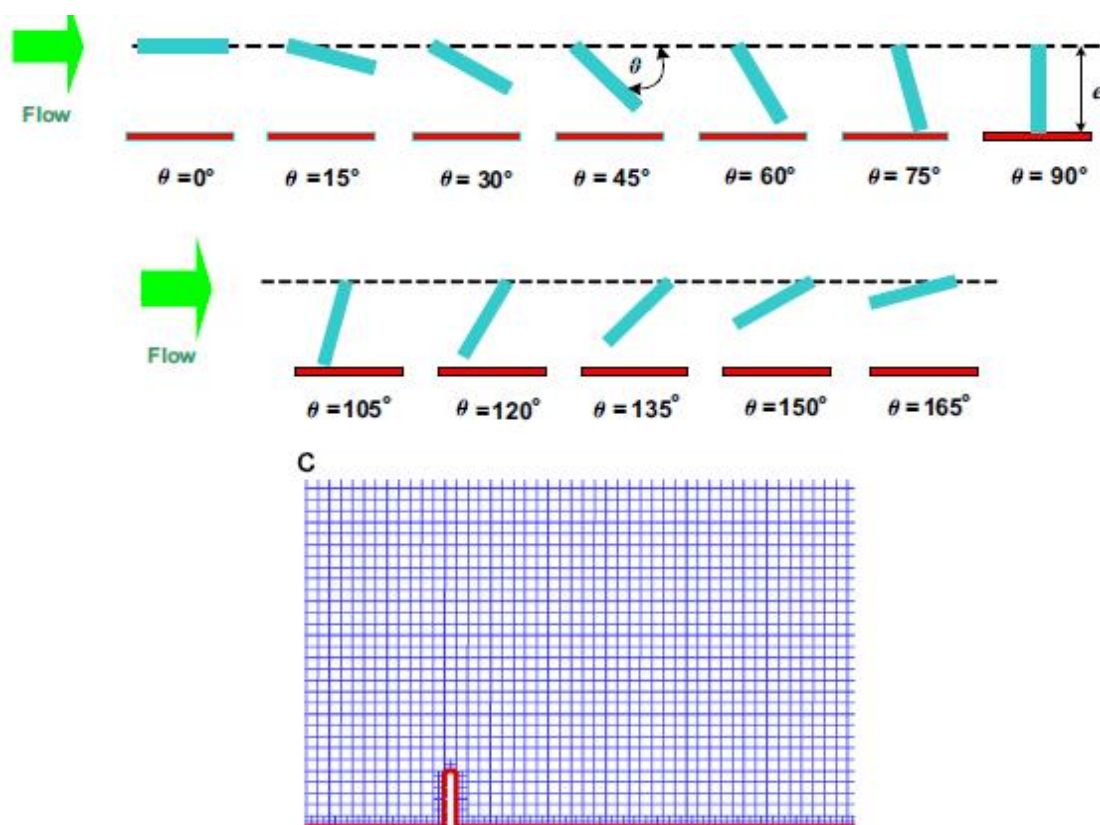


شکل ۲-۲۳: ضریب عملکرد حرارتی بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی دندانه‌ها

۶-۲- بررسی انتقال حرارت در کانال با سیال مغشوش در دندانه‌های غیر هم محور تحت زاویه:

کار تحقیقاتی زیر اثر^۱ K.Yongsiri و همکاران مطابق زیر است:

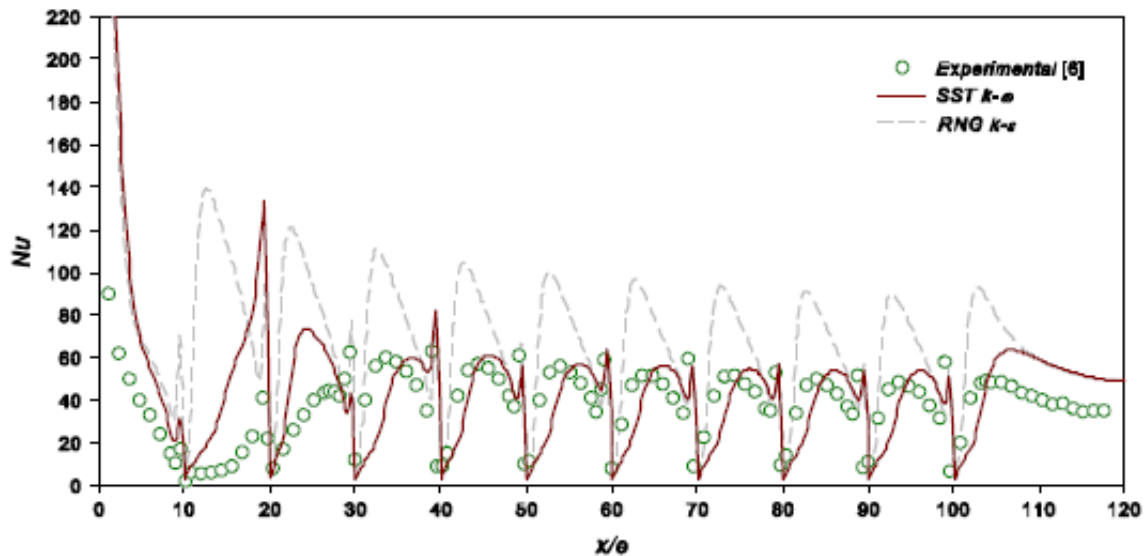
در این مقاله زوایای ۰ و ۱۵ و ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ و ۷۵ و ۱۰۵ و ۱۲۰ و ۱۳۵ و ۱۵۰ برای دندانه‌ها در نظر گرفته شده است که زوایای ۶۰ و ۱۲۰ دارای حداکثر میزان انتقال حرارت را دارا می‌باشند. برای حل این مسئله فرضیات اینکه دبی و شار حرارتی پایدار می‌باشد و از شار حرارتی تشعشعی و نیروهای حجمی و اصطکاک صرف‌نظر می‌کنیم و سیال مغشوش و تراکم‌ناپذیر است و برای حل مسئله از معادله RNG استفاده می‌کنیم شکل زیر تمامی اشکال هندسی دندانه‌های صفحه گرم را تحت زاویه نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲۴: هندسه تمامی دندانه‌ها بر حسب زاویه قرارگیری

۱-۶-۲- شرایط مرزی مسئله:

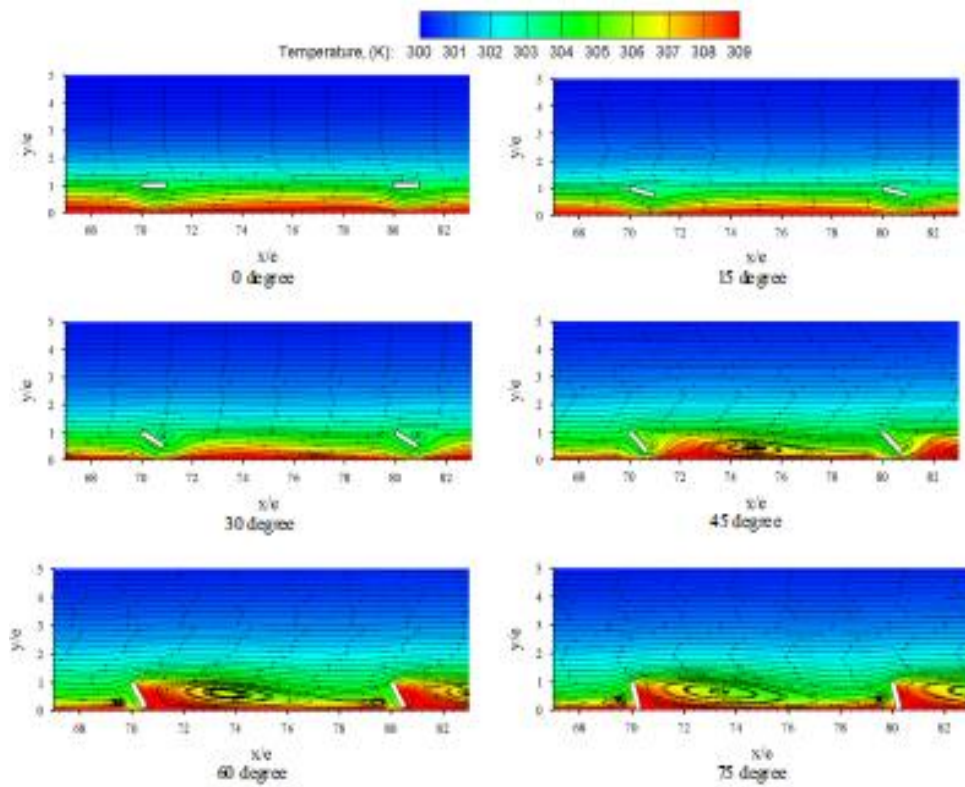
تمامی دیواره ها برابر ۳۱۰ کلوین و دمای سیال ورودی ۳۰۰ کلوین می باشد نمودار شکل زیر میزان عدد ناسلت را بر حسب جابه جایی نشان می دهد که هر چه زاویه دندانه افزایش یابد میزان ناسلت افزایش می یابد و در بین تمامی معادلات حل روش SST دارای همگرایی بالایی با مقادیر اندازه گیری شده در آزمایشگاه را دارد.



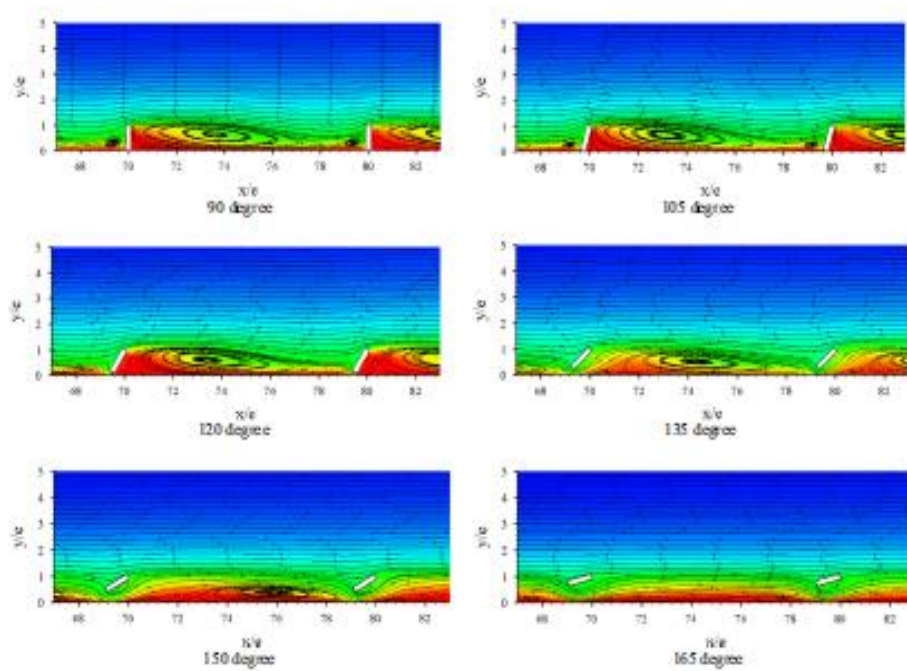
شکل ۲-۲۵: اعتبار سنجی مسئله بر حسب جابه جایی سیال

۲-۶-۲- بررسی کانتور دما برای انواع زوایای دندانه ها:

اشکال صفحه بعد کانتور دمایی سیال را در مجاورت دندانه ها را نشان می دهد :



شکل ۲-۲۶: بررسی کانتور دمای سیال در مجاورت دندان‌های صفحه گرم

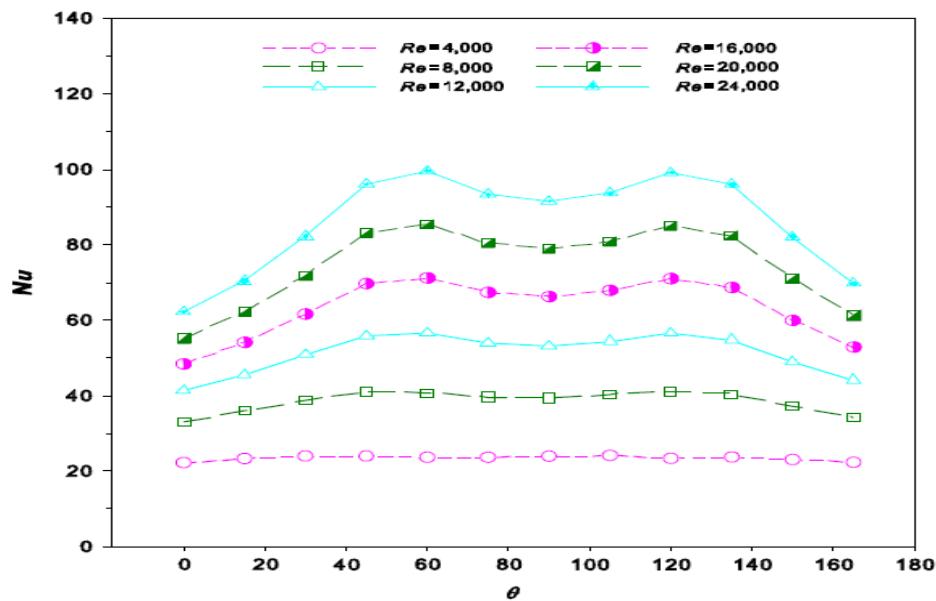


شکل ۲-۲۷: بررسی کانتور دمای سیال در مجاورت دندان‌های صفحه گرم

در اشکال بالا دندان‌های ۶۰ و ۱۲۰ بیشترین میزان ناسلت را دارا می‌باشد به این دلیل که در دندان‌های ۰ و ۱۵ و ۳۰ و ۱۶۵ گردابه در پشت دندان تشکیل نمی‌شود و همین امر موجب کاهش اغتشاش سیال و پایین بودن میزان انتقال حرارت می‌باشد اما در زوایای ۶۰ و ۱۲۰ میزان گردابه‌های ایجاد شده در پشت دندان‌ها به حدی می‌رسد که باعث حداکثری انتقال حرارت می‌شود

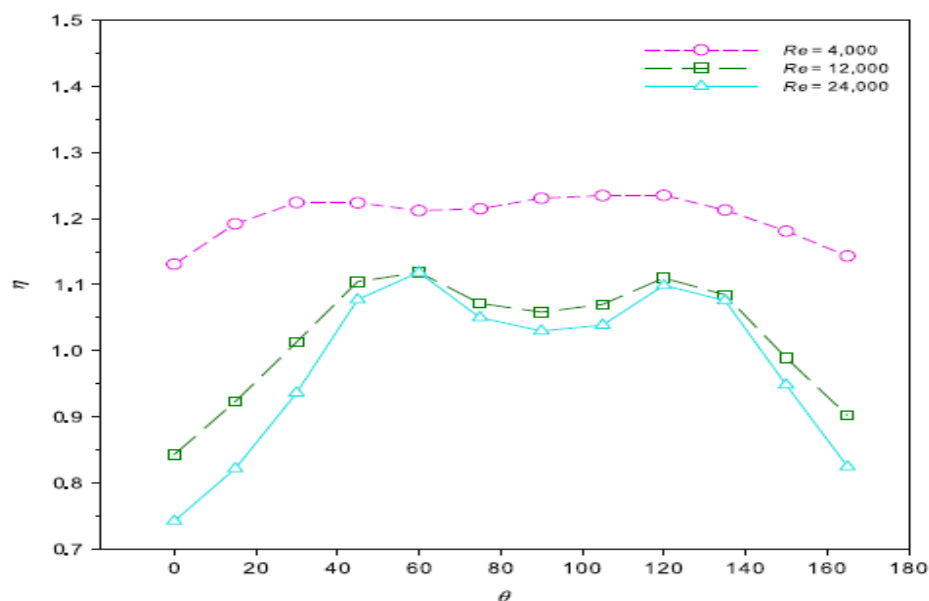
۳-۶-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب عملکرد حرارتی سیال درون صفحات مواج:

شکل زیر میزان ناسلت را بر حسب سرعت سیال و زاویه دندان نشان می‌دهد:



شکل ۲-۲۸: ناسلت بر حسب زاویه قرارگیری دندان‌ها برای انواع رینولدزهای مختلف

شکل زیر میزان ضریب عملکرد سیستم را بر حسب زاویه دندان و سرعت سیال نشان داده شده است

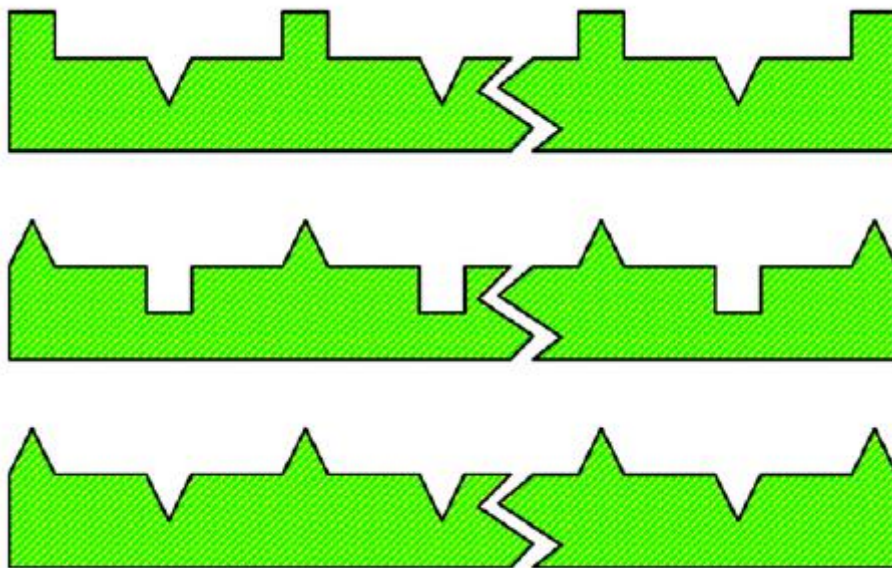


شکل ۲-۲۹: ضریب عملکرد حرارتی بر حسب رینولدز برای انواع زوایای مختلف دندان

با توجه به شکل بالا دندانه با زاویه ۶۰ و ۱۲۰ دارای حداکثر مقدار بازدهی را می‌باشد و ۶۰ درجه میزان ۱,۷۴ و برای ۱۲۰ درجه ۱,۲۱ برابر صفحه صاف میزان انتقال حرارت را شامل می‌شود.

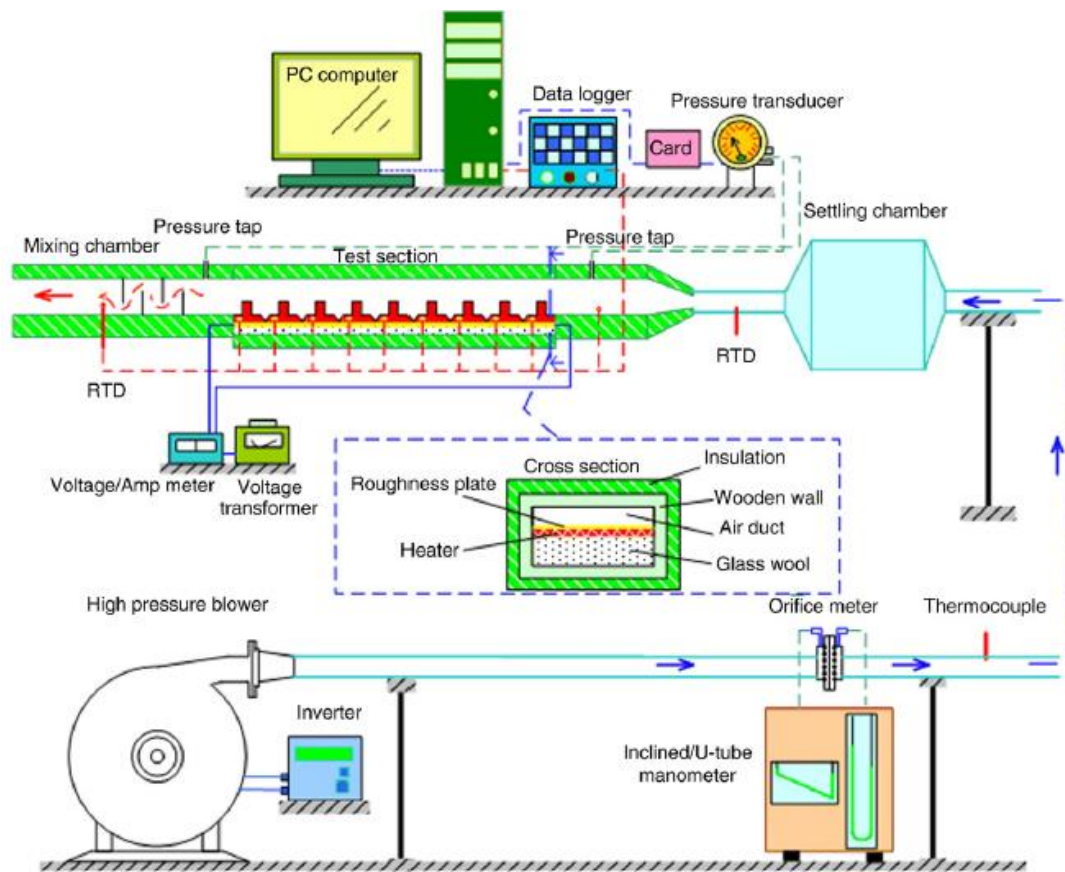
۷-۲- بررسی میزان انتقال حرارتی سیال مغشوش در کانال با صفحه دندانه شیاردار:

این کار تحقیقاتی صورت گرفته اثر Pongjet Promvonge , Smith Eiamsa-ard می‌باشد که مطابق زیر می‌باشد در این مقاله سه نوع صفحه دندانه مثلثی و شیار مثلثی، دندانه مستطیلی و شیار مثلثی، دندانه مثلثی و شیار مستطیلی بررسی شده است در کانال‌های دندانه مربعی و شیار مثلثی دارای بالاترین میزان شار حرارتی و ضریب اصطکاک دارد. دلیل ایجاد دندانه و زبری سطح برای شکستن زیر لایه ویسکوز و کاهش ضخامت لایه گرمایی و کاهش مقاومت گرمایی نزدیک دیواره‌های دندانه‌دار و شیاردار در جریان متلاطم می‌باشد در شکل زیر هندسه تمامی صفحات دندانه‌دار نشان داده شده است.



شکل ۲-۳۰: اشکال هندسی و شیار صفحه گرم

شکل زیر سیستم و کانال مورد تست می باشد:



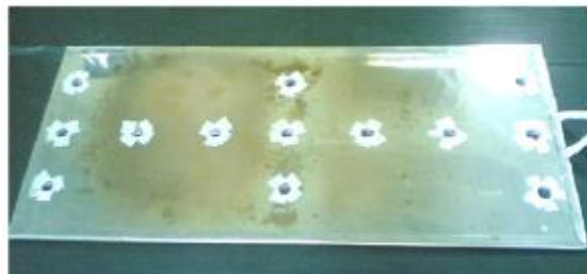
شکل ۲-۳: سیستم طراحی شده برای تست صفحه گرم دندانه دار

اندازه تمامی پارامترهای اشکال هندسی مطابق شکل زیر به نمایش در آمده است :

جدول ۲-۱: ابعاد هندسی کانال و صفحه دندانه دار

(a)	Duct width, (W)	180 mm
(b)	Duct height, (H)	9 mm
(c)	Aspect ratio, ($AR = W/H$)	20
(d)	Test section length, (L)	410 mm
(e)	Inlet section length	2000 mm
(f)	Outlet section length	1000 mm
(g)	Mixing section	400x400 mm
(h)	Rib height, (e)	3 mm
(i)	Rib thickness, (w)	3 mm
(j)	Groove depth, (d)	3 mm
(k)	Groove thickness, (t)	3 mm
(l)	Pitch of rib, (P)	20, 30 and 40 mm
(m)	Pitch ratio, ($PR = P/e$)	6.6, 10 and 13.3
(n)	Groove position, ($g = P/2$)	0.5

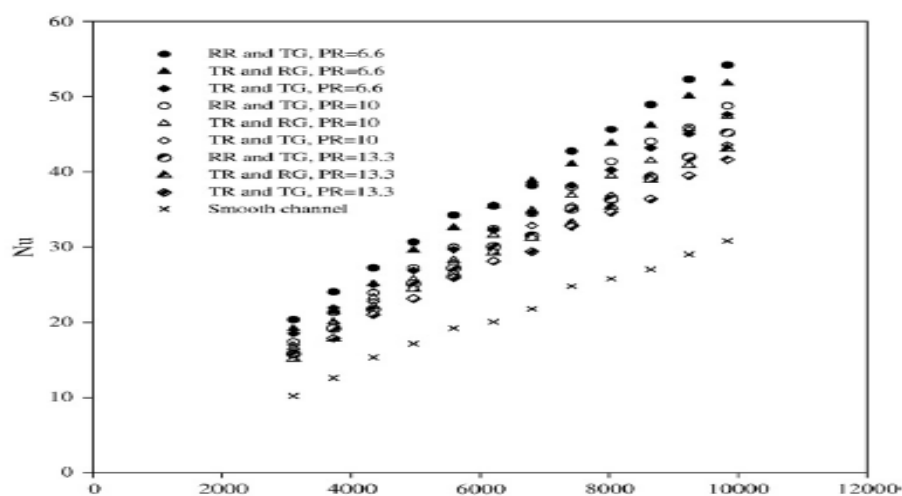
برای بدست آوردن دمای سطح صفحه گرم از ۱۳ عدد ترموکوپل روی صفحه جاذب متصل به صفحه دندانه‌دار اندازه‌گیری می‌شود که هر ترموکوپل ۴۰ میلی‌لیتر و از دیواره ۲ میلی‌متر فاصله دارد و برای اندازه‌گیری افت فشار در فاصله ۳۰ سانتی‌متری ورودی و خروجی کانال فشار سنج قرار گرفته است.



شکل ۲-۳۲: نحوه قرارگیری ترموکوپل‌های صفحه گرم دندانه‌دار برای اندازه‌گیری دمای سطح

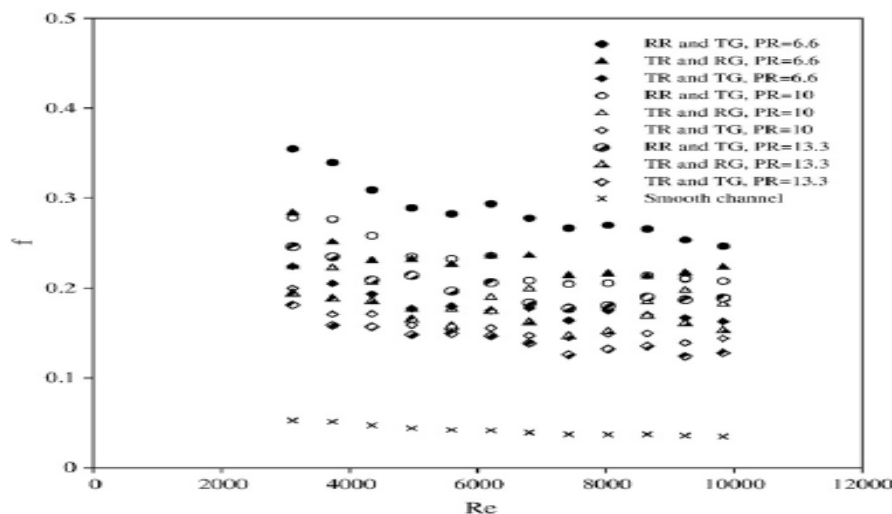
۱-۷-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:

شکل زیر ناسلت بر حسب شکل هندسی و عدد رینولدز به نمایش در آمده است :



شکل ۲-۳۳: نمودار ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی دندانه و شیپار

شکل زیر میزان ضریب اصطکاک را بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی بیان می کند



شکل ۲-۳۴: نمودار

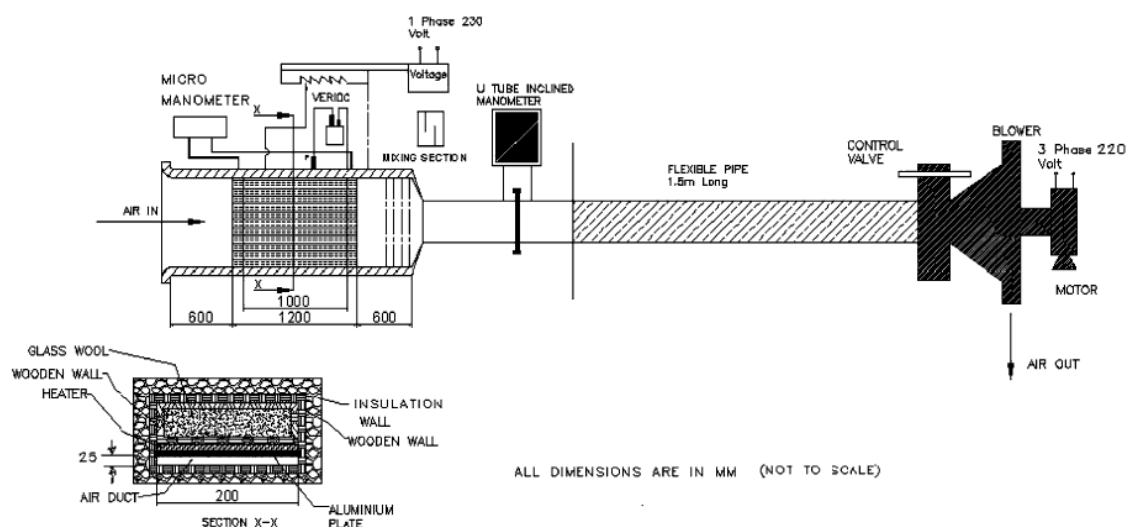
شکل

ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی دندانه و شیار

۲-۸- بررسی میزان انتقال حرارت و جریان سیال در کانال با زبری مصنوعی:

این کار تحقیقاتی انجام گرفته اثر Alock chaub Pawar – C.B Aharwal K.R. می باشد که مطابق شکل زیر است:

با دندانه کردن صفحه انتقال حرارت میزان انتقال حرارت را می توان ۱,۵ تا ۳ برابر و ضریب اصطکاک را ۲ تا ۳ برابر افزایش داد نتایج نشان داد که اگر مکان شیارها ۰,۶۵ عمق شیار را به گام شیار دارای حداکثر میزان انتقال حرارت را دارا می باشد در صفحات گرم علاوه بر دندانه داشتن شیار به دلیل افزایش اغتشاش

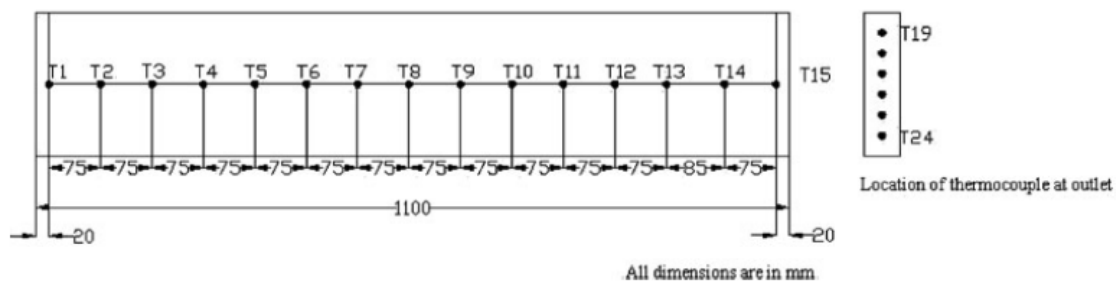


Heat transfer and fluid flow analysis of artificially roughened ducts having rib and groove roughness

سیال باعث افزایش میزان انتقال حرارت می‌شود سیستم های خورشیدی به دلیل پایین بودن سرعت و آرام بودن جریان سیال میزان انتقال حرارت پائینی را شامل می‌باشند و با ایجاد کردن دندانه و شیار روی صفحه و شیار روی صفحه باعث شکسته شدن مرز جریان آرام به جریان آشفته می‌شود شکل زیر نمایی از سیستم می‌باشد .

شکل ۲-۳۵: سیستم طراحی شده برای تست‌گیری صفحات گرم دندانه‌دار

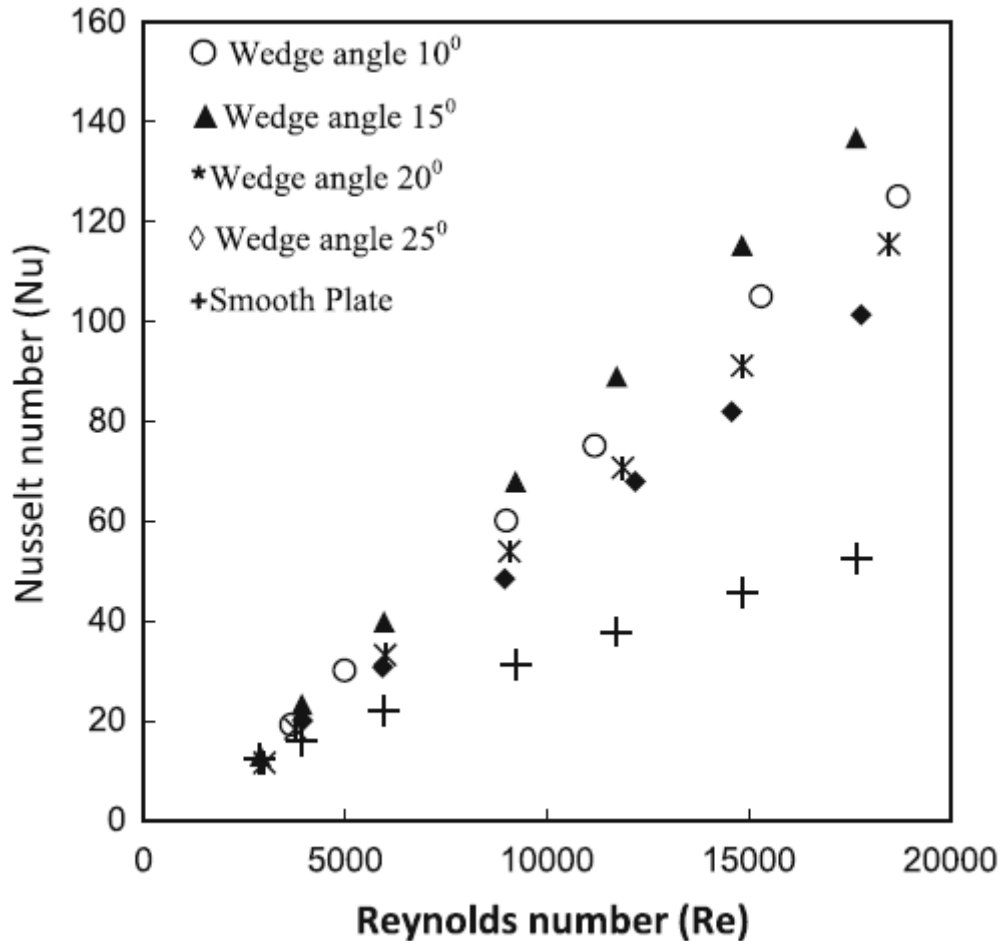
برای بدست آوردن طول همگرایی سیال برای جریان آشفته بر حسب استاندارد ASHRAE Standard 93-77 برای ورودی $\sqrt{(W * h)}$ * ۵ و برای خروجی $(W * h)^2$ * ۲.۵ می‌باشد ابعاد کانال ۲.۶ * ۰.۲، ۰.۲۲۵ * مترمکعب می‌باشد و پنل خارجی داکت از جنس چوب و دارای قسمت تستی به طول ۱.۲ متر می‌باشد. قدرت هیتر ۱۰۰۰ وات بر متر مربع می‌باشد و ۱۵ عدد ترموکوپل برای اندازه‌گیری دمای سطح صفحه گرم قرار داده شده است .



شکل ۲-۳۶: نحوه قرارگیری ترموکوپل‌ها برای اندازه‌گیری دمای سطح گرم صفحه دندانه‌دار

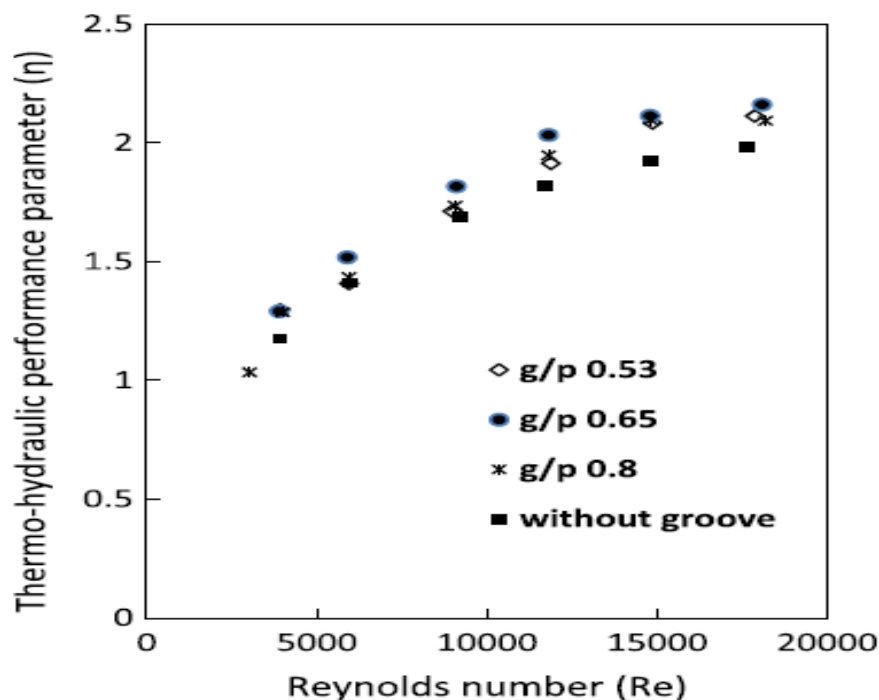
۱-۸-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب عملکرد سیستم:

شکل زیر میزان ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای انواع صفحه با زوایای مختلف می باشد.



شکل ۲-۳۷: میزان عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای انواع نحوه قرارگیری دندانه بر حسب اندازه زاویه حمله

نمودار شکل زیر میزان ضریب عملکرد سیستم بر حسب عدد رینولدز می باشد که برای نسبت عمق به گام ۰,۶۵ دارای حداکثری مقدار خود می باشد .

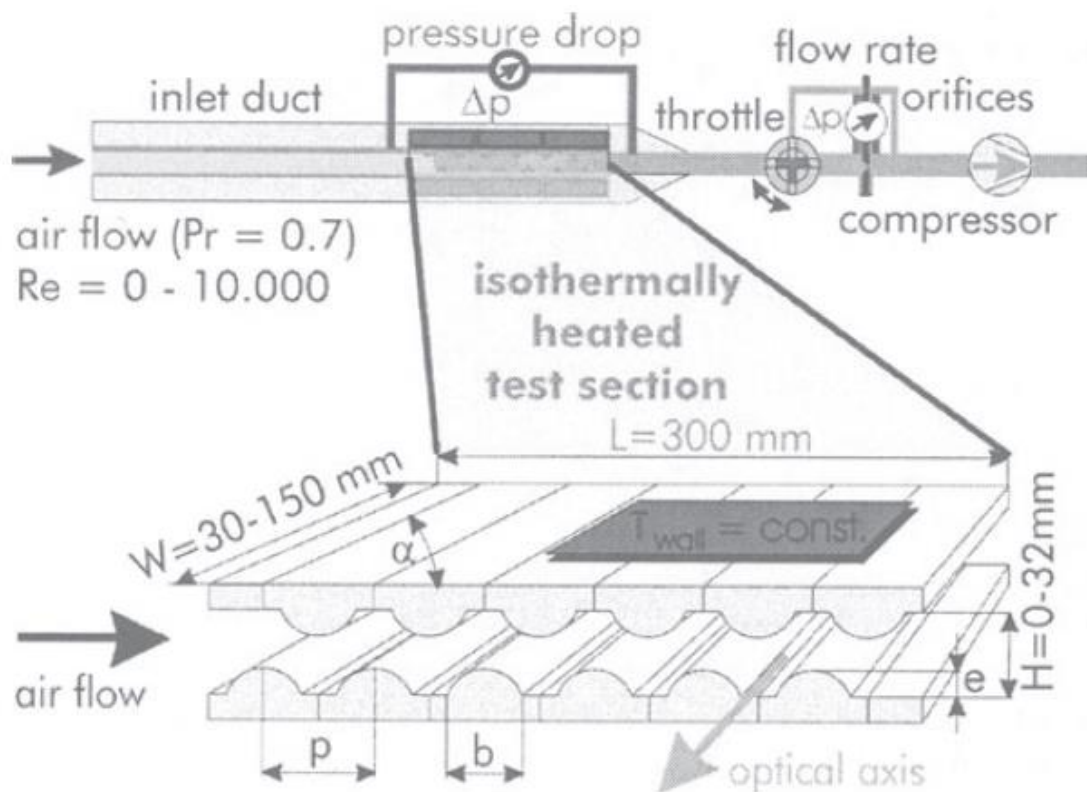


شکل ۲-۳۸: نمودار ضریب عملکرد حرارتی بر حسب عدد رینولدز برای انواع شیر برای صفحه دندانه شیردار

۹-۲- بررسی میزان افزایش انتقال حرارت در صفحات مبدل حرارتی با صفحه‌های زبر دندانه‌دار:

این بررسی اثر آقای MAYINGER و F. R. TAUSCHE می‌باشد که مطابق شکل زیر است :

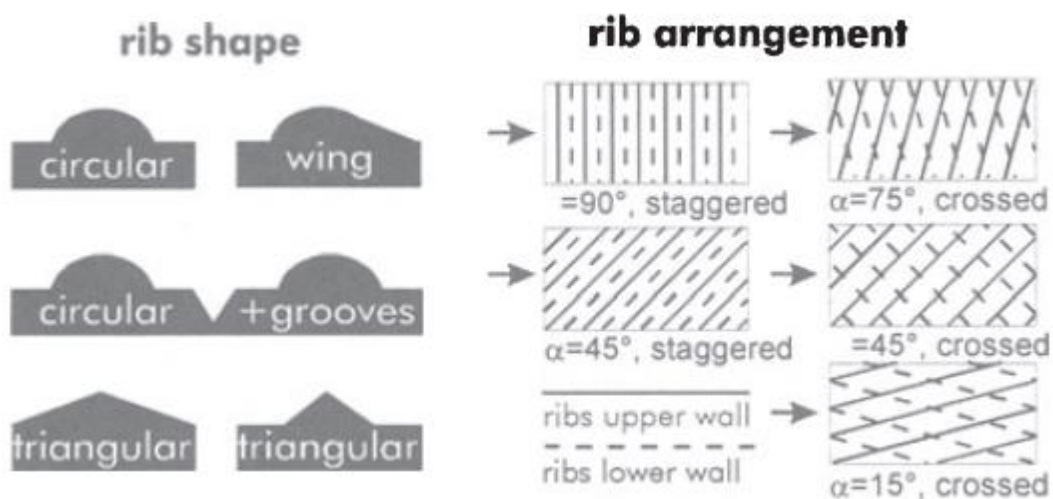
طول مورد بررسی از کانال ۰,۳ متر و عرض کانال ۳۰ الی ۱۵۰ میلی‌متر و ارتفاع کانال ۰ الی ۳۲ میلی‌متر و دمای سطوح بالا و پایین ۲۰ الی ۹۰ درجه سانتیگراد می‌باشد و برای انتقال حرارت به صفحات گرم بالا و پایین از محفظه آب گرم برای یکنواخت بودن شار حرارتی استفاده می‌شود برای عایق بودن و عدم انتقال حرارت به محیط پیرامون جنس کانال از شیشه می‌باشد و فرآیندی که رخ می‌دهد آدیاباتیک می‌باشد که برای سنجش دمای سطح از ترموکوپل و برای اندازه‌گیری سرعت سیال از مانومتر استفاده می‌شود.



شکل ۲-۳۹: سیستم مورد بررسی برای تست‌گیری صفحه گرم دندان‌دار

۱-۹-۲- اشکال هندسی صفحات دندان‌دار درون کانال:

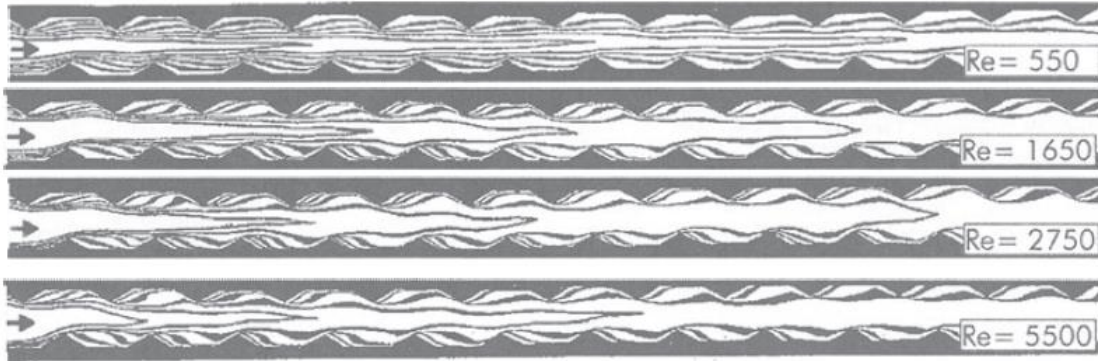
شکل زیر تمامی اشکال هندسی صفحات دندان‌دار را نشان می‌دهد



شکل ۲-۴۰: اشکال هندسی صفحات موج مورد آزمایش

۲-۹-۲- کانتور سیال درون کانال بر حسب سرعت سیال:

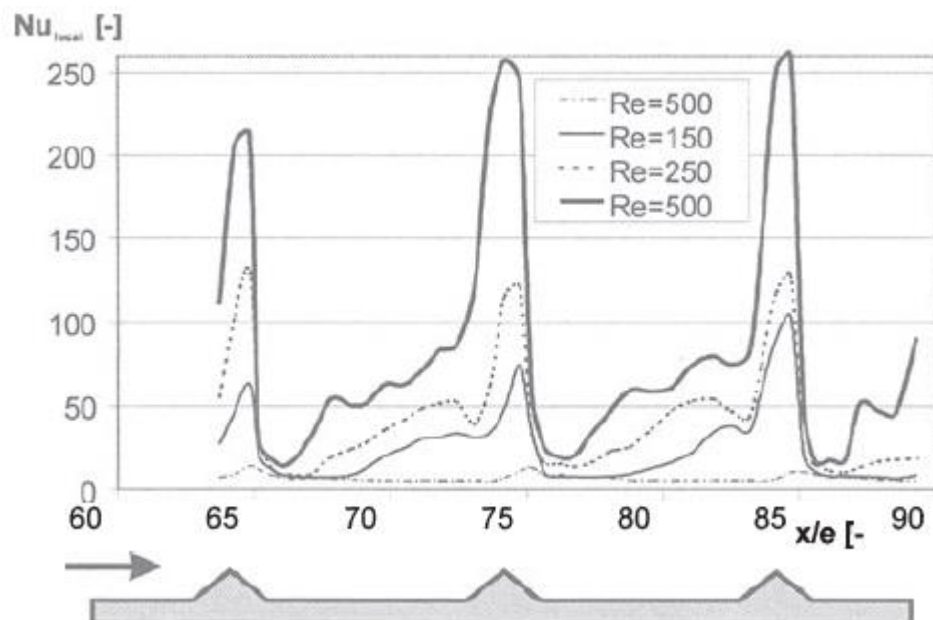
شکل زیر میزان مغشوش شدن سیال با توجه به سرعت سیال را نشان می‌دهد که هر چه سرعت سیال افزایش یابد زودتر سیال یکنواخت مغشوش می‌شود.



شکل ۲-۴۱: کانتور سرعت سیال برای رینولدزهای مختلف

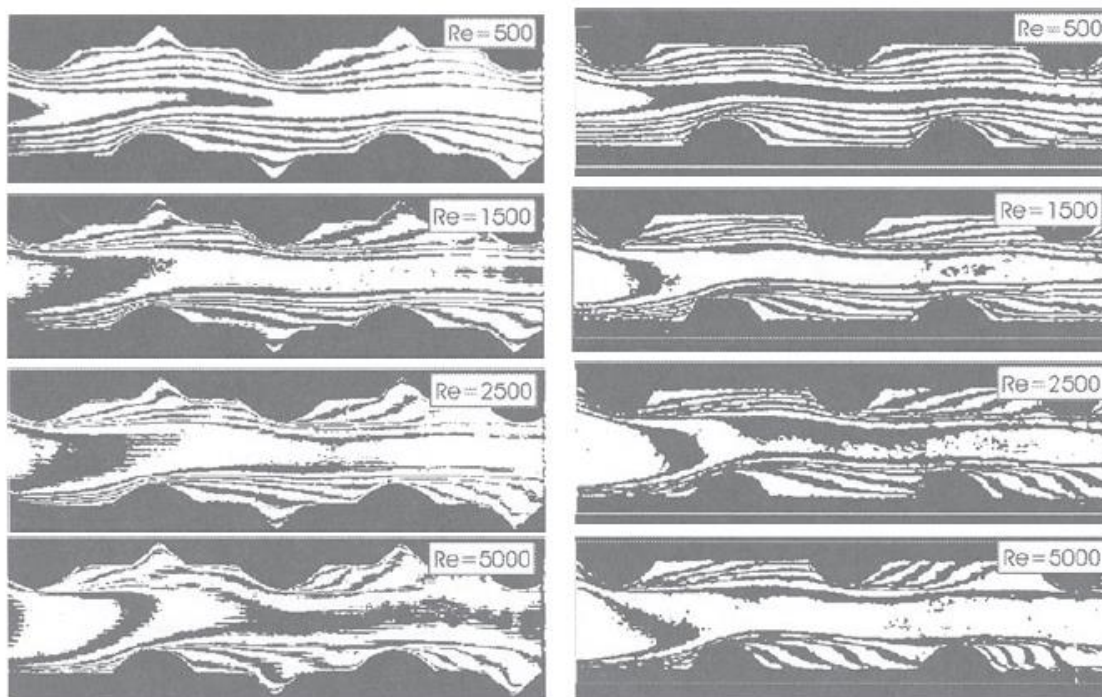
شکل زیر میزان عدد ناسلت را بر حسب جابه‌جایی روی صفحه دندانه‌دار برای سرعت‌های مختلف نشان می‌دهد که هر چه میزان سرعت سیال افزایش یابد مقدار عدد ناسلت و میزان انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

۲-۹-۳- بررسی میزان انتقال حرارت و سرعت سیال بر حسب فاصله روی صفحه گرم:



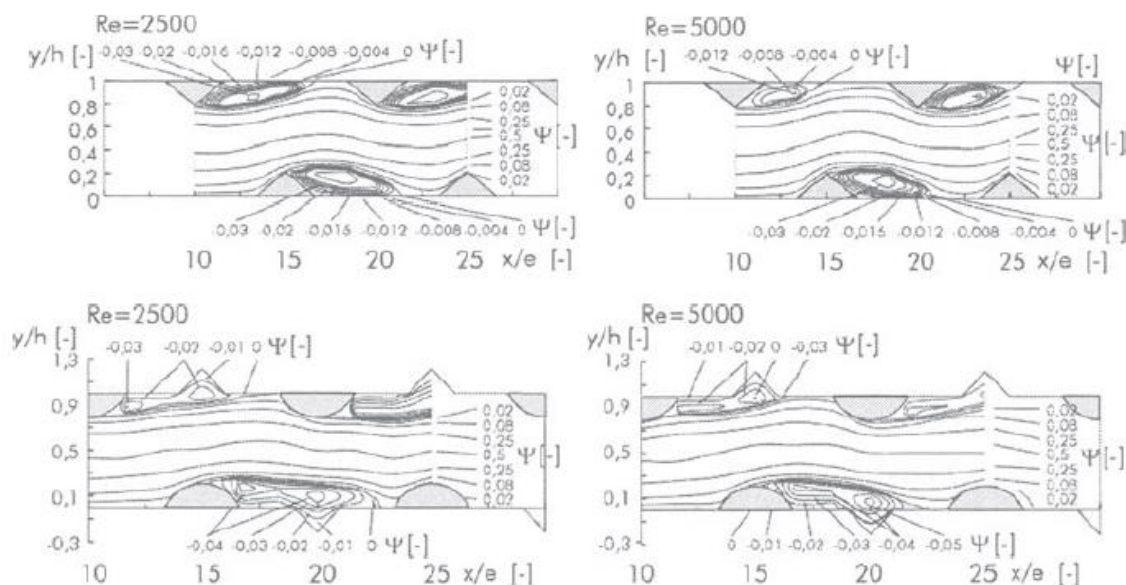
شکل ۲-۴۲: بررسی ناسلت بر روی صفحه موج بر حسب رینولدزهای مختلف

شکل زیر میزان وکتور سرعت را برای انواع شکل هندسی برای سرعت‌های متفاوت ترسیم شده است



شکل ۴۳-۲: وکتور سرعت سیال برای رینولدزهای مختلف

شکل زیر بردار سرعت سیال را برای سرعت‌های متفاوت برای اشکال هندسی متفاوت ترسیم شده است که هر چه میزان سرعت سیال افزایش یابد مقدار طول گردابه‌ای که در پشت دندان ایجاد می‌شود کم می‌شود و همین دلیل افزایش میزان انتقال حرارت می‌باشد زیرا وجود گردابه در سیال مانع انتقال حرارت می‌شود.

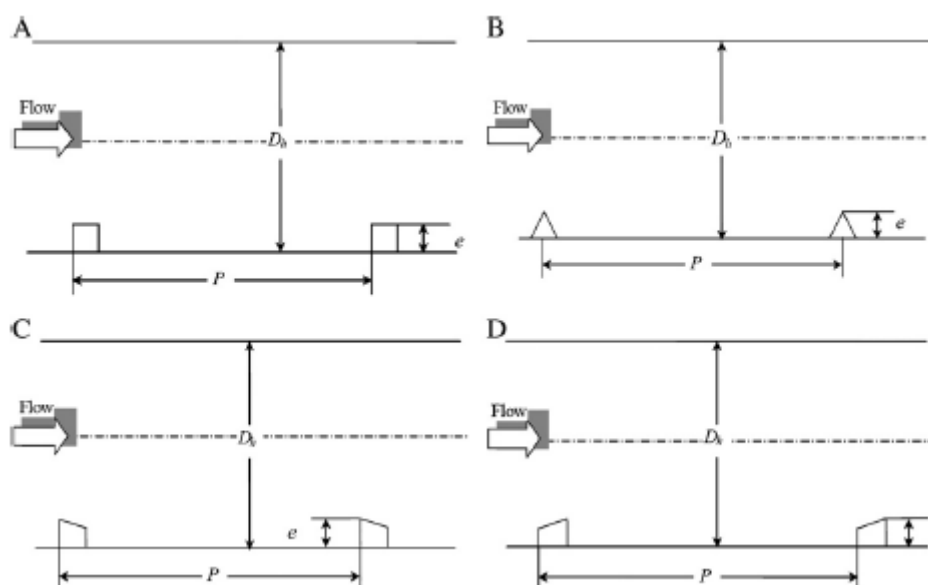


شکل ۴۴-۲: نحوه قرارگیری گردابه‌های به وجود آمده در پشت دندان‌های صفحه موج

۱۰-۲- اثر شکل دندانه بر میزان انتقال حرارت محلی و ضریب اصطکاک در کانال مستطیلی:

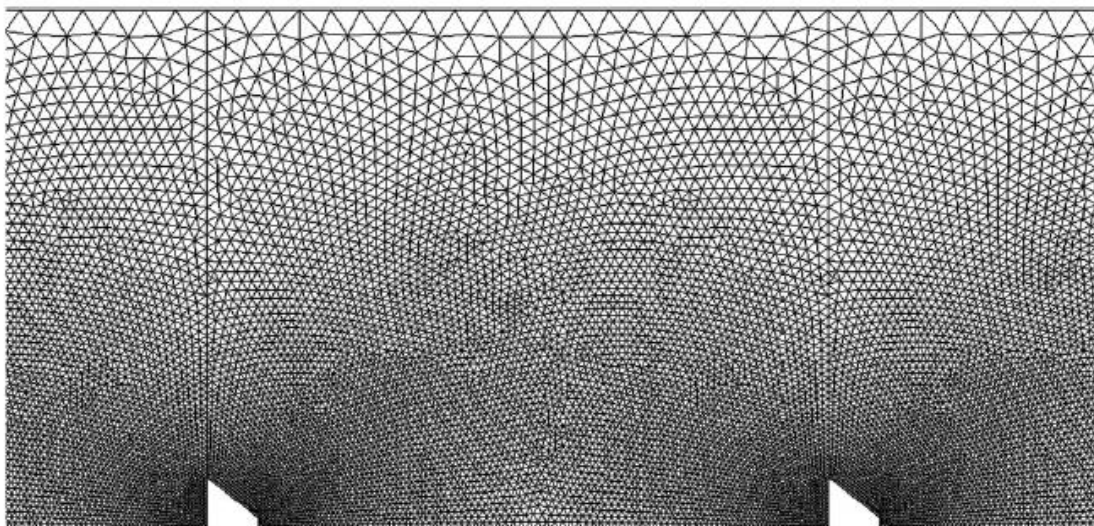
این کار تحقیقاتی اثر آقایان *A.R. Binesh* و *R.Kamali* می‌باشد که به این شرح است:

در این مقاله بررسی چهار نوع دندانه مثلثی و مربعی و دوزنقه‌ای با افزایش و کاهش ارتفاع بر میزان انتقال حرارت می‌باشد برای حل این مسئله از مدل *SST-Kw* استفاده شده است شکل زیر هندسه تمامی دندانه‌های به کار رفته نشان داده شده است.



شکل ۲-۴: انواع شکل هندسی دندانه مورد استفاده در آزمایش

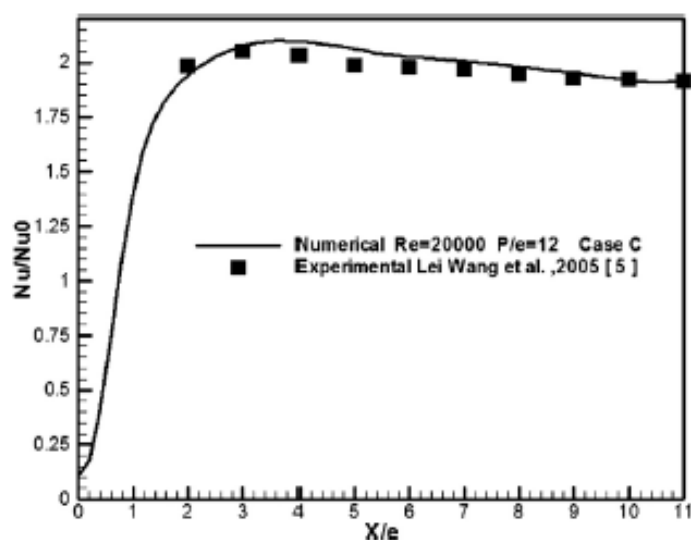
سیال مورد بررسی در این مسئله هوا می‌باشد و دمای هوای ورودی ۳۰۰ کلوین و صفحات بالایی ایزوله و صفحه پایینی دارای شار ثابت می‌باشد برای حل مسئله از روش سیمپل استفاده می‌کنیم برای حل مسئله هندسه مورد نظر را مش مثلثی می‌زنیم و با توجه به هندسه‌ای که وجود دارد نمی‌توان از مش‌بندی مربعی استفاده کرد.



شکل ۲-۴۶: شبکه مش بندی سیستم مورد بررسی در کنار دندانه های صفحه موج

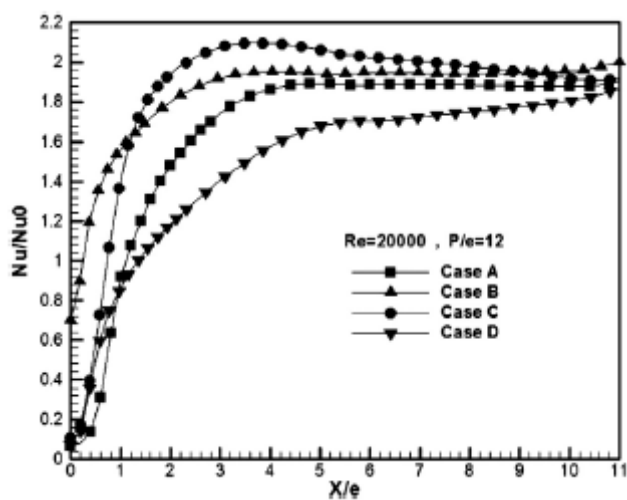
۱-۱۰-۲- اعتبار سنجی میزان عدد ناسلت برای حل عددی و آزمایشگاهی:

نمودار زیر اختلاف میان مقادیر تجربی و آزمایشگاهی ناسلت به ناسلت صاف نسبت به جابه جایی می باشد که با توجه به همگرایی خوب مسئله خطا به مقدار پایینی می باشد.



شکل ۲-۴۷: اعتبار سنجی ناسلت به ناسلت صاف برای حل عددی و آزمایشگاهی

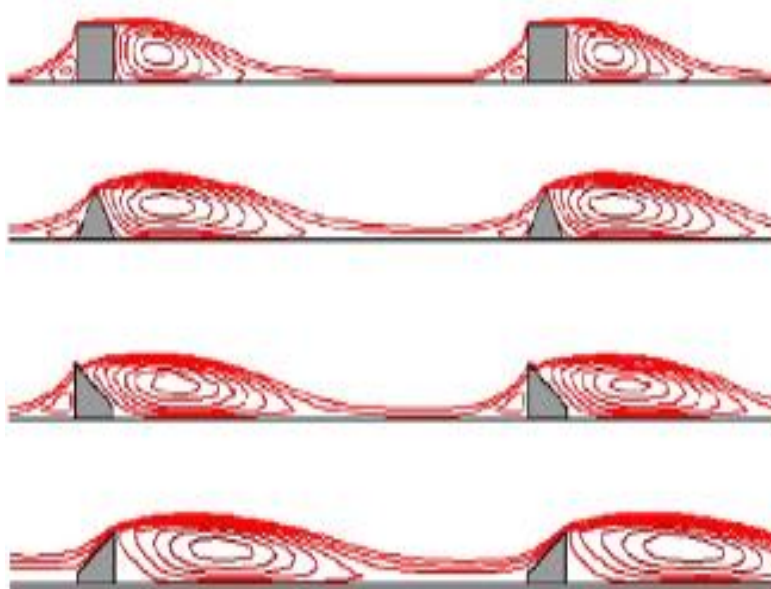
شکل زیر ناسلت به ناسلت صاف را بر حسب جابه‌جایی برای انواع اشکال هندسی ترسیم شده است.



شکل ۲-۴۸: بررسی کیفیت ناسلت به ناسلت صاف برای انواع شکل هندسی صفحه مواج

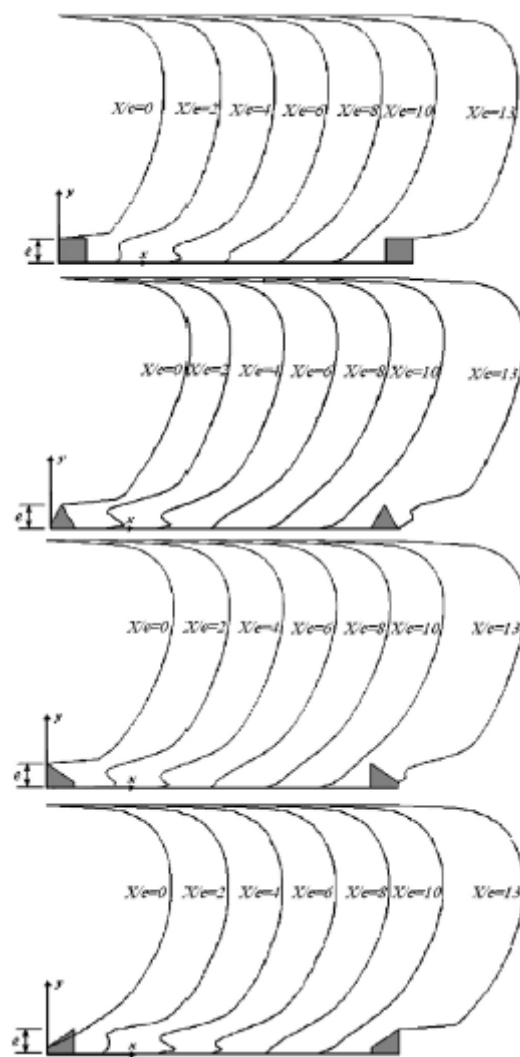
۲-۱۰-۲- بررسی کانتور سرعت و جابه‌جایی سیال درون کانال با صفحات دندانه‌دار:

اشکال زیر جهت‌گیری و جابه‌جایی سیال را هنگام برخورد با دندانه‌های صفحه را نشان می‌دهد



شکل ۲-۴۹: کانتور سرعت و جابه‌جایی سیال در مجاورت دندانه‌های صفحه مواج

شکل زیر سرعت میانگین سیال را حول دندانه صفحه گرم نشان داده شده است



شکل ۲-۵۰: وکتور سرعت سیال در مجاورت دندانه‌های صفحه موج

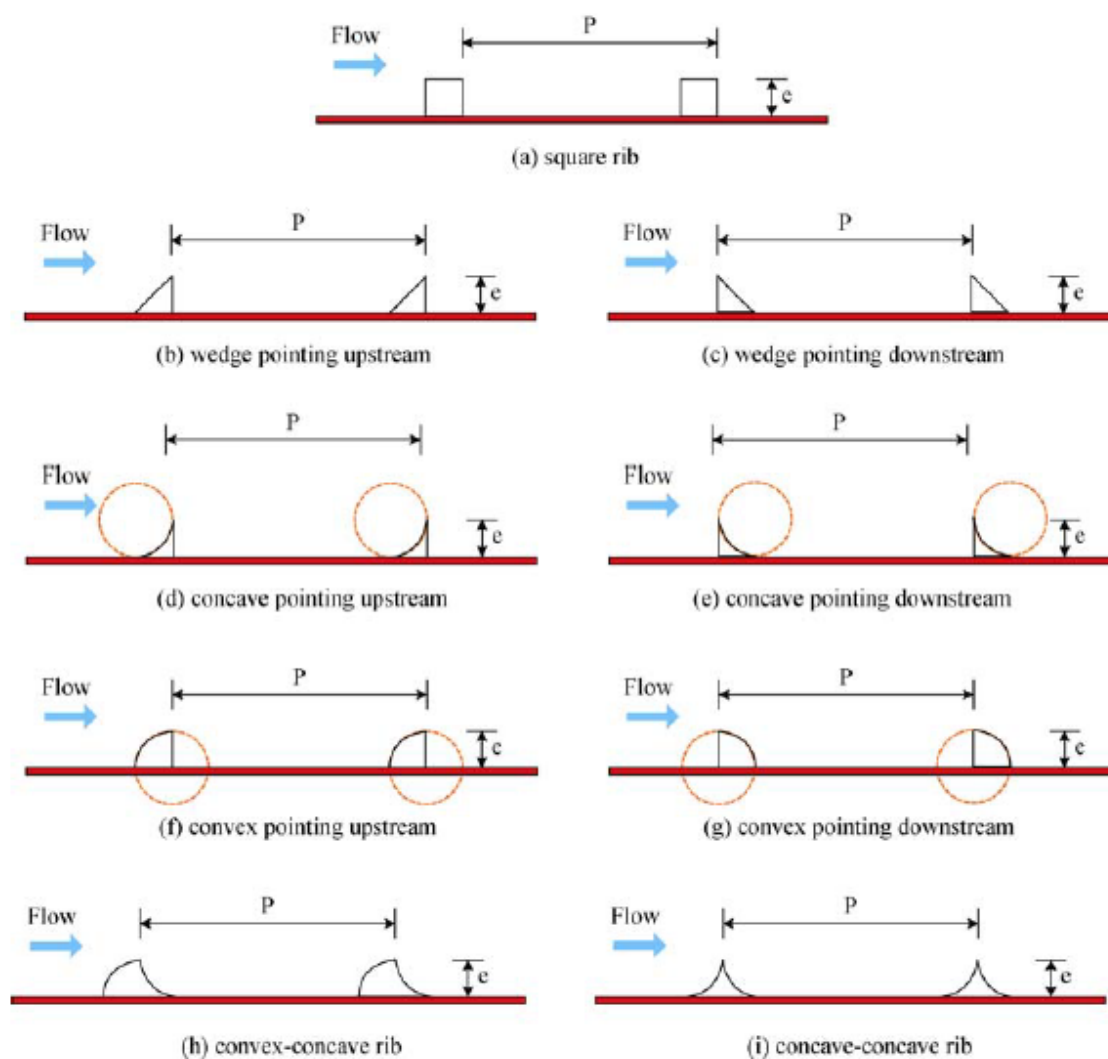
۱۱-۲- بررسی انتقال حرارت سیال مغشوش در کانال با دندانه های داخلی :

این کار تحقیقاتی اثر آقایان Wayo Changcharoen و Smith Eiamsa-ard می‌باشد که مطابق زیر می‌باشد: این آزمایش برای هفت نوع صفحه می‌باشد در این مقالات صفحه با محدب و مقعر متوالی باعث کمترین ضریب اصطکاک و ناسلت می‌شود برای افزایش میزان انتقال حرارت باید تا جایی که امکان دارد جدایش سیال را کاهش دهیم سیال مغشوش تر شود و پدیده جایگزین سیال به صفه گرم را افزایش دهیم در این راستا ارتفاع دندانه، گام عدد رینولدز، زاویه پخ دندانه بسیار مهم می‌باشد در تمامی کارهای تحقیقاتی

حداکثر میزان انتقال حرارت زمانی رخ می‌دهد که سیال به صفحه گرم بازمی‌گردد. تمامی صفحات آدیاباتیک می‌باشد و هوای ورودی دارای دمای ۳۰۰ کلوین می‌باشد

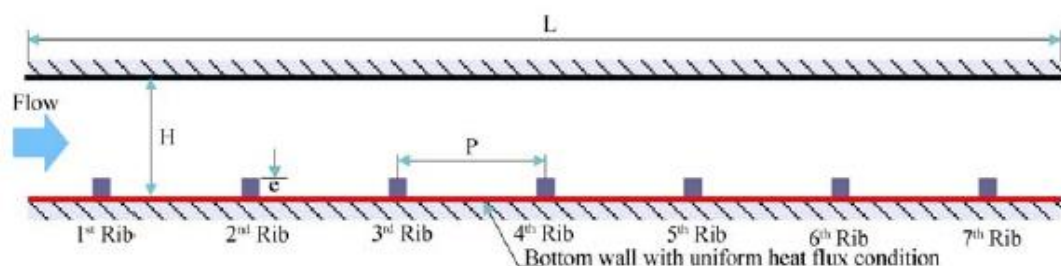
۱-۱۱-۲- شکل هندسی دندان‌های درون صفحات موج:

شکل زیر اشکال هندسی تمامی دندان‌ها را نشان می‌دهد



شکل ۲-۵۱: شکل هندسی صفحات موج دارای دندان

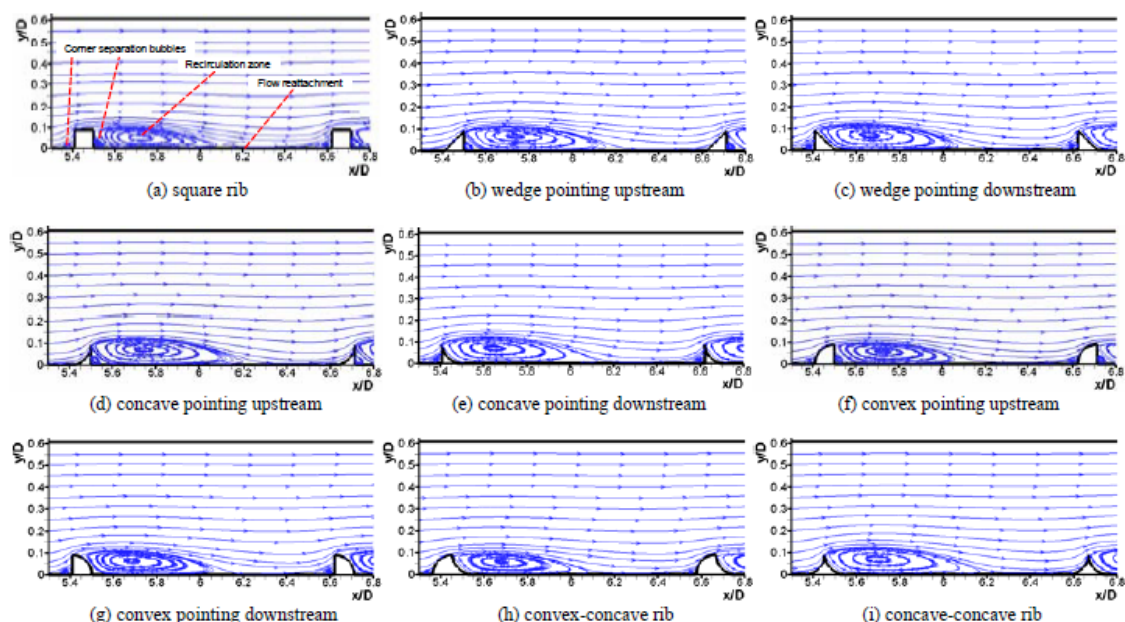
شکل زیر کانال سیستم مورد بررسی سیستم و نحوه قرارگیری دندانه را نسبت به هم نشان می‌دهد



شکل ۲-۵۲: شکل هندسی کانال مورد بررسی دارای صفحات دندانه‌دار

۲-۱۱-۲- بررسی کانتور جابه‌جایی سیال درون کانال با صفحات دندانه‌دار:

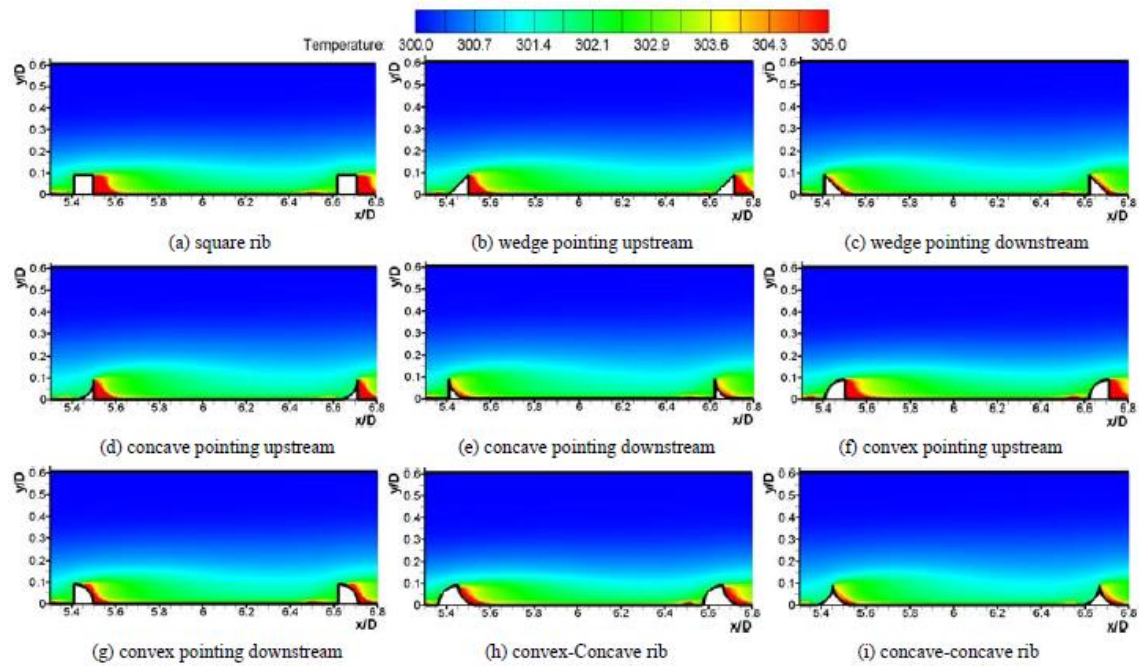
شکل زیر کانتور جابه‌جایی سیال را در مجاورت دندانه‌های صفحه گرم را نشان می‌دهد:



شکل ۲-۵۳: کانتور جابه‌جایی سیال در مجاورت دندانه

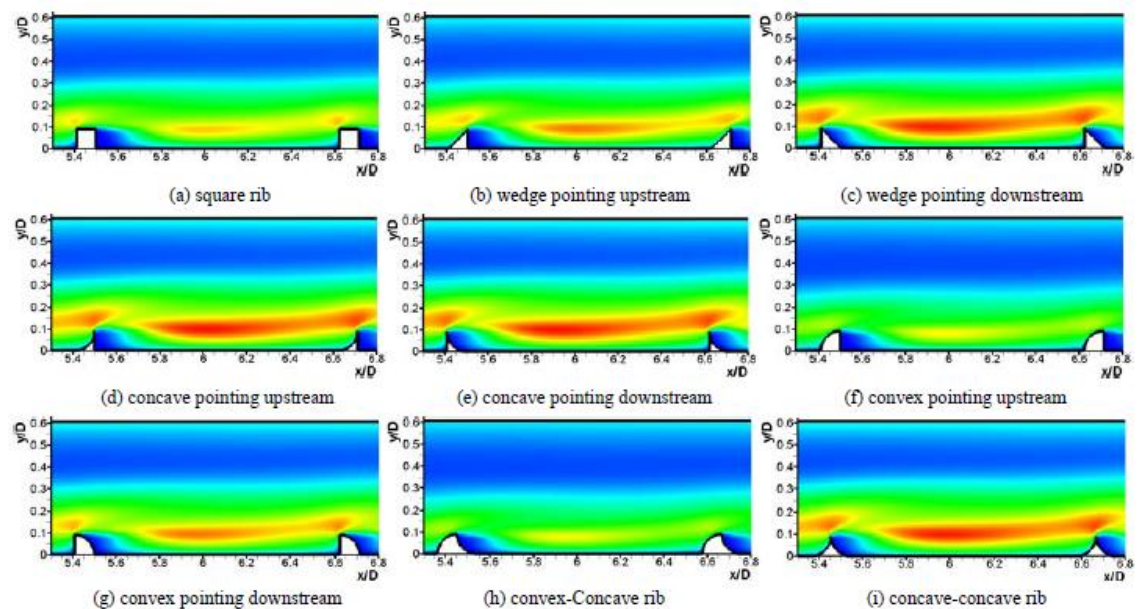
۲-۱۱-۳- بررسی میزان انتقال حرارت و انرژی جنبشی:

شکل زیر کانتور دمایی سیال را برای انواع دندانه‌های صفحه گرم نشان داده شده است که در دندانه‌های مقعر دارای دمایی پایین و بهینه بودن میزان شار حرارتی می‌باشد و در سطوح محدب جدایش افزایش می‌یابد و دمایی سطوح افزایش می‌یابد و میزان شار حرارتی به دلیل افزایش مقاومت حرارتی کاهش می‌یابد.



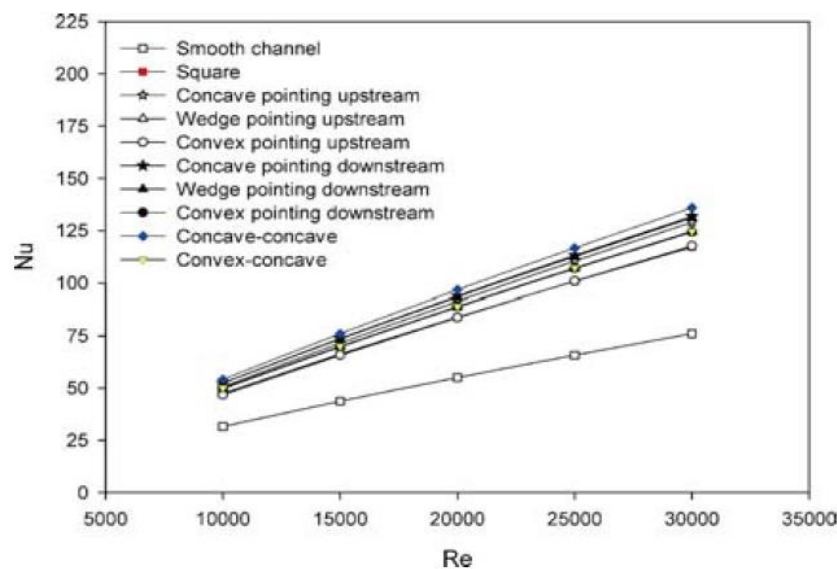
شکل ۴-۵: کانتور دمای سطح گرم دندانه‌ها

شکل زیر میزان کانتور انرژی جنبشی نشان داده شده است که برای صفحات محدب پایین و برای صفحات مقعر بالا می‌باشد



شکل ۴-۵: کانتور انرژی جنبشی سیال

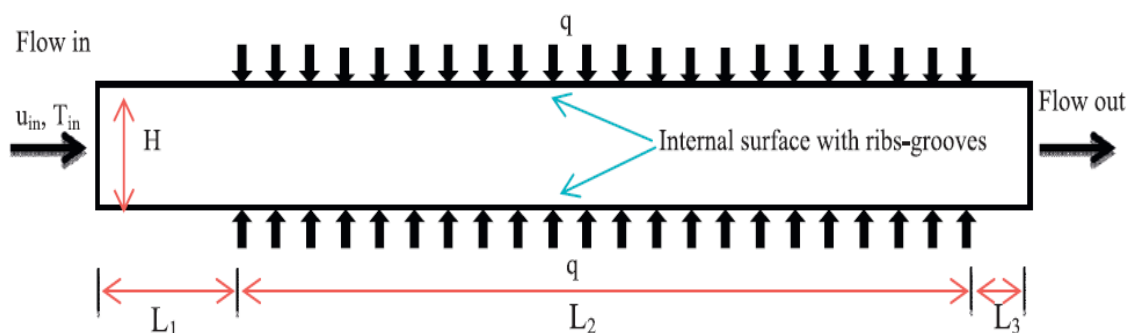
شکل زیر نمودار ناسلت متوسط بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی دندانه صفکه گرم می‌باشد و دلیل متفاوت بودن مقدار ناسلت متوسط برای انواع شکل هندسی کم یا زیاد بودن مقدار گردابه‌ای که ایجاد شده می‌باشد.



شکل ۲-۵۶: بررسی میزان عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی

۲-۱۲ بررسی میزان افزایش انتقال حرارت در کانال با دندانه و شیار دوزنقه‌ای:

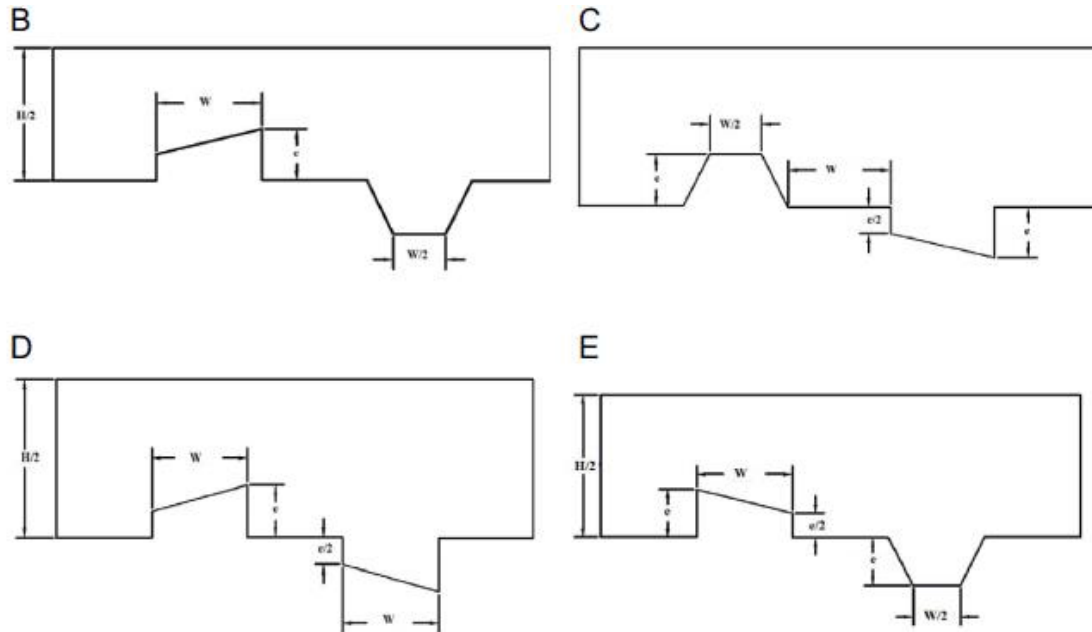
این تحقیق اثر آقای ALI Najah Al-Shamani و همکاران می‌باشد که مطابق زیر است: در این مقاله تاثیر شکل دوزنقه‌ای شکل بر شار حرارتی بررسی شده است با کاهش ارتفاع دندانه‌های دوزنقه‌ای میزان شار حرارتی و افت فشار افزایش می‌یابد، میزان انتقال حرارت برای دوزنقه‌ای تا ۵۸ درصد، دایره‌ای ۶۳ درصد، برای شیار و دندانه مستطیلی ۴۷ درصد افزایش میزان انتقال حرارت را داریم کانال مورد بررسی تحت شار ثابت و دارای دندانه مطابق شکل زیر می‌باشد:



شکل ۲-۵۷: شکل هندسی کانال بررسی صفحات گرم

۱-۱۲-۲- شکل هندسی تمامی صفحات دنداندار:

شکل زیر تمامی اشکال هندسی صفحات دنداندار را نشان می‌دهد.

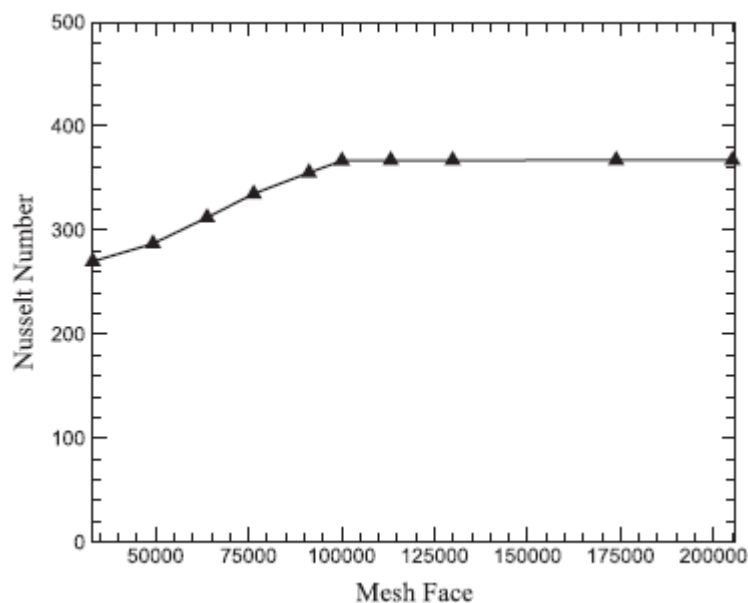


شکل ۲-۵۸: انواع شکل هندسی صفحات گرم موج

مشخصات کانال: عرض کانال و صفحه شیاردار ۲۰ میلی‌متر و طول کانال ۶۰ میلی‌متر و ارتفاع شیار موجود روی صفحه‌ها ۱۰ میلی‌متر می‌باشد و میزان شار حرارتی ثابت روی دیواره بالا و پایین به مقدار ۱۰۰۰۰ وات بر متر مربع اعمال می‌شود.

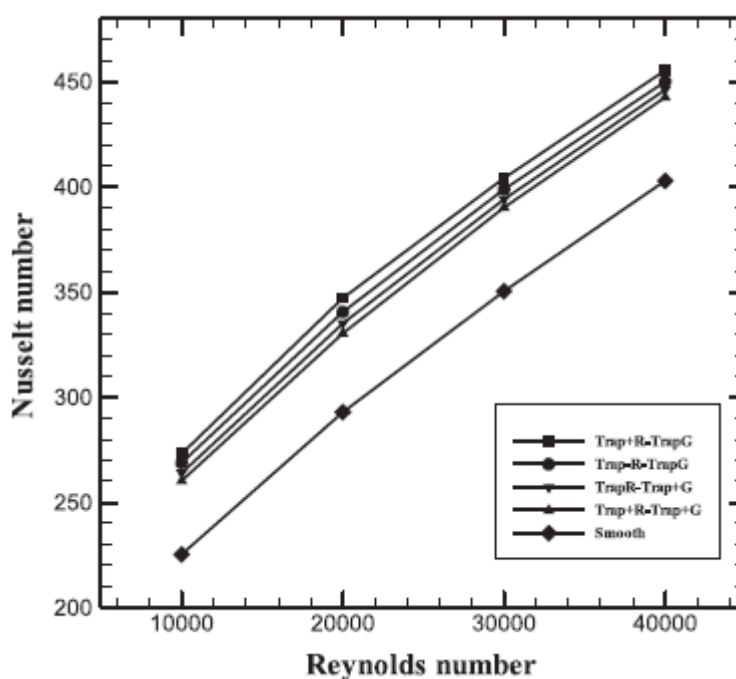
۲-۱۲-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و سرعت برای تمام اشکال هندسی:

شکل زیر اعتبار سنجی عدد ناسلت بر حسب مش هندسه مورد نظر می‌باشد هر چه میزان مش هندسه بیشتر باشد مدت زمان حل مسئله افزایش می‌یابد و هر چه مقدار مش مورد نظر به ۱۰۰۰۰ نزدیک باشد مسئله زودتر حل شده و نتایجی شبیه به نتایج با هندسه مش بیشتر می‌باشد



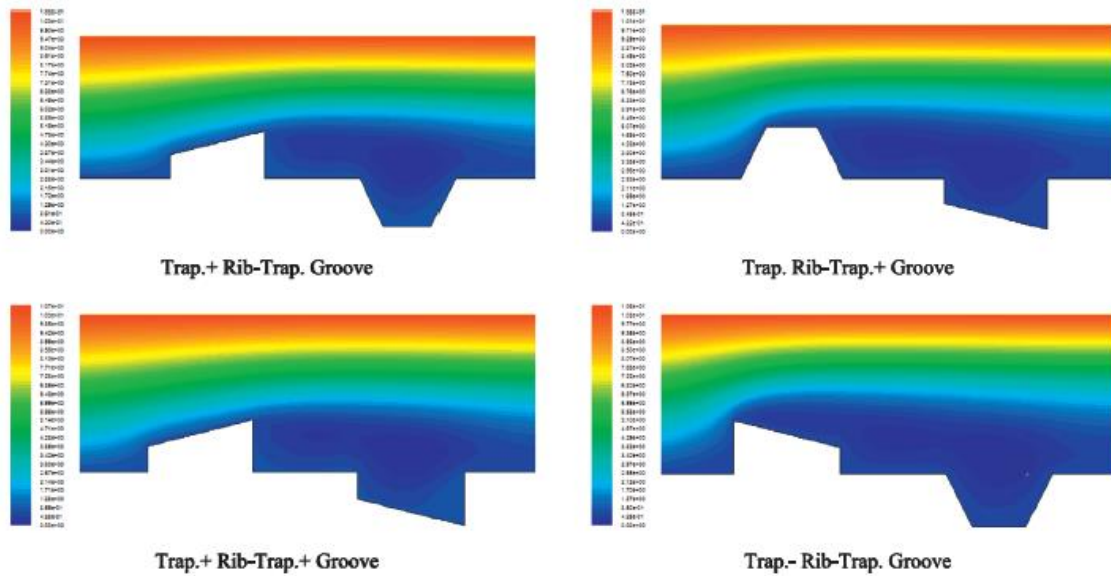
شکل ۲-۵۹: اعتبار سنجی حل مسئله با افزایش شبکه بندی شکل هندسی

نمودار شکل زیر عدد ناسلت را بر حسب مقدار رینولدز برای انواع شکل هندسی نشان می دهد که میزان انتقال حرارت هندسه بخش اول > بخش چهارم > بخش دوم > بخش سوم می باشد. با توجه به شکل زیر میزان انتقال حرارت بخش اول ۲۳ و ۱ برابر صفحه صاف می باشد.



شکل ۲-۶۰: بررسی میزان عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز

شکل زیر کانتور سرعت سیال در مجاورت دندانه‌های صفحه را نشان می‌دهد

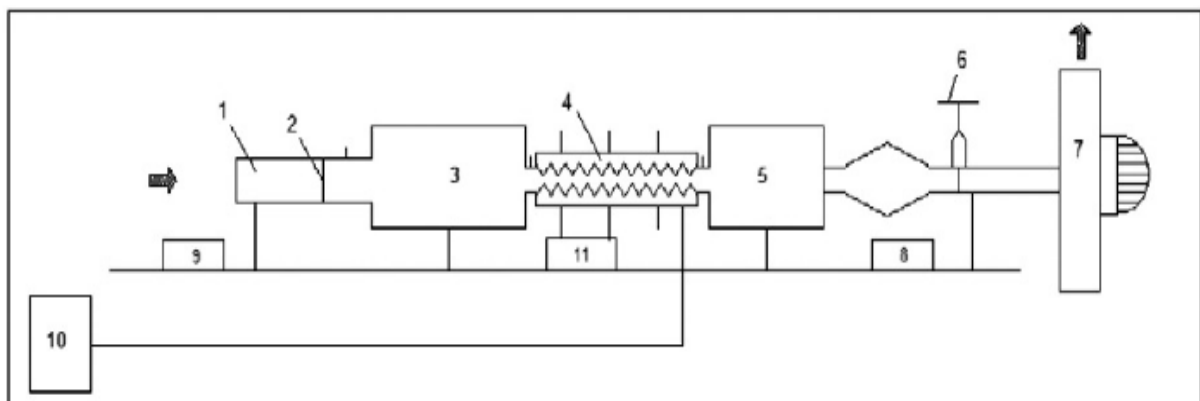


شکل ۲-۶۱: بررسی کانتور سرعت سیال در مجاورت صفحات گرم موج

۱۳-۲- مطالعه انتقال حرارت جابه‌جایی در کانال با برآمدگی‌های مختلف:

تحقیق مورد بررسی اثر آقای *I.Taymaz* و همکاران می‌باشد که مطابق زیر می‌باشد:

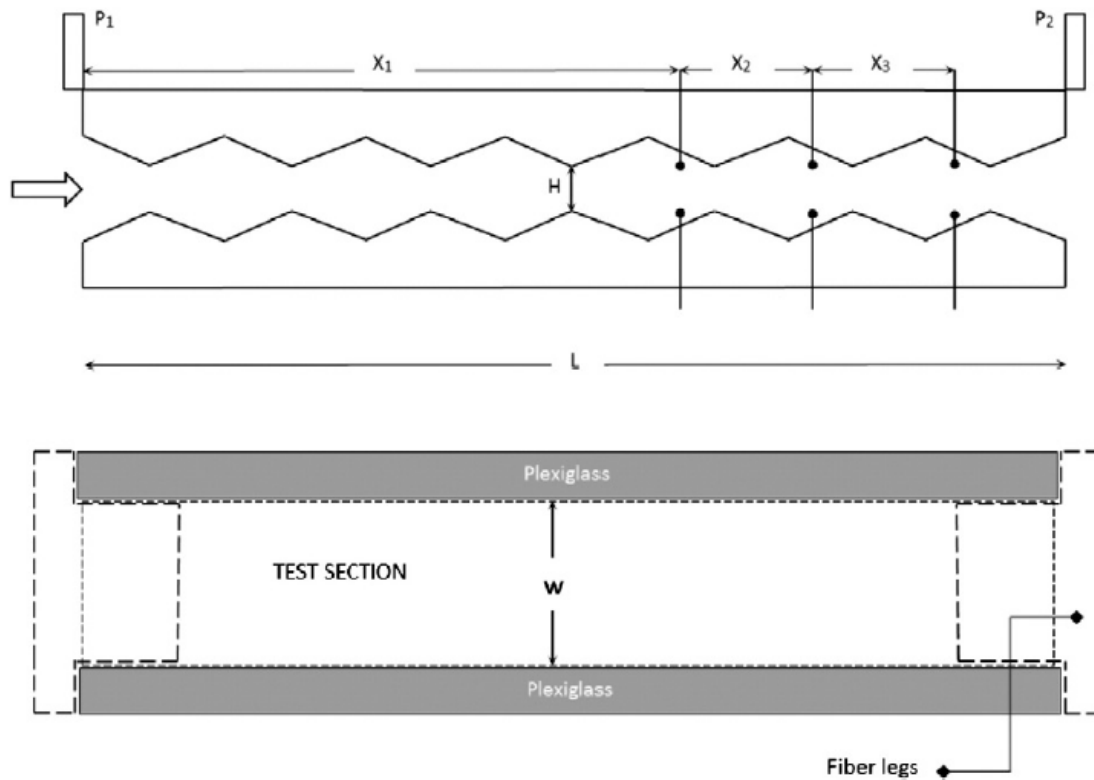
شار حرارتی وارد به صفحه موج برابر ۶۱۶ وات بر مترمربع بر صفحه بالا و پایین وارد می‌شود و ابعاد مورد تست ۵۰*۲۷۸*۱۰ میلی‌متر می‌باشد و شکل کانال مورد بررسی مطابق شکل زیر می‌باشد برای جلوگیری از تلفات انرژی سطح مقطع هیتر با سطح مقطع صفحه موج برابر می‌باشد.



شکل ۲-۶۲: شکل هندسی سیستم مورد بررسی

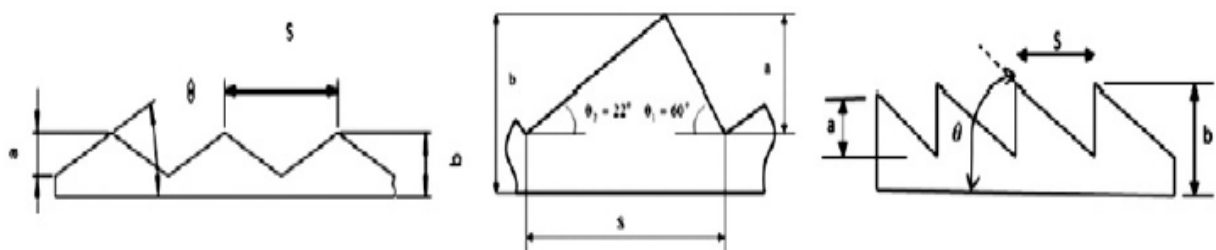
۱-۱۳-۲- شکل هندسی کانال و صفحات موج:

شکل کانال مورد بررسی مطابق زیر می باشد :



شکل ۲-۶۳: شکل هندسی صفحات موج و کانال مورد بررسی

شکل زیر هندسه صفحه های موج را نشان می دهد :



شکل ۲-۶۴: شکل هندسی تمامی دندانه های صفحات گرم تحت زاویه

ابعاد هندسه‌های مورد نظر مطابق جدول زیر می‌باشد .

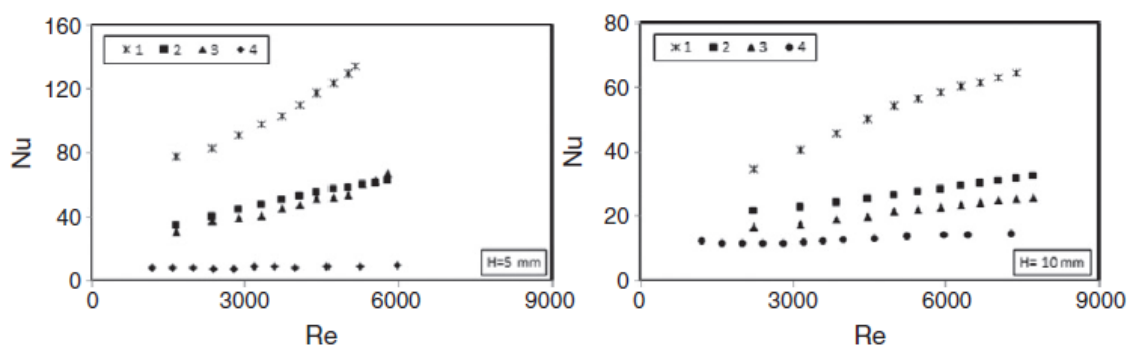
جدول ۲-۲: ابعاد مورد بررسی صفحات دندانه‌دار

Geometric configuration of corrugated walls (unit mm).

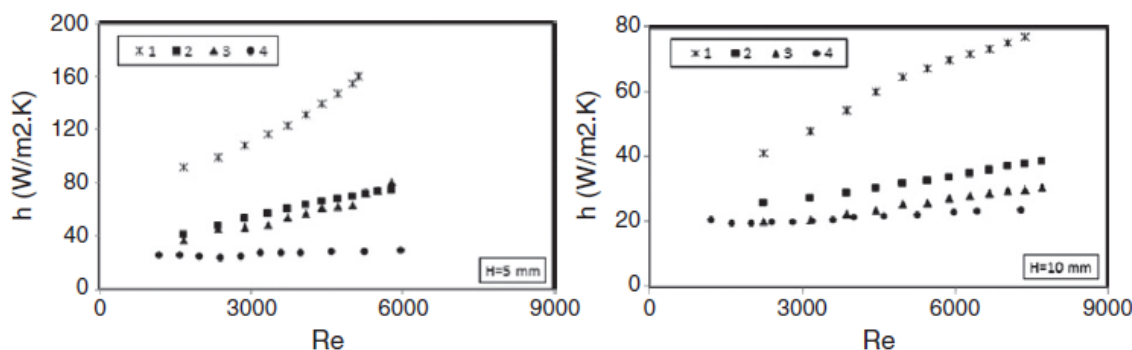
f	θ	S	a	b
1	50	10	5	7.5
2	22/60	15	5	7.5
3	27	10	5	7.5
4	0	17.32	5	5

۲-۱۳-۲ بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب جابه‌جایی:

شکل زیر مقادیر عدد ناسلت و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بر حسب عدد رینولدز برای چهار نوع صفحه ترسیم شده است هر چه فاصله میزان صفحات گرم کاهش یابد به دلیل افزایش سرعت و ثابت بودن دبی سیال مقدار ناسلت و ضریب جابه‌جایی آزاد افزایش می‌یابد همچنین به دلیل افزایش دبی سیال (افزایش عدد رینولدز) مقدار انتقال حرارت منتقل شده افزایش می‌یابد و نمودار شار حرارتی مطابق اشکال زیر سیر صعودی دارد



شکل ۲-۶۵: بررسی میزان ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی برای انواع فاصله بین صفحات

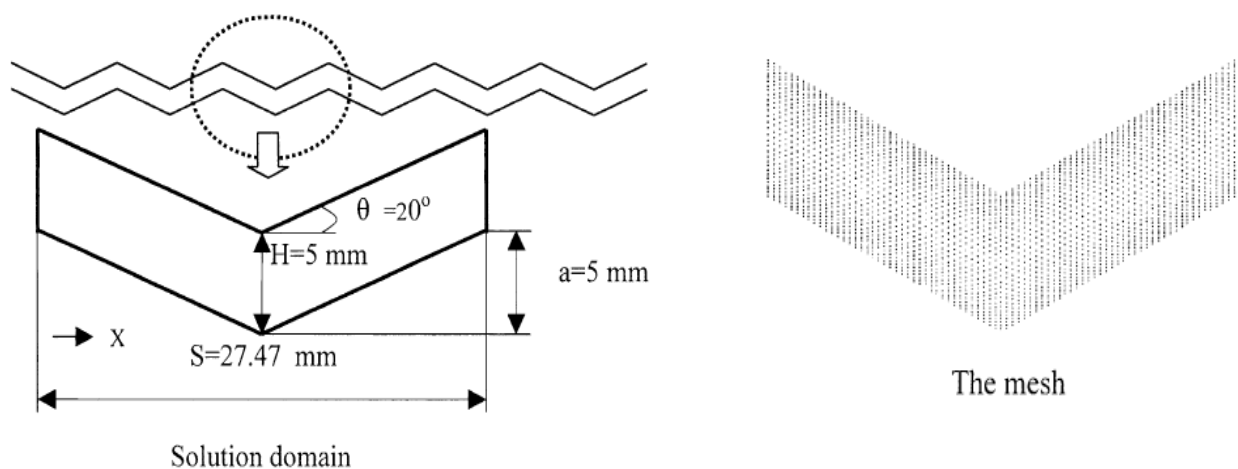


شکل ۲-۶۶: بررسی میزان ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی عدد رینولدز برای انواع شکل هندس برای انواع فاصله بین صفحات

طبق نمودارهای زیر هر چه زاویه حمله سیال افزایش یابد مقدار ناسلت و ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی افزایش می‌یابد

۱۴-۲- بررسی عددی انتقال حرارت جابه‌جایی و افت فشار در کانال مبدل حرارتی با صفحات مورب:

این بررسی اثر آقای *Yasar Isamoglu*^۱ و همکاران می‌باشد که مطابق زیر است: در مسئله زاویه شکل هندسی ثابت ۲۰ درجه می‌باشد سرعت ورودی یکنواخت می‌باشد و شرط عدم لغزش روی دیواره‌ها وجود دارد و سیال تراکم ناپذیری می‌باشد شکل زیر شماتیکی از هندسه می‌باشد.

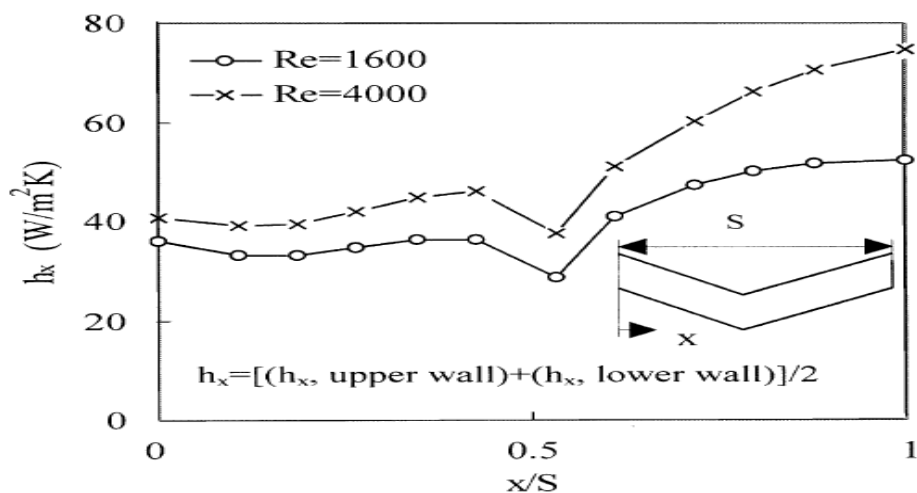


شکل ۲-۶۷: هندسه صفحات موج و مش مورد بررسی

۱-۱۴-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار:

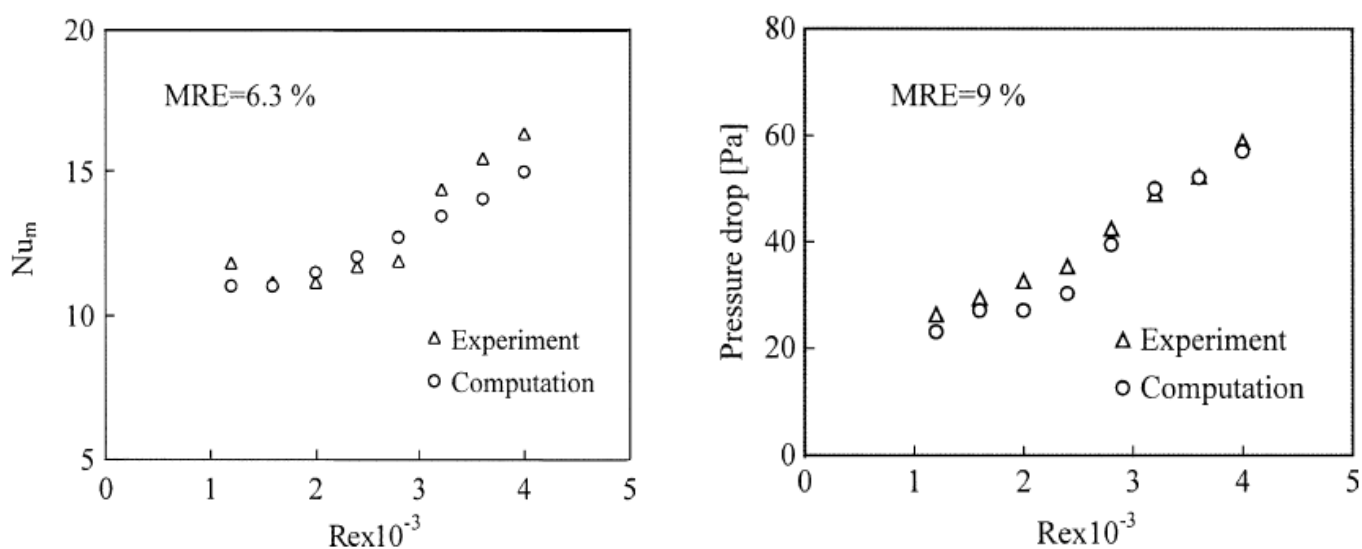
شکل زیر مقدار ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی می‌باشد که مقدار مینیمم نمودار برای جدایش سیال می‌باشد و حداکثر مقدار برای بازگشت سیال به دیواره می‌باشد

^۱ Numerical investigation of convective heat transfer and pressure drop in a corrugated heat exchanger channel



شکل ۲-۶۸: بررسی میزان ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بر حسب عدد رینولدز و جابه‌جایی سیال روی صفحات موج

شکل زیر میزان اختلاف ناسلت و افت فشار بر حسب عدد رینولدز برای حل عددی و نتایج آزمایشگاهی می‌باشد.

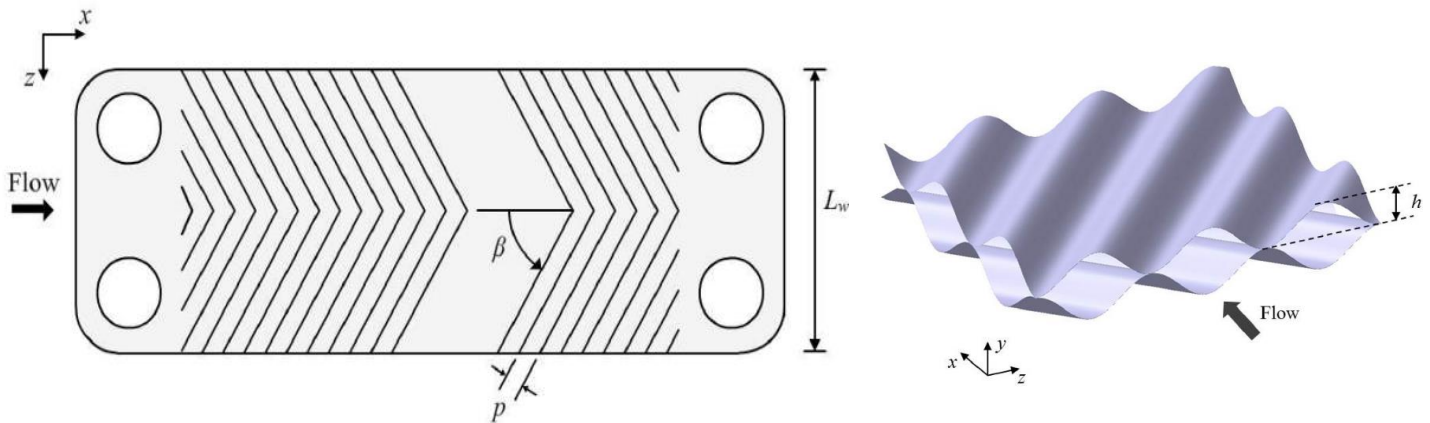


شکل ۲-۶۹: اعتبار سنجی عدد ناسلت و افت فشار بر حسب عدد رینولدز

۱۵-۲- بررسی سیال و عملکرد حرارتی در صفحه‌های موج در مبدل‌های حرارتی با افزایش زاویه حمل سیال:

این کار تحقیقاتی اثر آقای *Jonghyeok Lee*^۱ و همکاران می‌باشد که مطابق زیر است:

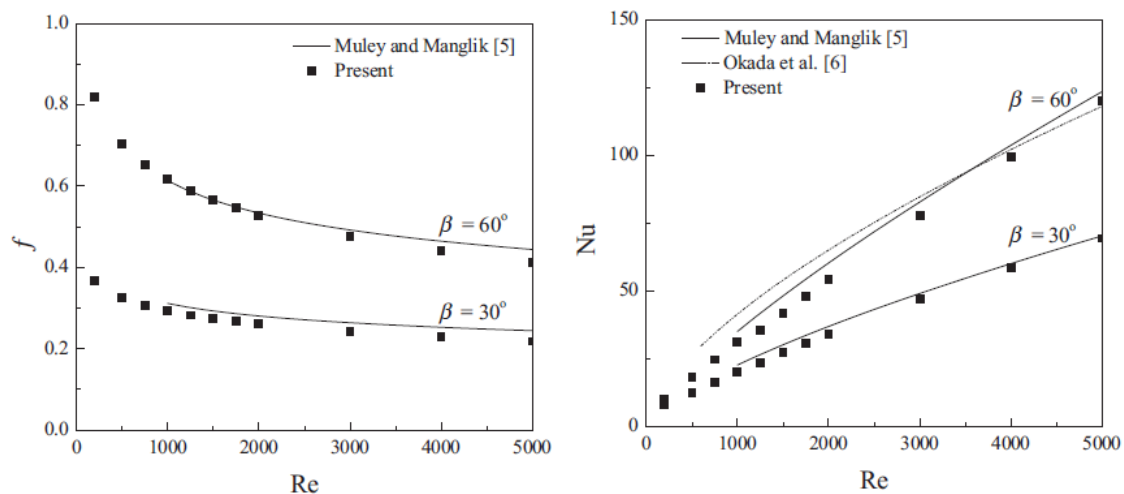
در این مقاله با افزایش زاویه بتا مقدار ضریب اصطکاک و ناسلت افزایش می‌یابد که برای بررسی زوایای ۳۰ و ۶۰ را بررسی می‌کنیم مسئله با الگوریتم *SIMPLE* حل شده و شکل زیر هندسه مورد بررسی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۷۰: شکل هندسی صفحات موج

۱-۱۵-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب افت فشار:

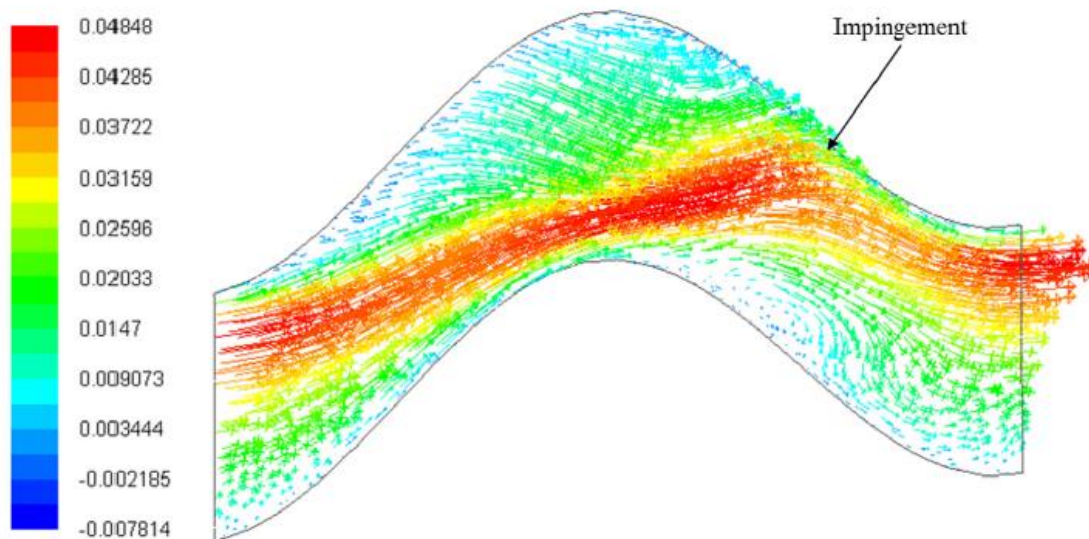
شکل زیر اصطکاک و ناسلت را بر حسب عدد رینولدز برای حل عددی و روش آزمایشگاهی برای زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه بیان می‌کند، هر چه میزان زاویه افزایش یابد میزان ضریب اصطکاک و عدد ناسلت به دلیل مغشوش‌تر شدن افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۷۱: اعتبارسنجی روابط ناسلت و ضریب اصطکاک

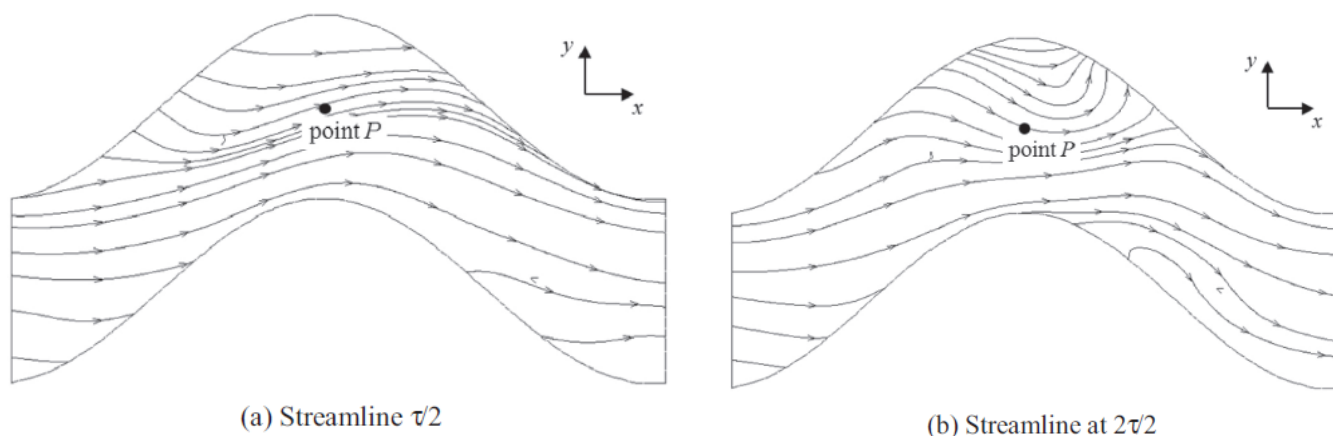
۲-۱۵-۲- بررسی کانتور جابه‌جایی و سرعت سیال درون صفحات موج:

شکل زیر کانتور سرعت سیال در راستای x می‌باشد :



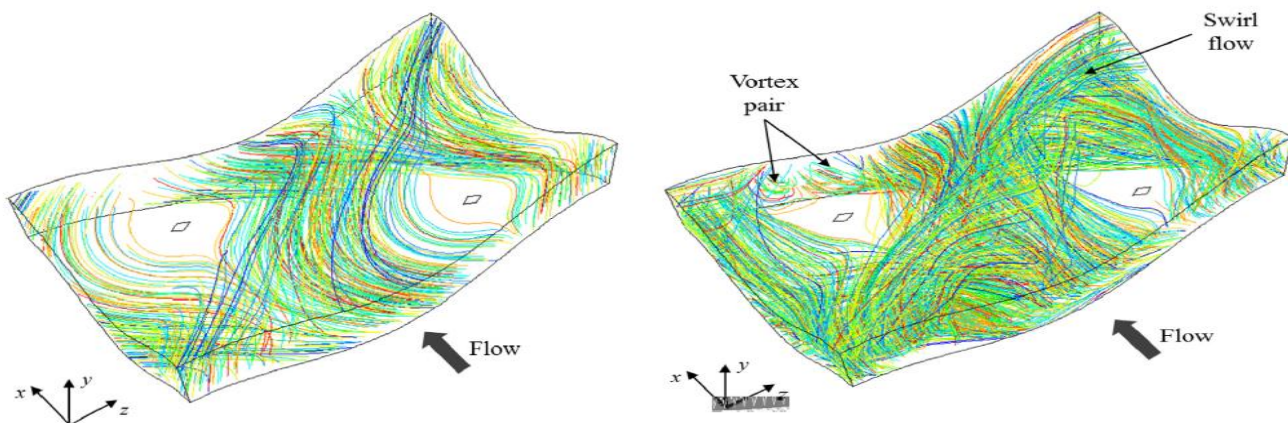
شکل ۲-۷۲: بررسی کانتور سرعت سیال

شکل زیر وکتور جابه‌جایی سیال درون صفحات موج برای مدت زمان‌های مختلف می‌باشد :



شکل ۲-۷۳: بررسی بردار سیال درون صفحات موج

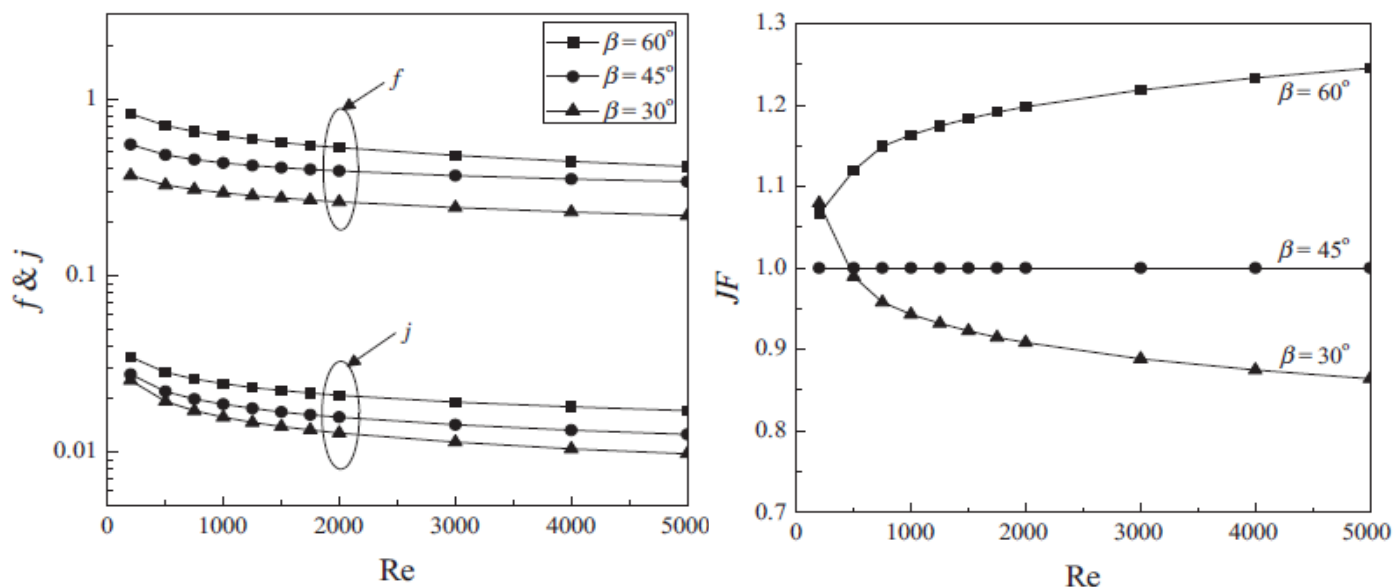
شکل زیر جابه‌جایی سیال را درون کانال برای اعداد رینولدز ۵۰ و ۸۵۰ نشان می‌دهد که برای رینولدز ۵۰ گردابه‌ای در کانال به وجود نیامده است و برای رینولدز ۸۵۰ به دلیل مغشوش شدن سیال گردابه‌هایی در سیال به وجود آمده است



شکل ۲-۷۴: بررسی کانتور سرعت سیال درون صفحات موج

۳-۱۵-۲- بررسی میزان ضریب عملکرد حرارتی و افت فشار بر حسب عدد رینولدز تحت زوایای مختلف دندانه:

شکل زیر میزان ضریب اصطکاک و ناسلت و همچنین ضریب عملکرد را بر حسب عدد رینولدز برای زوایای مختلف ترسیم شده است

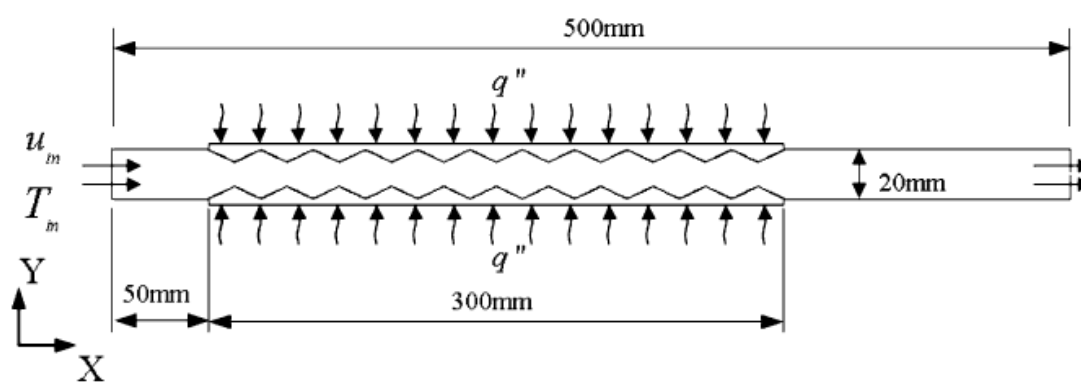


شکل ۲-۷۵: بررسی ضریب اصطکاک و ضریب عملکرد حرارتی بر حسب عدد رینولدز برای انواع زوایای حمله

۱۶-۲- شبیه‌سازی عدد جریان سیال و انتقال حرارت در کانال با برآمدگی V شکل صفحات:

این کار تحقیقاتی اثر آقایان *Peng-Jen Chen* و *Yue-Tzu Yang* می‌باشد که مطابق زیر است:

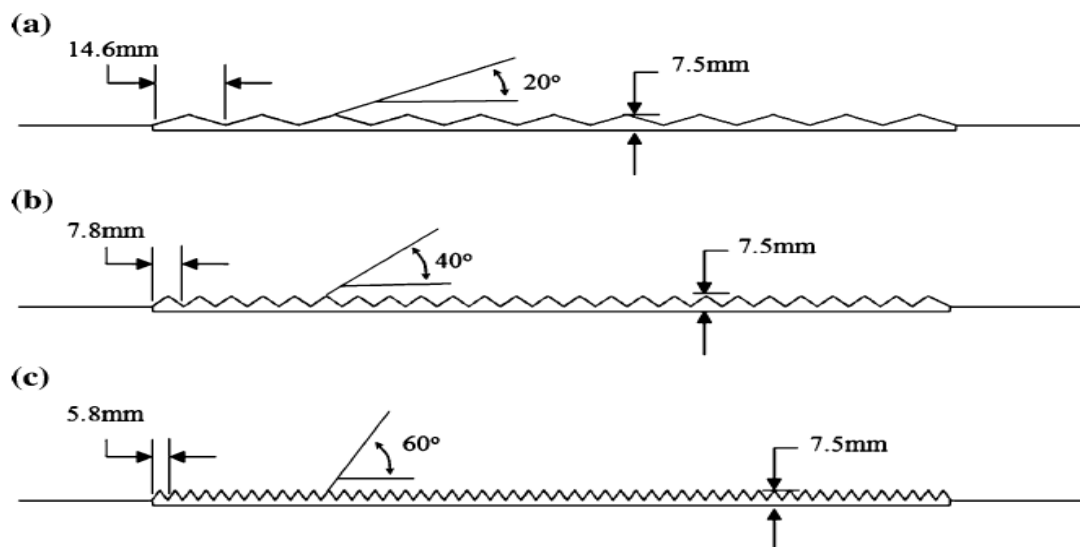
برای انجام دادن این کار تحقیقاتی از صفحات مثلثی با زوایای ۲۰ و ۴۰ و ۶۰ با شار حرارتی ۱,۰۹ و ۸۳۰ و ۵۸۰ وات بر متر مربع که بر صفحات بالا و پایین وارد می‌شود استفاده می‌کنیم از انجام دادن این کار دریافتیم که هر چه اندازه زاویه و یا اندازه عدد رینولدز افزایش یابد میزان انتقال حرارت و عدد ناسلت افزایش می‌یابد شکل زیر هندسه مورد بررسی می‌باشد که برای انجام دادن این مسئله دوبعدی و با معادلات $K-\varepsilon$ حل شده است.



شکل ۲-۱۶: بررسی کانال مورد بررسی با صفحات موج

۱-۱۶-۲- هندسه تمامی صفحات دندانه‌دار:

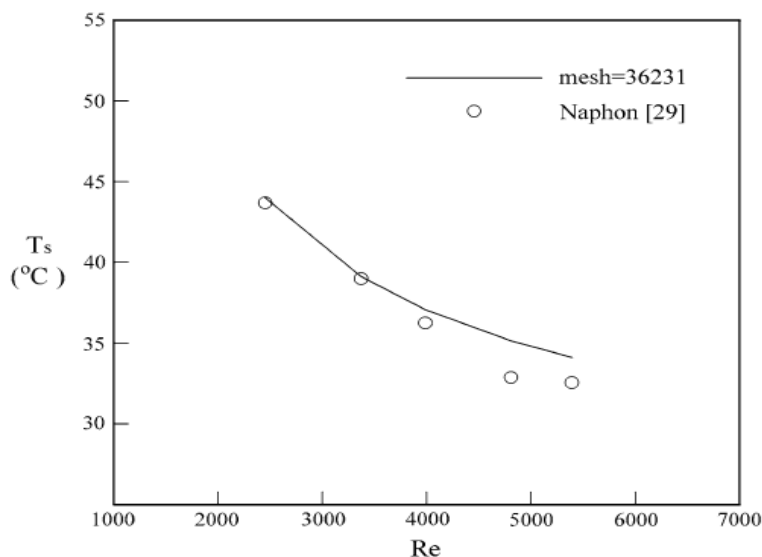
شکل زیر هندسه تمامی صفحات موج ترسیم شده است :



شکل ۲-۷۷: هندسه تمامی صفحات موج مورد بررسی

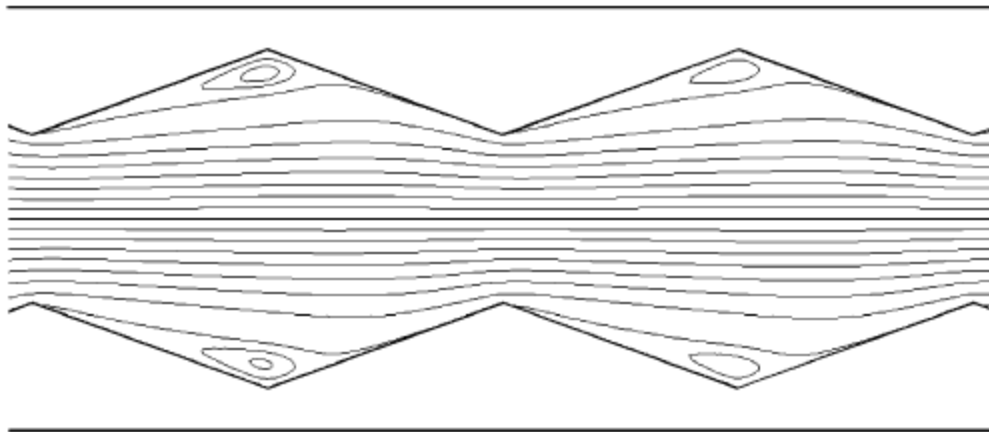
۲-۱۶-۲- اعتبار سنجی مش هندسه با حل عددی:

شرایط مرزی سیستم برای ورودی دمایی برابر ۲۹۷ کلوین و ارتفاع کانال ورودی ۲۰ میلی‌متر و فشار خروجی برابر ۱ اتمسفر و میزان انتقال حرارت از تمامی دیواره‌های کانال برابر صفر می‌باشد مسئله با الگوریتم *Simple* حل شده است و میزان همگرایی معادلات را 10^{-5} قرار می‌دهیم شکل زیر میزان دمای سطح گرم بر حسب عدد رینولدز برای حل با معادلات *Naphon* و روش آزمایشگاهی می‌باشد.



شکل ۲-۷۸: اعتبار سنجی حل مسئله با استفاده از دمای سطح صفحه با معادله عددی و شبکه‌بندی هندسه مورد نظر

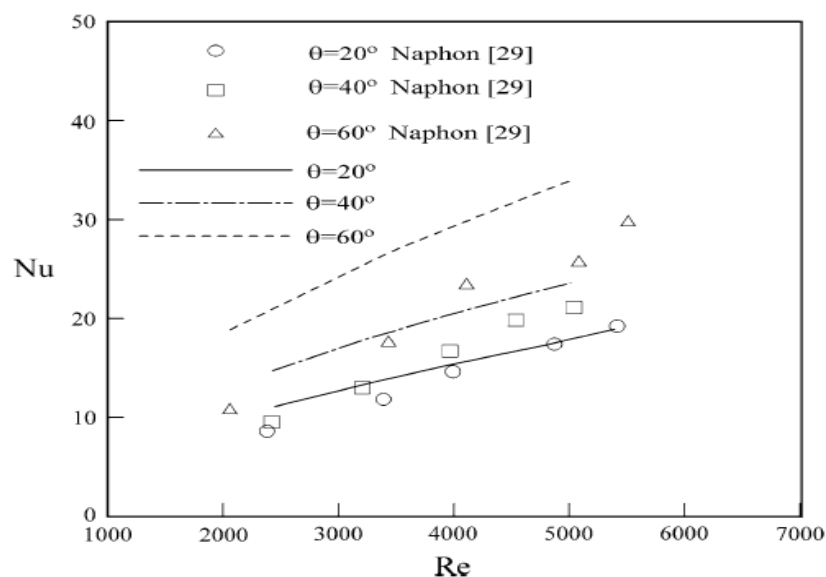
شکل زیر جهت جریان سیال را در کانال با شار حرارتی ۵۸۰ وات بر مترمربع با زاویه ۲۰ درجه را نشان می‌دهد که سبب به وجود آمدن گردابه‌هایی در درون شیارها شده است که باعث افزایش میزان انتقال حرارت می‌شود هر چه اندازه زاویه و سرعت سیال افزایش یابد تعداد گردابه‌هایی که در درون کانال افزایش می‌یابد بیشتر شده و سبب افزایش میزان انتقال حرارت و در نتیجه آن افزایش ناسلت می‌شود.



شکل ۲-۷۹: بررسی کانتور سرعت سیال و تشکیل گردابه درون صفحات موج

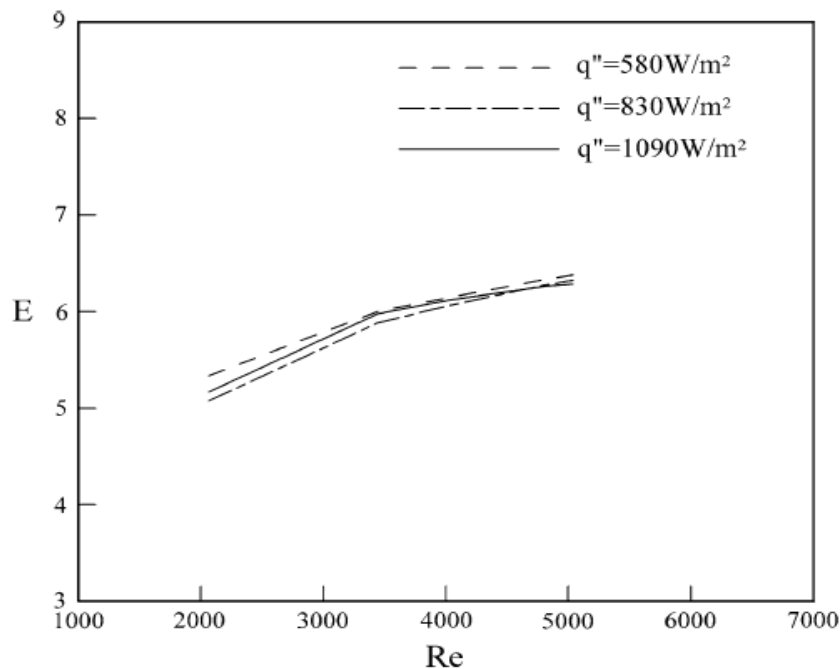
۳-۱۶-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب عملکرد:

شکل زیر میزان عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای زوایای مختلف برای انجام دادن روش آزمایشگاهی و روش عددی نشان داده شده است.



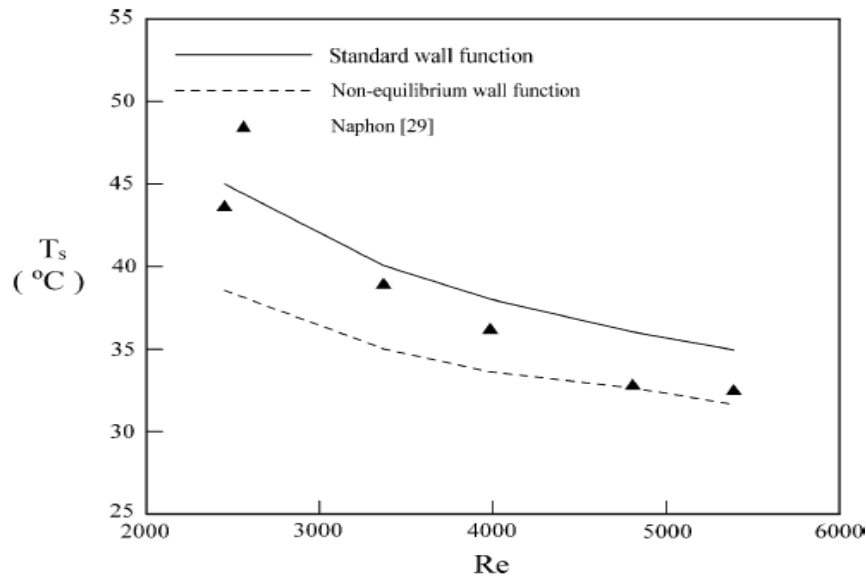
شکل ۲-۸۰: اعتبار سنجی حل مسئله برای عدد ناسلت

میزان ضریب عملکرد سیستم بر حسب عدد رینولدز برای انواع شار حرارتی برای زاویه ۶۰ درجه می‌باشد که هر چه میزان عدد رینولدز افزایش یابد میزان ضریب عملکرد سیستم افزایش می‌یابد که این میزان ۵ الی ۶ برابر ضریب عملکرد صفحه صاف می‌باشد.



شکل ۲-۱۱ بررسی ضریب عملکرد سیستم با شار حرارتی مختلف برای عدد رینولدز متفاوت

شکل زیر میزان دمای سطح صفحه گرم را نسبت به عدد رینولدز برای انواع روش‌های حل نشان می‌دهد که برای زاویه ۶۰ درجه مقدار دمای سطح روش *Naphon* برابر می‌شود زیرا سیال به طور کامل درهم می‌شود و با توجه به نمودار روش *Naphon* نتیجه بهتری نسبت به بقیه می‌دهد.

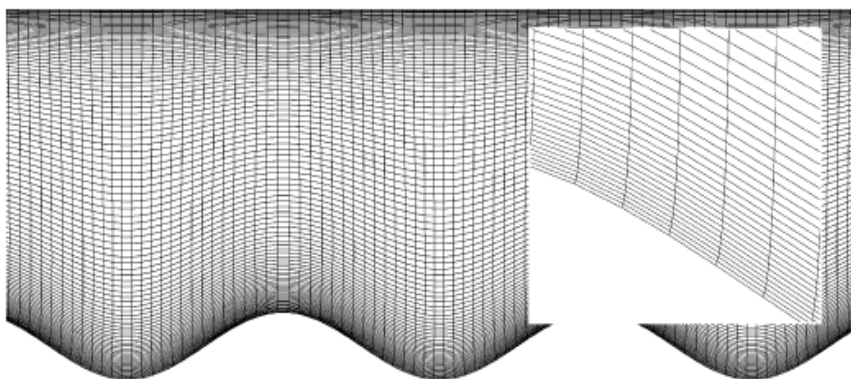


شکل ۲-۱۲: بررسی دمای سطح صفحه گرم بر حسب عدد رینولدز برای انواع مختلف معادله حل مغشوش

۲-۱۷- بررسی جریان مغشوش و انتقال حرارت جابه‌جایی در کانال با دیواره موج:

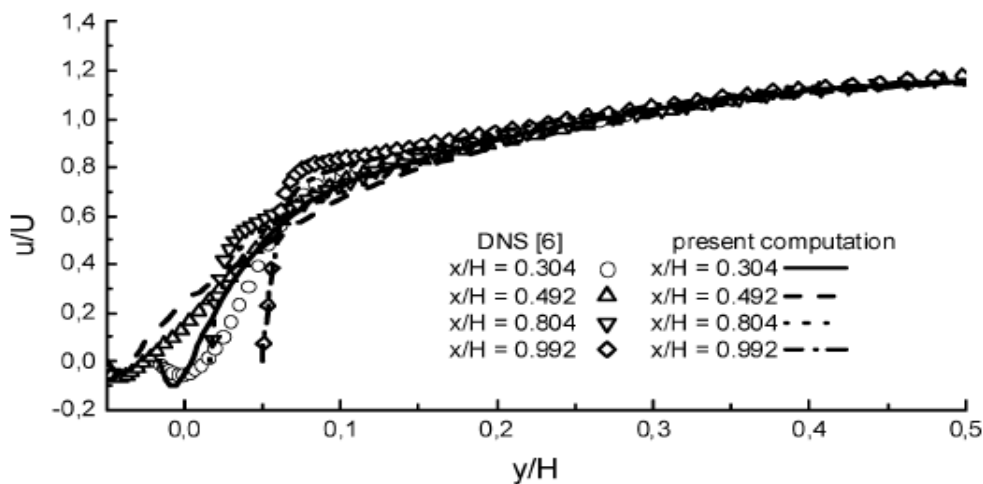
این تحقیق اثر *A.Z. Dellil* و همکاران می‌باشد را در زیر بررسی می‌کنیم:

این مسئله با مدل $K - \varepsilon$ حل شده، هر چه دانه امواج افزایش یابد باعث می‌شود افت فشار افزایش و در نتیجه آن عدد ناسلت افزایش یابد صفحه‌ای با کیفیت می‌باشد که دارای افت فشار کم و شار حرارتی زیاد باشد در این نوع صفحه طول صفحه موج برابر ارتفاع کانال می‌باشد این مسئله با الگوریتم *Quick* حل شده است شکل زیر هندسه مش خورده را نشان می‌دهد



شکل ۲-۱۳: بررسی مش شکل هندسی صفحات گرم

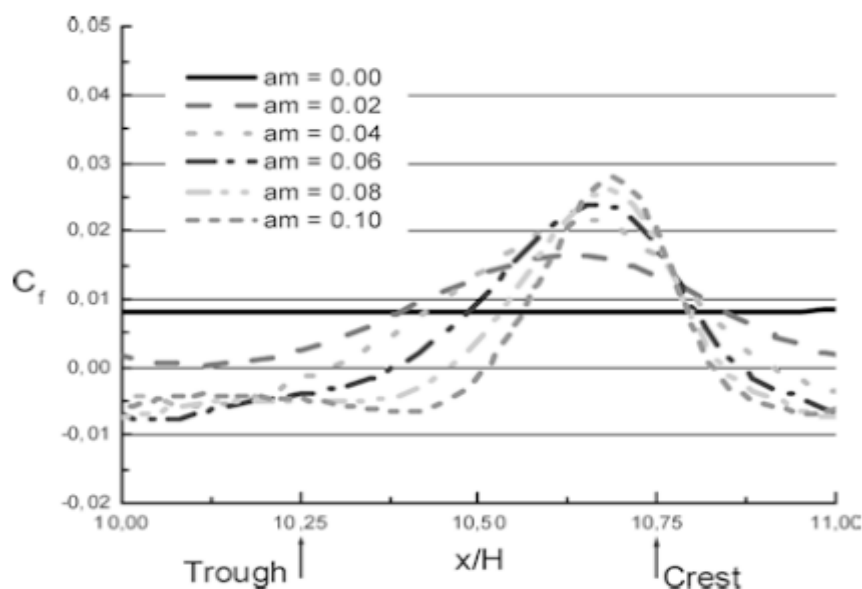
شکل زیر سرعت نرمالیزه شده را بر حسب ارتفاع گرفتن از سطح صفحه موج را نشان می‌دهد هنگامی که به نزدیک صفحه گرم نزدیک می‌شویم به دلیل شرط عدم لغزش سرت سیال صفر شده و با ارتفاع گرفتن از سطح صفحه میزان سرعت افزایش می‌یابد



شکل ۲-۱۴: بررسی میزان سرعت سیال بر حسب ارتفاع گرفتن از سطح دندانه

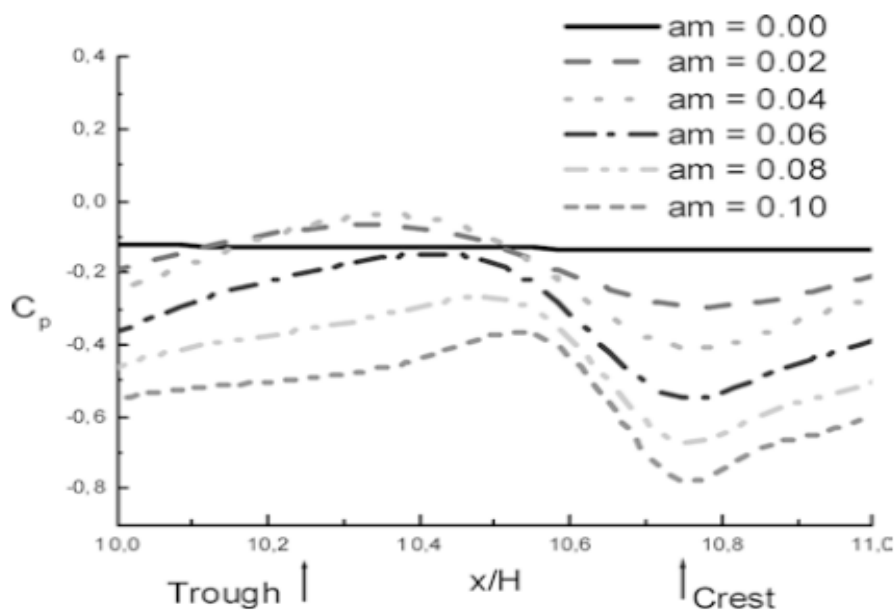
۱-۱۷-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب اصطکاک و افت فشار سیال:

نمودار زیر اصطکاک بر حسب جابه‌جایی برای انواع دامنه‌های صفحه موج ترسیم شده است



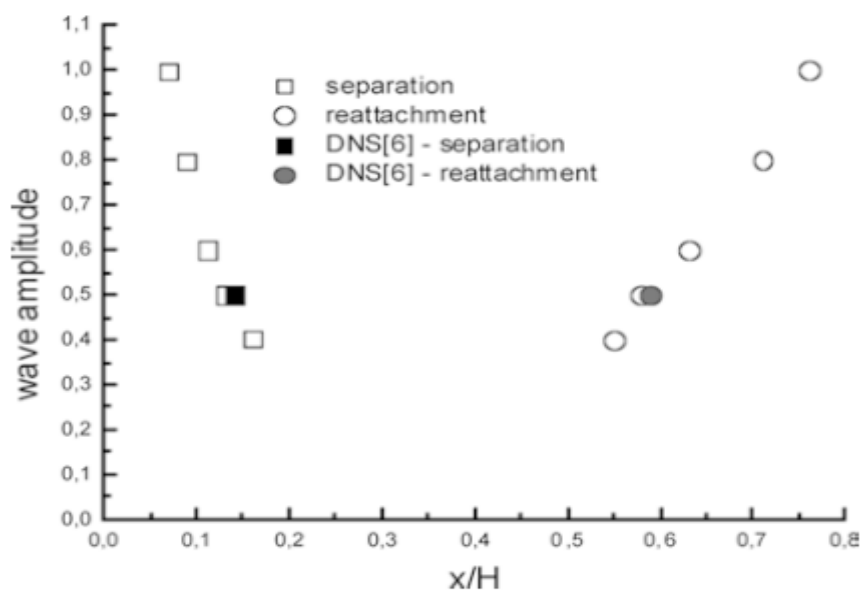
شکل ۲-۱۵: ضریب اصطکاک بر حسب جابه‌جایی روی سطح گرم

نمودار زیر ضریب افت فشار بر حسب جابه‌جایی برای انواع دامنه صفحه موج ترسیم شده است. هر چه میزان دامنه موج صفحه افزایش یابد میزان ضریب افت فشار افزایش می‌یابد



شکل ۲-۱۶: ضریب افت فشار بر حسب فاصله گرفتن از ورودی کانال بر حسب دامنه دندانه

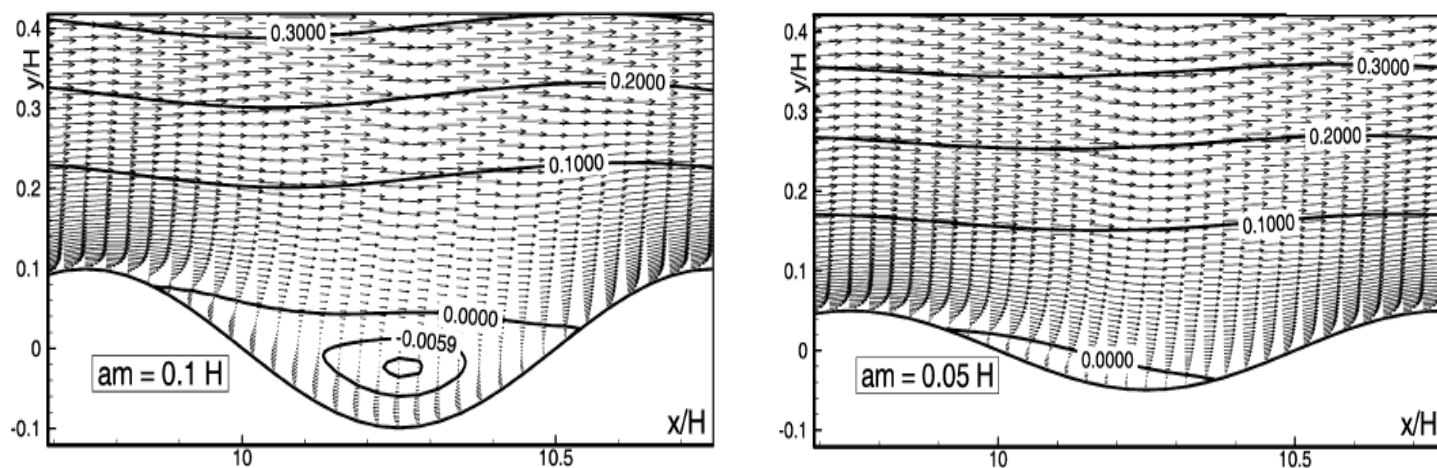
شکل زیر جدایش و بازگشت سیال به صفحه موج را بر حسب جابه‌جایی نشان می‌دهد



شکل ۲-۱۷: بررسی دامنه بر حسب فاصله گرفتن از ورودی کانال برای نقاط جدایش و پیوستگی سیال به صفحه گرم

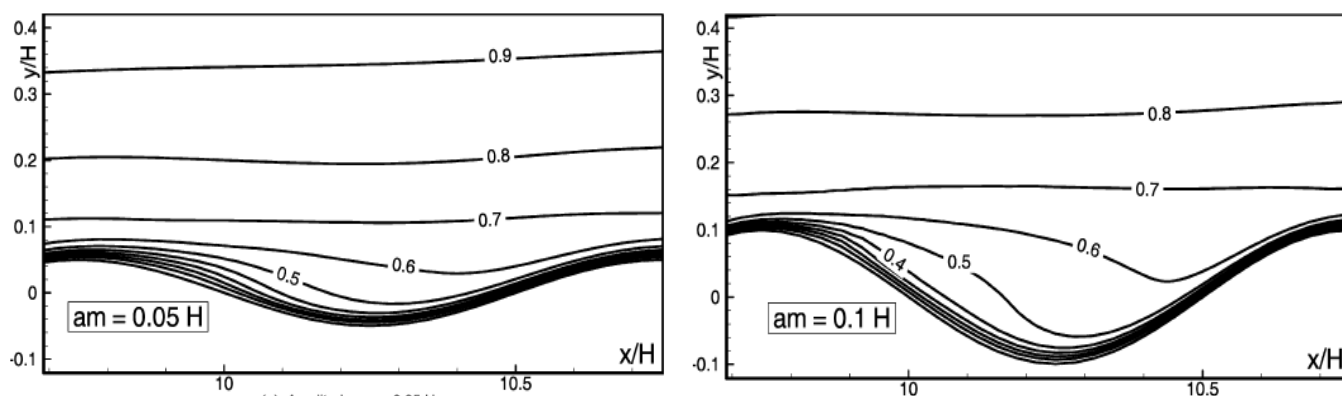
۲-۱۷-۲- بررسی کانتور و سرعت و جابه‌جایی تحت اثر اندازه دامنه دندان:

شکل زیر بردار سرعت و جابه‌جایی سیال را برحسب جابه‌جایی سیال برای انواع دامنه شکل موج ترسیم شده است که هر چه میزان سرعت سیال افزایش یابد میزان گردابه‌ای که در درون سیال ایجاد می‌شود افزایش می‌یابد



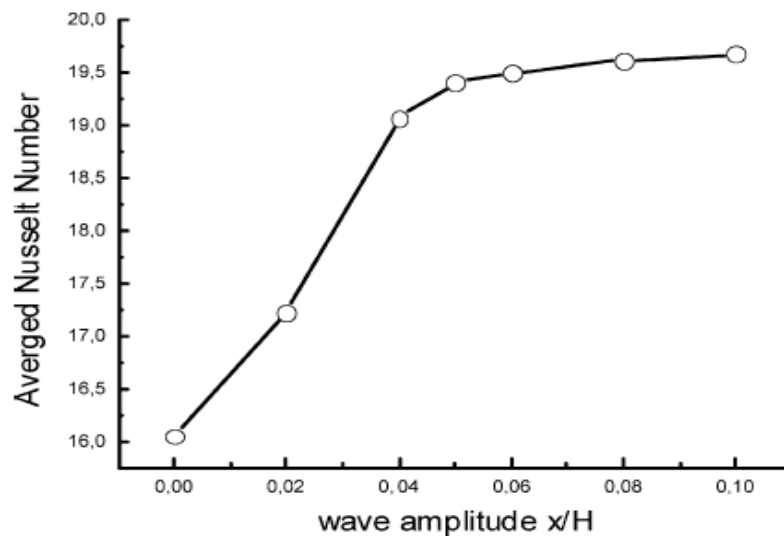
شکل ۲-۱۸: بررسی وکتور سیال درون صفحات موج

شکل زیر کانتور دمایی سیال را برای صفحه موج برحسب جابه‌جایی برای انواع دامنه نشان می‌دهد



شکل ۲-۱۹: بررسی کانتور دمایی سیال درون کانال برحسب دامنه موج

شکل زیر میانگین ناسلت برحسب دامنه موج صفحه ترسیم شده است که هر چه میزان این دامنه افزایش می‌یابد میزان ناسلت افزایش می‌یابد.

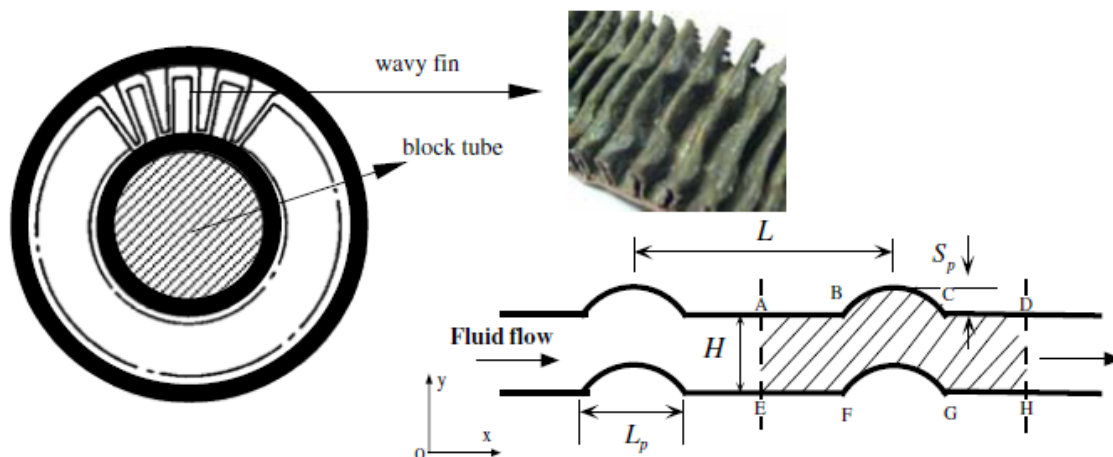


شکل ۲-۹۰: بررسی عدد ناسلت میانگین بر حسب دامنه موج

۱۸-۲- بررسی عددی انتقال حرارت و جریان سیال در کانال با صفحات موج:

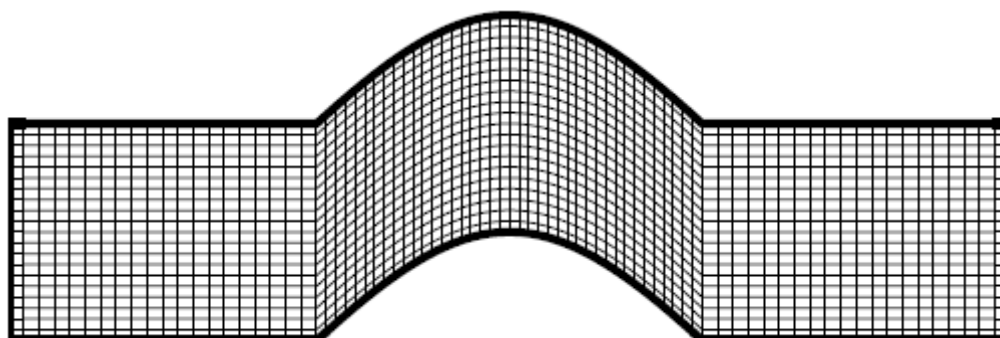
این کار تحقیقاتی اثر آقای *Gong-Nan Xie* و همکاران می‌باشد که نتایج آن مطابق زیر است:

در این مقاله تاثیر ارتفاع، طول، گام و عرض کانال بر دبی سیال و شار حرارتی بررسی شده است و تمام خواص سیال در طول کار ثابت می‌ماند و شار حرارتی پایدار و نیروهای حجمی وارد بر سیستم برابر صفر خواهد بود و مساله مورد نظر با الگوریتم *SIMPLE* حل شده است شکل زیر نحوه قرارگیری صفحات موج را نشان می‌دهد



شکل ۲-۹۱: شکل هندسی و نحوه قرارگیری دندانه و شیر روی صفحات موج روی صفحات گرم

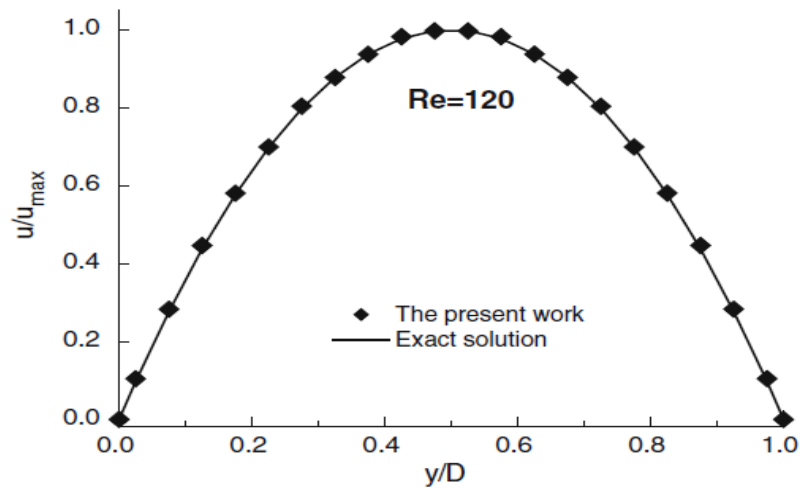
شکل زیر مش بندی سیستم را نشان می دهد



شکل ۲-۹۲: شبکه بندی هندسه مورد نظر

۲-۱۸-۱- اعتبار سنجی حل عددی و عملی:

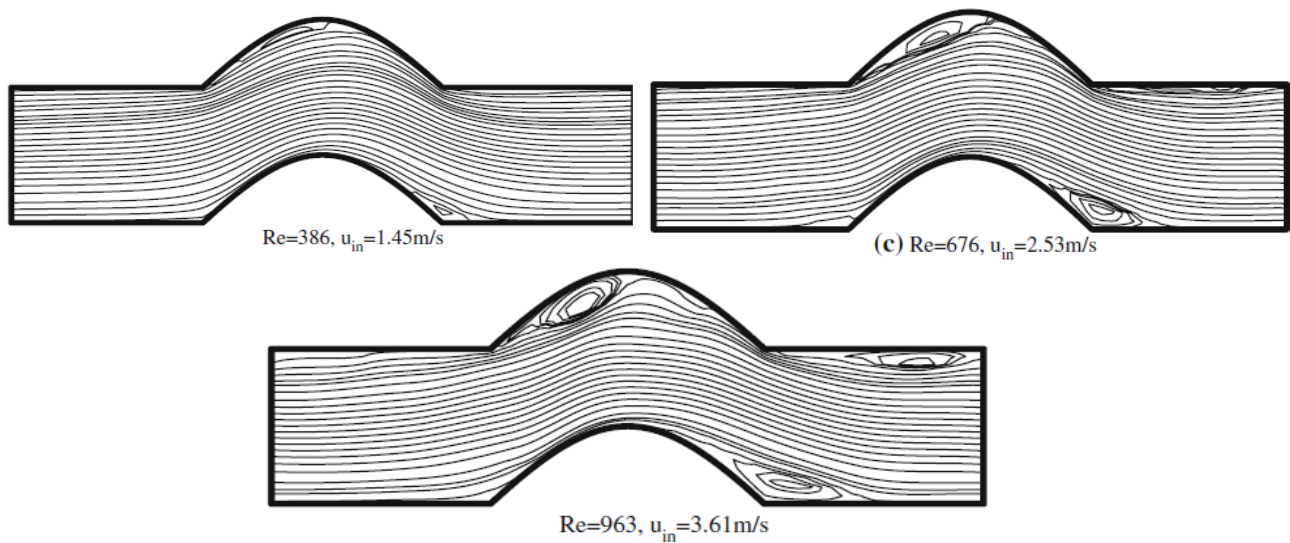
شکل زیر میزان سرعت نرمالیزه شده سیال را درون کانال بر حسب ارتفاع برای حالت عددی و آزمایشگاهی ترسیم شده است سرعت سیال در مجاورت دایره برابر صفر و در وسط کانال و دور از صفحات موج حداکثر میزان سرعت را دارا می باشد :



شکل ۲-۹۳: اعتبار سنجی سرعت سیال به حداکثر سرعت سیال درون کانال برحسب ارتفاع‌گیری از روی دندان

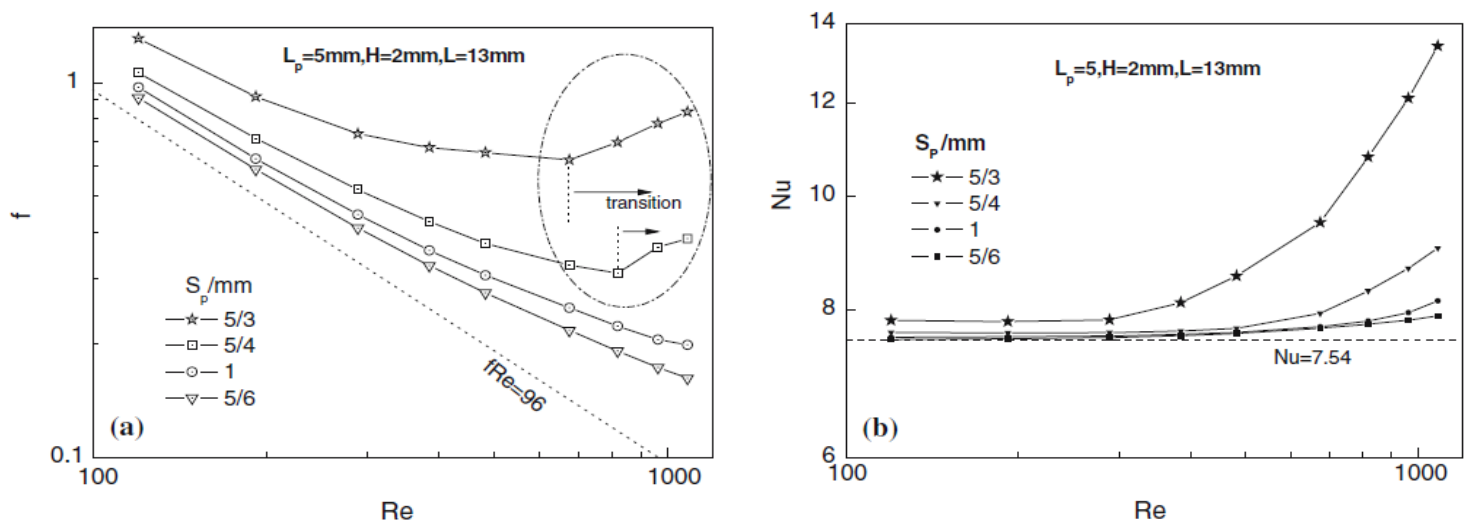
۲-۱۸-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و ضریب اصطکاک:

شکل زیر کانتور جابه‌جایی سیال را در بین صفحات مواج را برای سرعت‌های متفاوت نشان می‌دهد و با افزایش سرعت سیال میزان گردابه‌هایی که ایجاد می‌شود افزایش می‌یابد



شکل ۲-۹۴: بررسی میزان کانتور جابه‌جایی سیال درون کانال مواج بر حسب عدد رینولدز

شکل زیر میزان ضریب اصطکاک و همچنین عدد ناسلت را بر حسب عدد رینولدز برای ارتفاع دندان‌های مختلف ترسیم شده است هر چه میزان ارتفاع دندان‌ها و همچنین سرعت سیال افزایش می‌یابد مقدار افت فشار و همچنین عدد ناسلت افزایش می‌یابد.

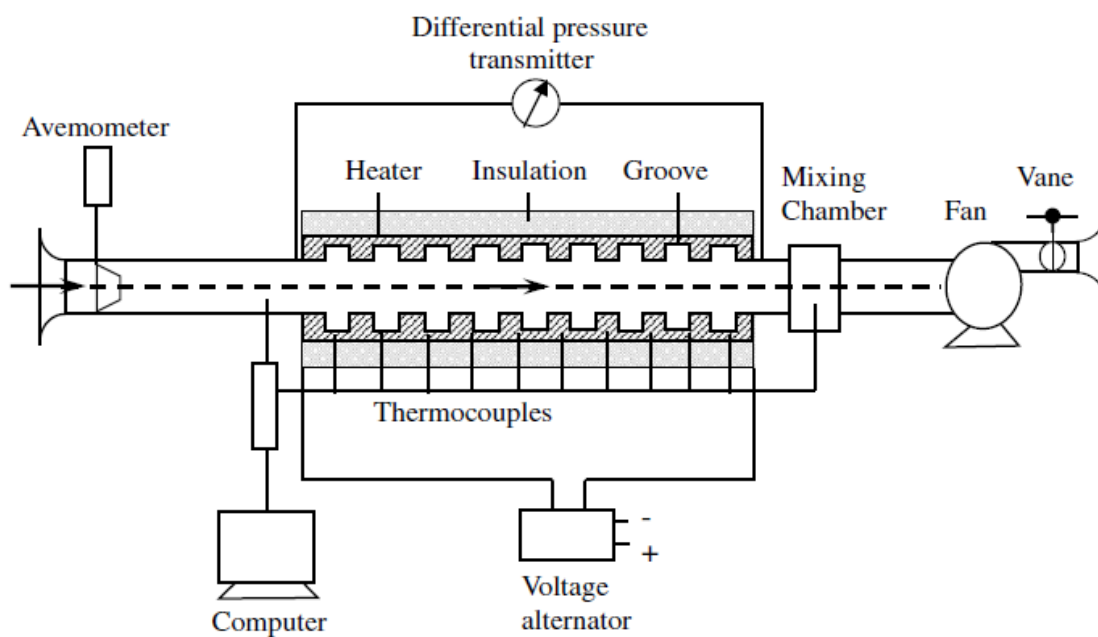


شکل ۲-۹۵: بررسی میزان ضریب اصطکاک و عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز

۱۹-۲- بررسی هندسه شیار بر انتقال حرارت شیارهای داخلی لوله:

این کار تحقیقاتی در مورد بررسی اثر هندسه شیار بر انتقال حرارت شیارهای داخلی لوله اثر آقای *Kadir Bilen* و همکاران می‌باشد که در زیر به آن می‌پردازیم:

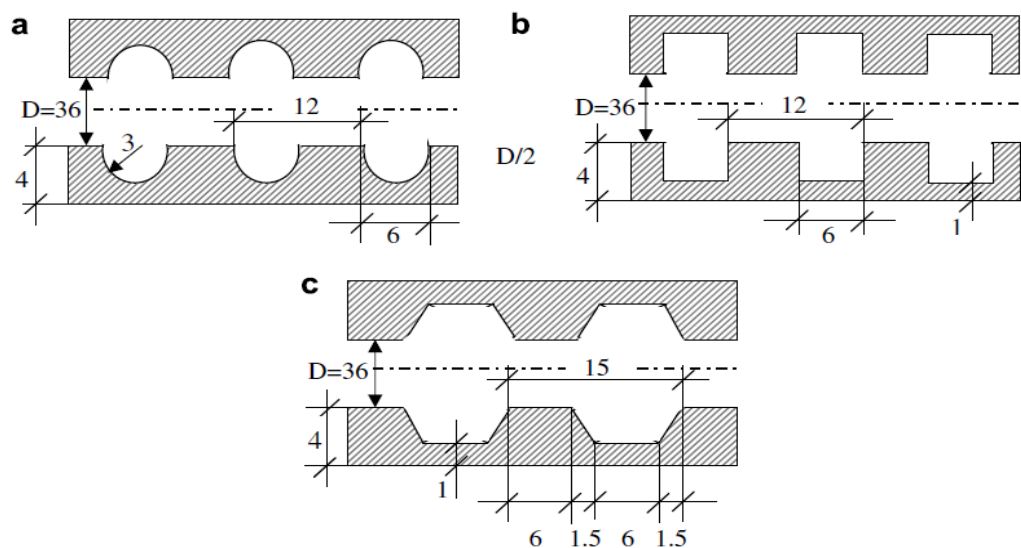
مسئله مورد نظر برای دندان‌های دوزنقه‌ای و مستطیلی و دایره‌ای می‌باشد با انجام این کار میزان انتقال حرارت برای دندان‌های دایره‌ای ۶۳ درصد و برای دندان‌های دوزنقه‌ای ۵۸ درصد و برای دندان‌های مستطیلی ۴۷ درصد افزایش یافت طول کانال ۶۶ برابر قطر داخلی کانال و قسمت تست ۳۳ برابر قطر داخلی و شار حرارتی وارد به صفحه‌های گرم ۱۸۰ وات می‌باشد. شکل زیر هندسه کانال مورد نظر می‌باشد.



شکل ۲-۹۶: بررسی کانال طراحی شده برای صفحات دندانه‌دار

۱-۱۹-۲- شکل هندسی صفحات شیاردار:

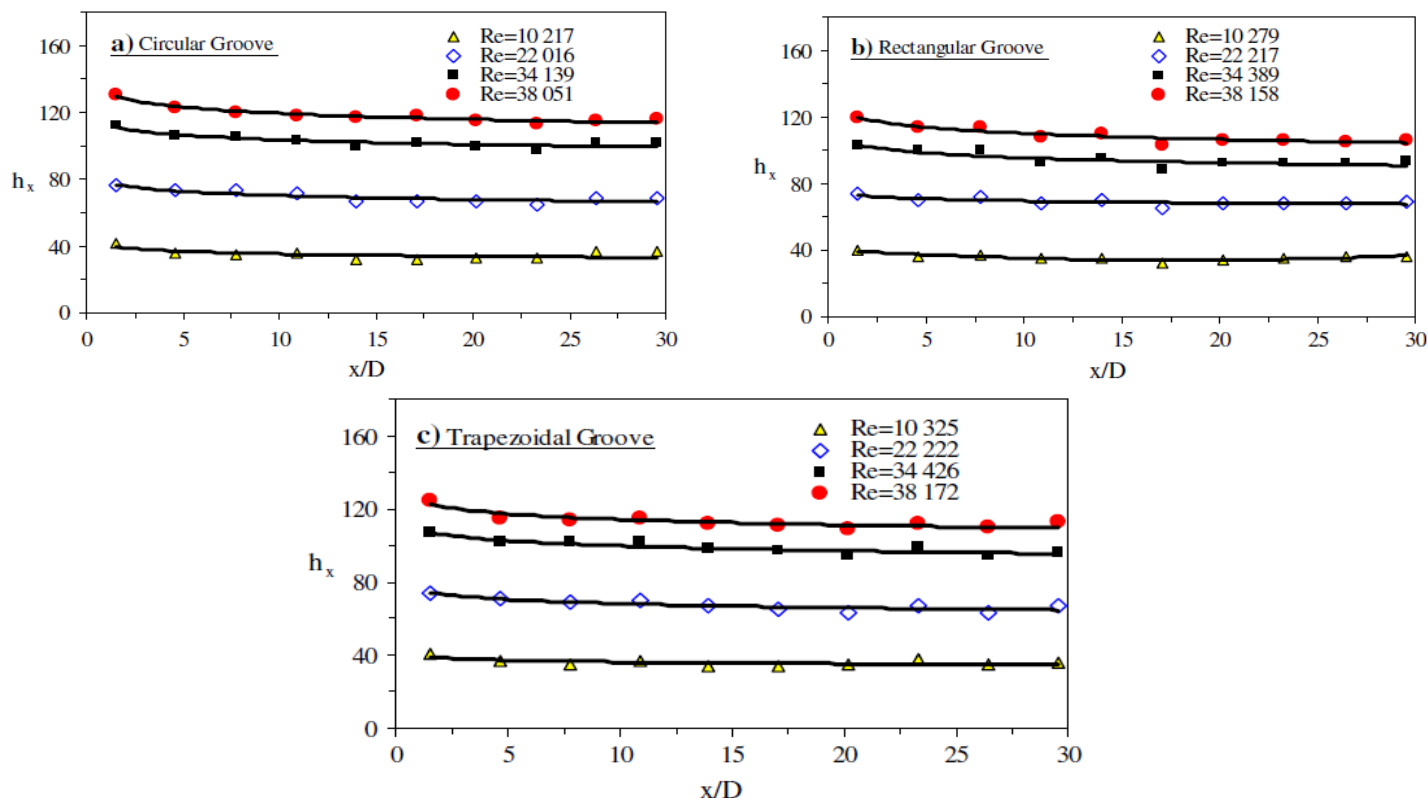
شکل زیر هندسه تمامی صفحات نشان داده شده است



شکل ۲-۹۷: شکل هندسی صفحات موج روی سطح گرم

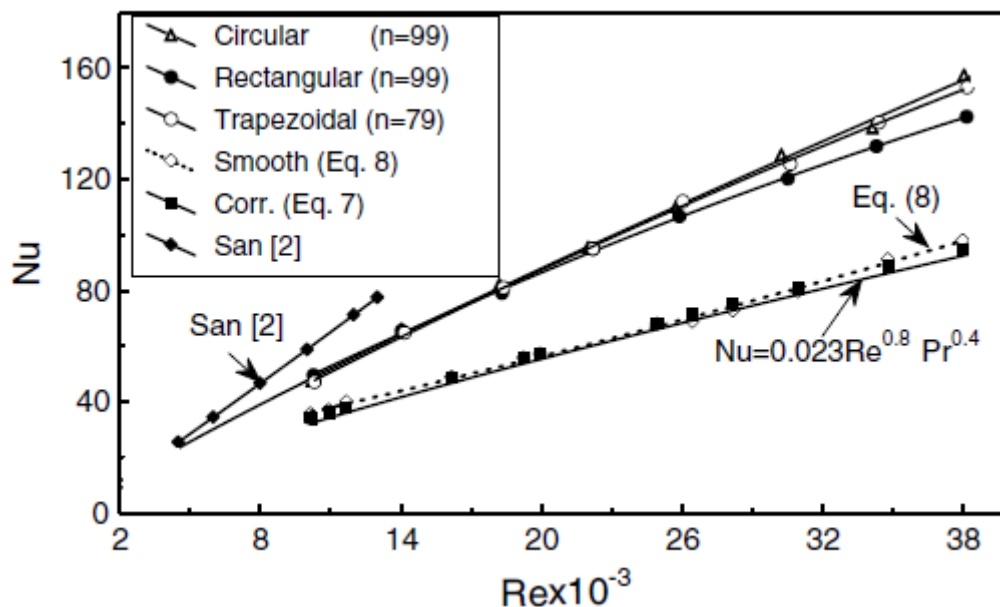
۲-۱۹-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار سیال درون لوله:

در این صفحه ۹۹ عدد شیار دایره‌ای و مستطیلی و ۷۹ عدد شیار دوزنقه‌ای قرار می‌گیرد شکل زیر میزان ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی نسبت به جابه‌جایی و برحسب سرعت‌های مختلف می‌باشد.



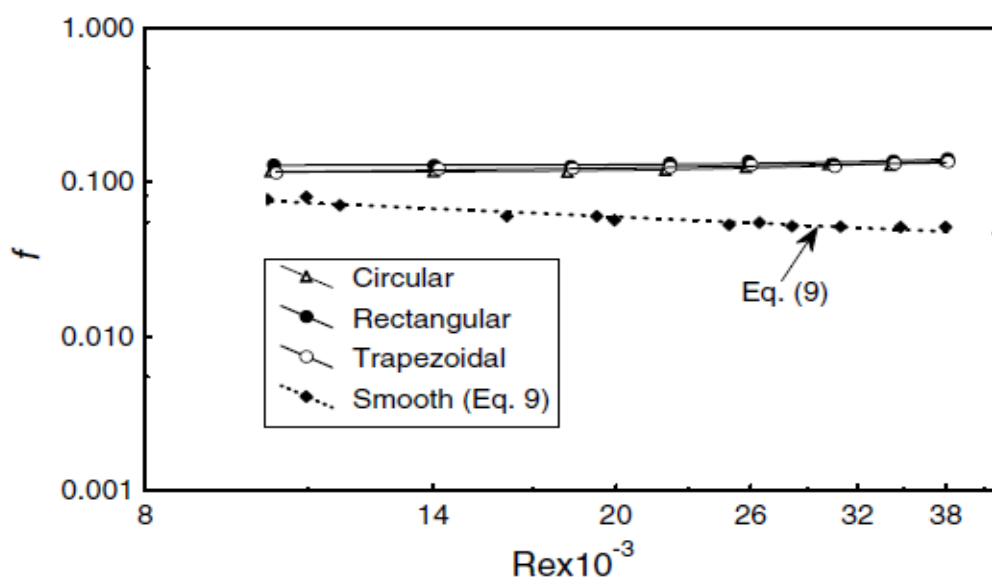
شکل ۲-۹۸: بررسی ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بر حسب فاصله‌گیری از ورودی کانال بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی صفحات موج

شکل زیر میزان عدد ناسلت برحسب عدد رینولدز برای شیارهای دایره‌ای و مستطیلی و دوزنقه‌ای و صفحه صاف ترسیم شده است که میزان ناسلت برای شیار دایره‌ای ۱,۶۳ برای شیار دوزنقه‌ای ۱,۵۸، برای شیار مستطیلی ۱,۴۷ برابر میزان ناسلت صفحه صاف می‌باشد و مقدار گردابه‌هایی که در شیار دوزنقه‌ای ایجاد می‌شود به مراتب بیشتر از مقدار گردابه‌هایی است که در شیار دایره‌ای ایجاد می‌شود زیرا با توجه به نمودار زیر ناسلت نزدیکی با وجود ۷۹ شیار دوزنقه‌ای در مقابل ۹۹ شیار دایره‌ای دارد.



شکل ۲-۹۹: بررسی میزان عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی صفحات گرم

نمودار زیر میزان ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز ترسیم شده است که هر چه میزان سرعت سیال افزایش پیدا کند مقدار افت فشار افزایش یافته و در نتیجه آن ضریب اصطکاک افزایش می‌یابد. با ایجاد پخ‌هایی در انتهای هر شیار باعث می‌شود میزان گردابه‌های سیال اضافی که مانع انتقال حرارت شده و مقاومت حرارتی را افزایش می‌دهد کاهش یافته و سیال مغشوش‌تر گردد شیارهای دوزنقه‌ای و دایره‌ای به مراتب بهتر از شیار مستطیلی می‌باشد زیرا میزان گردابه‌های اضافی را درون این شیارها را کاهش داده و مخلوط شدن سیال را افزایش می‌دهد

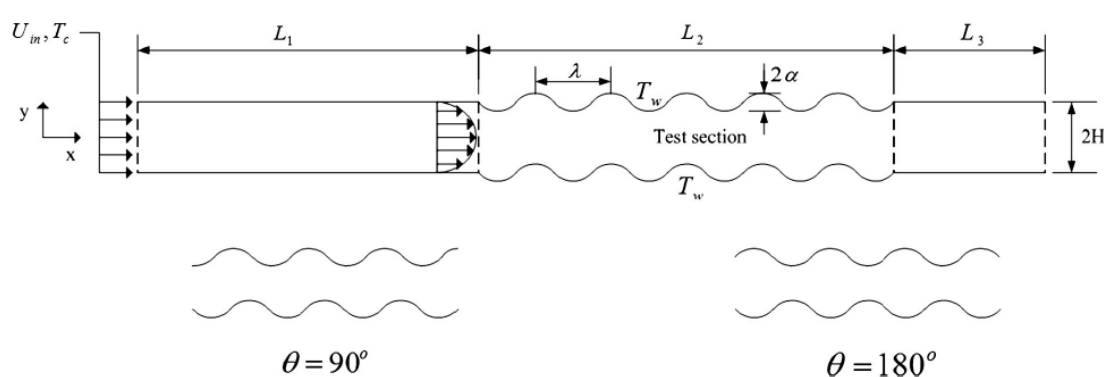


شکل ۲-۱۰۰: بررسی میزان ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز برای انواع شکل هندسی صفحات گرم

۲-۲۰- اثر نانو شکل هندسی بر افزایش میزان انتقال حرارت در کانال موج با اختلاف فاز مختلف

اثر نانو شکل هندسی بر افزایش میزان انتقال حرارت در کانال موج با اختلاف فاز مختلف اثر آقای *Sh.M. Vanaki*^۱ و همکاران می باشد:

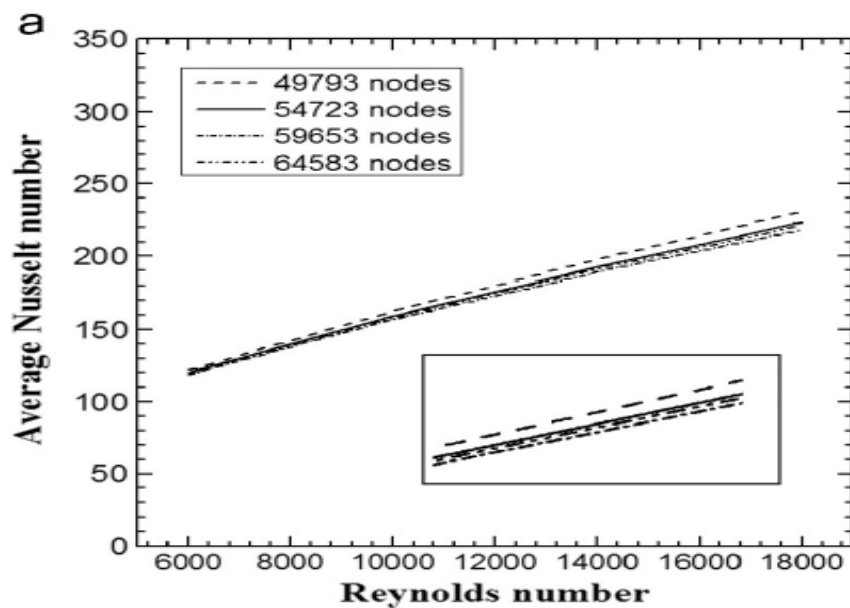
در کار تحقیقاتی اثر شکل هندسی و اختلاف فاز را بر میزان انتقال حرارت بررسی شده است برای حل مسئله از مدل $K - \varepsilon$ جریان مغشوش و بهینه شده دیواره و همچنین از الگوریتم حل *Simple* استفاده می کنیم شکل زیر هندسه کانال و شکل هندسی صفحات مورد آزمایش می باشد



شکل ۲-۱۰۱: شکل هندسی صفحات موج تحت اختلاف فاز

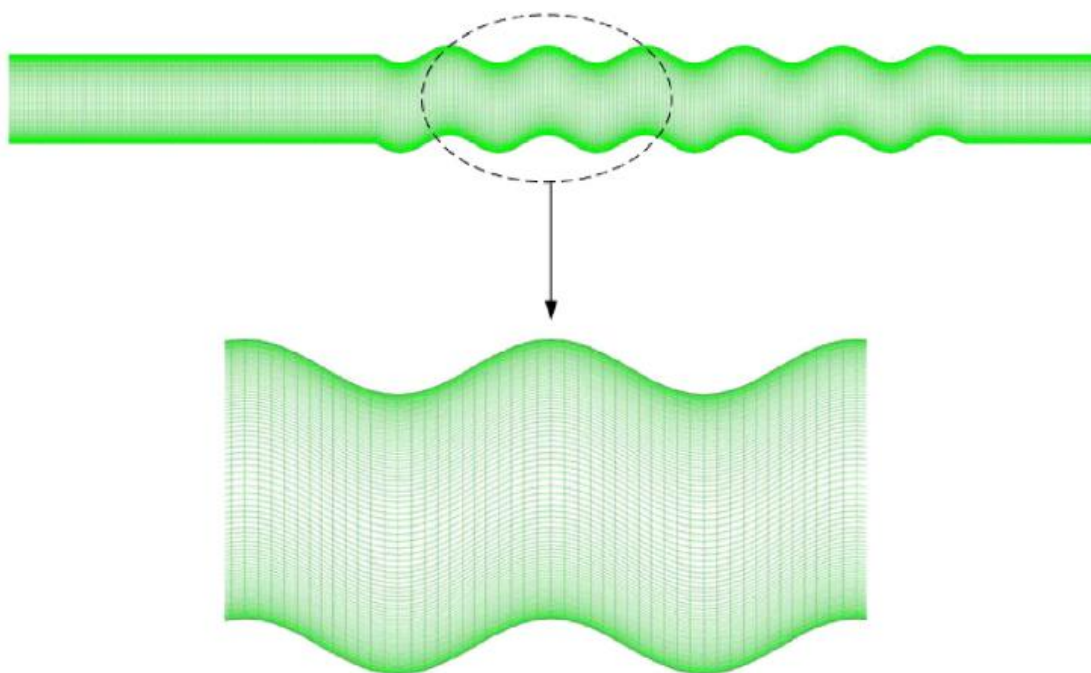
۱-۲۰-۲- اعتبار سنجی مش هندسه مورد نظر:

شکل زیر مقدار عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای انواع مش بندی ترسیم شده است که برای حل از ۵۴۷۲۳ نقطه برای حل استفاده می کنیم زیرا اگر از تعداد نقطه بیشتری استفاده کنیم مدت زمان حل افزایش می یابد و اگر از تعداد نقطه کمتری استفاده کنیم از مقادیر واقعی دور می شویم .



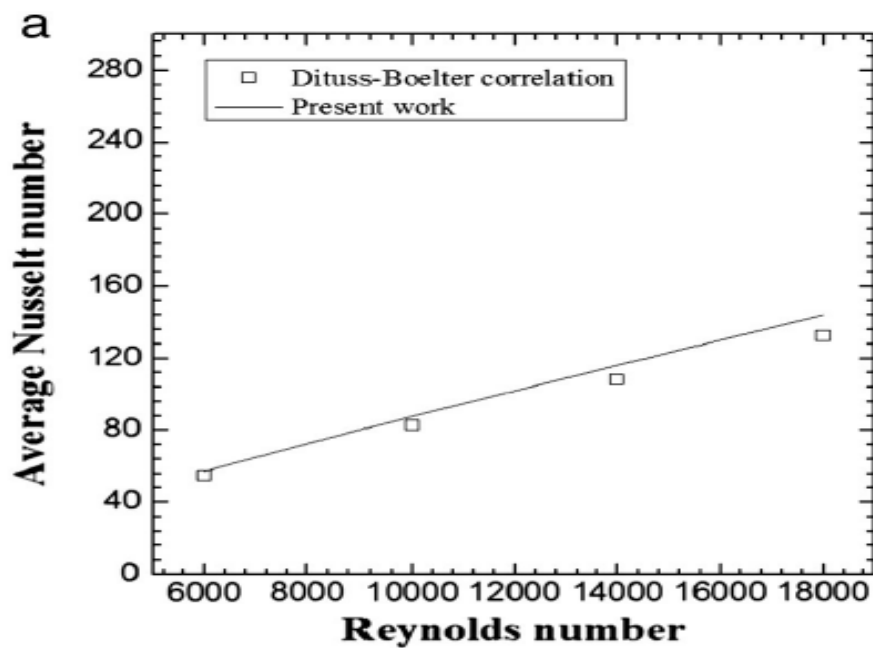
شکل ۱۰-۲: اعتبار سنجی میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای شبکه‌بندی مختلف

شکل زیر هندسه مش خورده را تحت تعداد مش ۵۴۷۲۳ نقطه را نشان می‌دهد



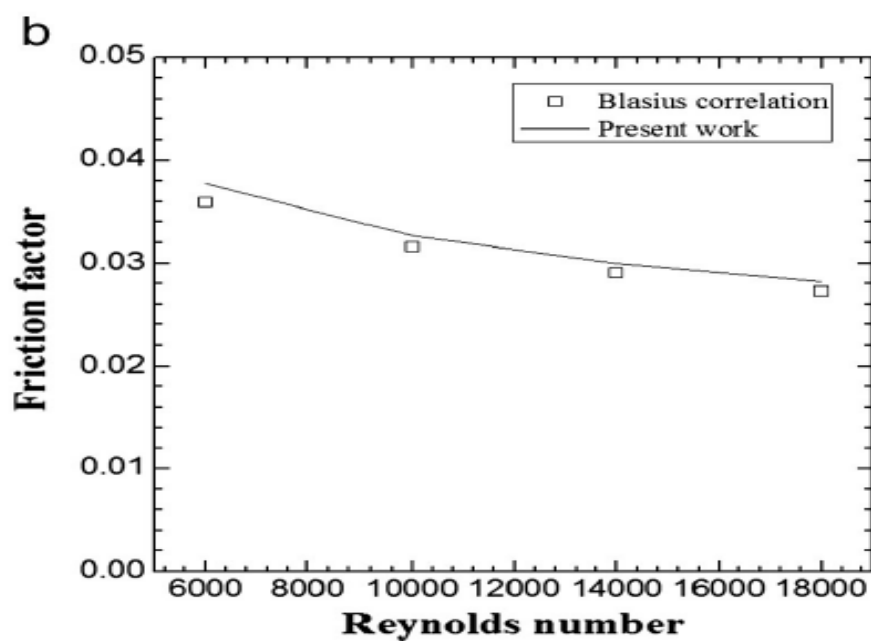
شکل ۱۰-۳: هندسه مش خورده تحت ۵۴۷۲۳ عدد شبکه

شکل زیر میزان اختلاف حل عددی و آزمایشگاهی عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز را نشان می‌دهد که هر چه میزان عدد رینولدز افزایش یابد مقدار عدد ناسلت افزایش می‌یابد



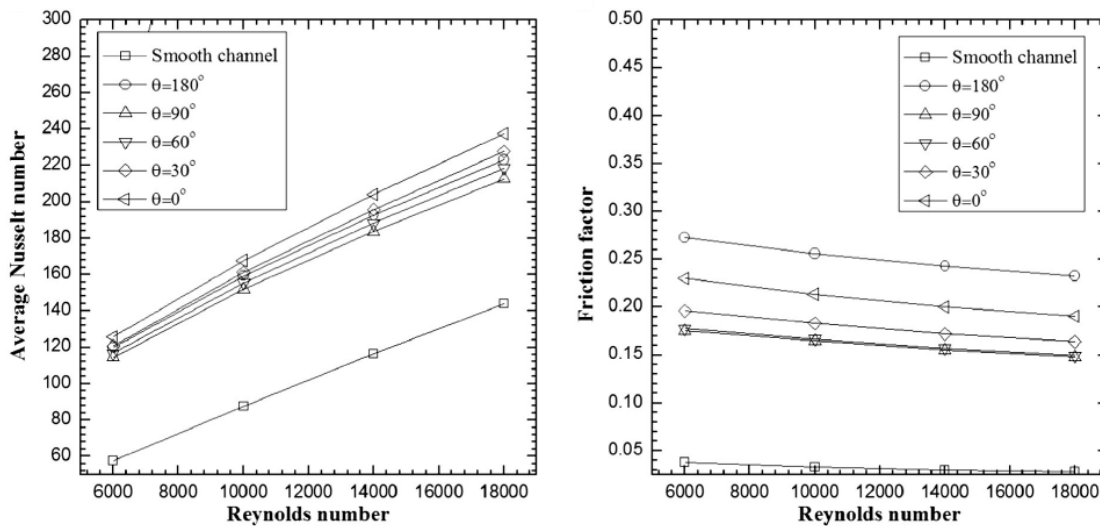
شکل ۲-۱۰۴: اعتبار سنجی حل مسئله با استفاده از عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز

۲-۲۰-۲- بررسی میزان انتقال حرارت و افت فشار سیال:



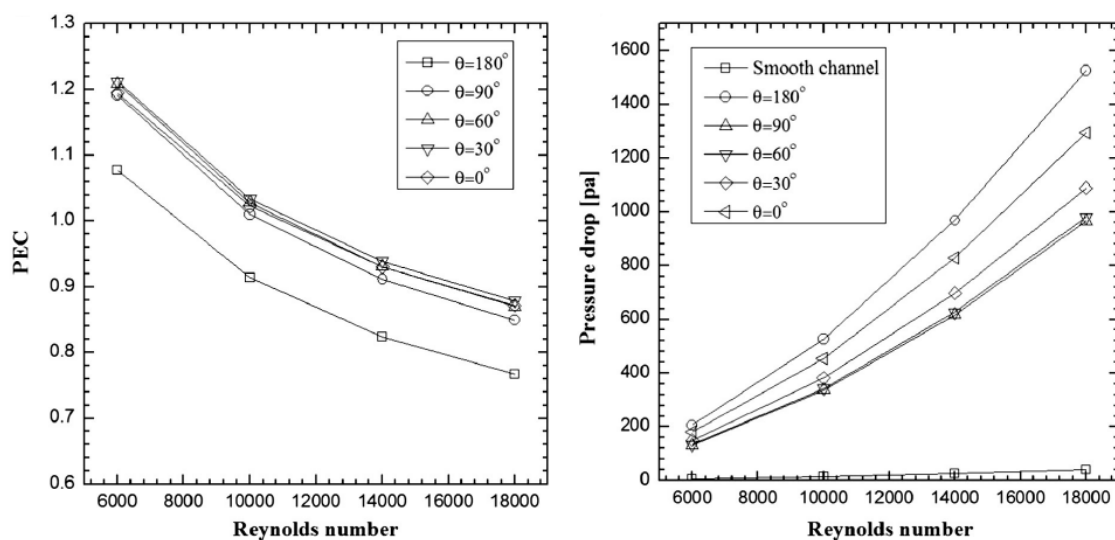
شکل ۲-۱۰۵: اعتبار سنجی حل مسئله برای ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز

شکل زیر مقدار ناسلت و ضریب افت فشار بر حسب عدد رینولدز برای اختلاف فازهای متفاوت ترسیم شده که برای اختلاف فاز ۰ میزان عدد ناسلت حداکثر و برابر ۱,۱۸ و برای ۳۰ درجه ۱,۱ برای ۶۰ درجه ۱,۰۲ و برای ۹۰ درجه ۰,۹۸ و برای ۱۸۰ درجه ۱,۰۸ برابر صفحه صاف می باشد .



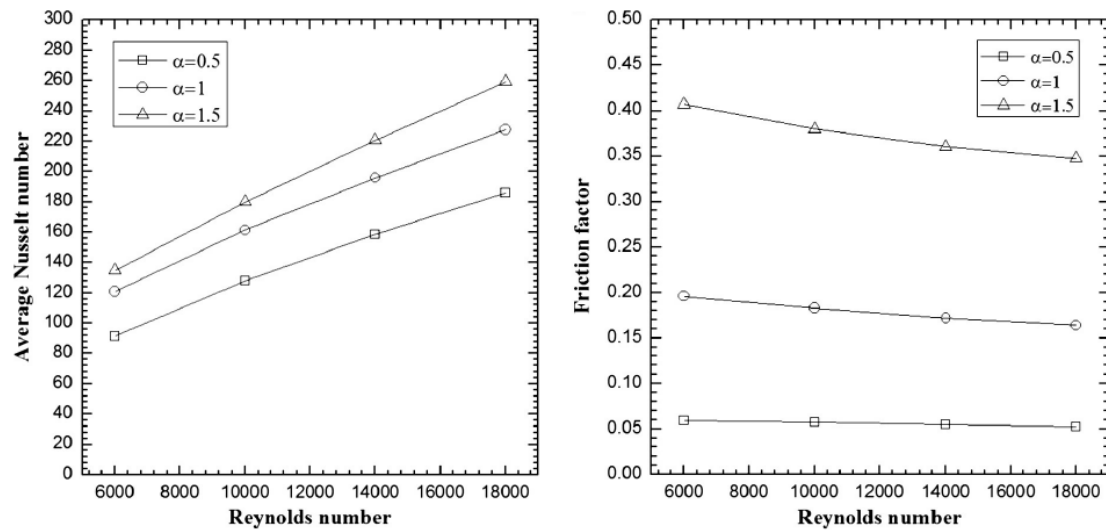
شکل ۲-۱۰۶: بررسی میزان ناسلت میانگین و ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز برای اختلاف فازهای متفاوت

شکل زیر میزان افت فشار و ضریب عملکرد حرارتی را بر حسب عدد رینولدز برای انواع اختلاف فاز ترسیم شده است



شکل ۲-۱۰۷: بررسی میزان ضریب عملکرد حرارتی و افت فشار بر حسب عدد رینولدز برای اختلاف فازهای متفاوت

شکل زیر میزان عدد ناسلت و ضریب اصطکاک را بر حسب عدد رینولدز برای انواع دامنه شکل موج ترسیم شده است که هر چه میزان دامنه موج صفحه افزایش یابد میزان عدد ناسلت افزایش می‌یابد.



شکل ۲-۱۰ بررسی میزان عدد ناسلت و ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز برای انواع دامنه موج

فصل ۳:

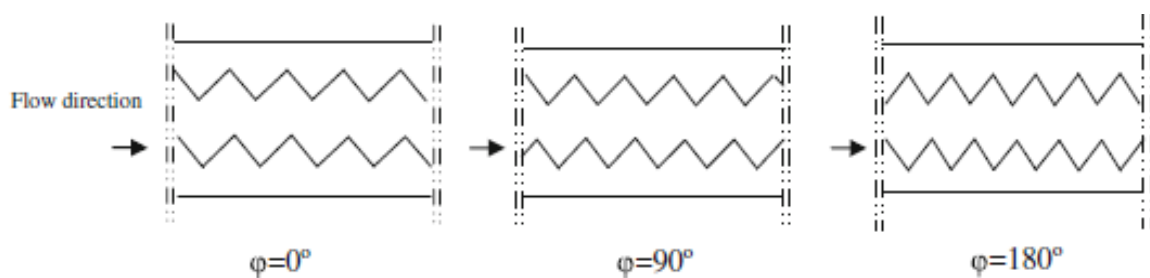
روش تحقیق

۳-۱- مقدمه:

توسعه سیستم انرژی جدید و حفظ انرژی نیازمند مبدل های حرارتی با بازدهی بالا میباشد، بنابراین محققان به دنبال یافتن روش های جدیدی جهت افزایش مکانیسم های انتقال حرارت در مبدل های حرارتی هستند. هدف این مطالعه، بررسی کارایی انتقال حرارت و توسعه جریان در کانال های موج دار-V می باشد.

۳-۲ - تشریح کامل روش تحقیق

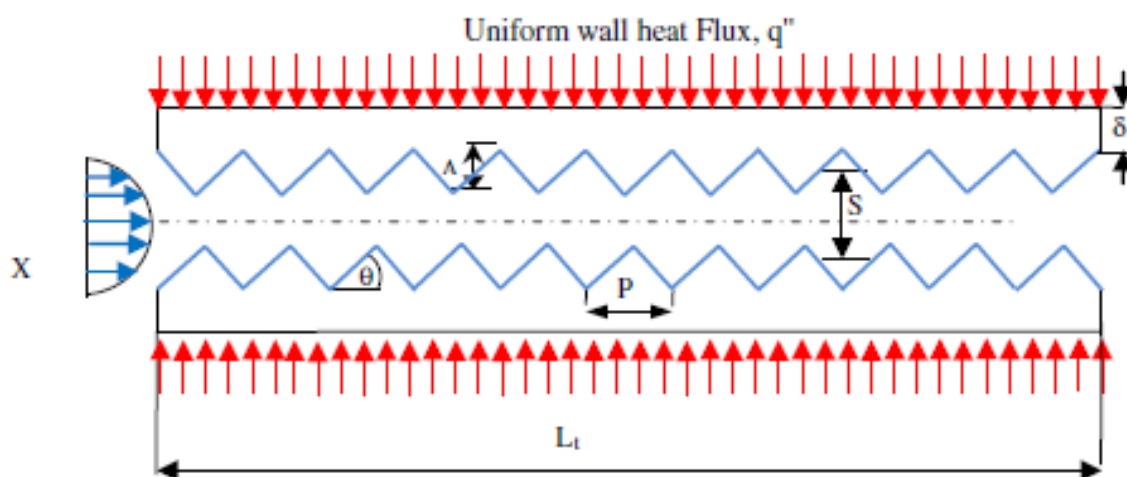
به این منظور شبیه سازی های عددی برای شار گرمایی دیواره یک شکل برابر با 290 W/m^2 با استفاده از هوا به عنوان سیال عامل، با عدد Reynolds متغیر از ۵۰۰ تا ۲۰۰۰، تغییرات فاز، $0^\circ < \phi < 180^\circ$ ، و ارتفاع کانال ($S = 12/5, 15/0, 17/5, 20 \text{ mm}$) و کانال به طول ۳۰۰ میلیمتر صورت گرفت. معادلات حاکم جریان و انرژی به شکل عددی با استفاده از روش حجم متناهی حل شد. نتایج عددی نشان داد که کانال های موج (موج دار-V) دارای تاثیر مهمی روی افزایش انتقال حرارت با افزایش افت فشار در طول کانال به دلیل شکست بوده و ناپایداری در لایه مرزی گرمایی با جریان یافتن سیال در سطوح موج دار رخ داده و اثر تغییر فاز موج دار روی انتقال حرارت و جریان سیال در کانال باریک مهم تر است. بهترین کارایی در تغییر فاز $\phi = 180^\circ$ و ارتفاع کانال برابر با $12/5 \text{ mm}$ مشاهده شد.



شکل ۳-۱ شکل هندسی صفحات با اختلاف فاز های متفاوت

۳-۳ - مراحل انجام کار:

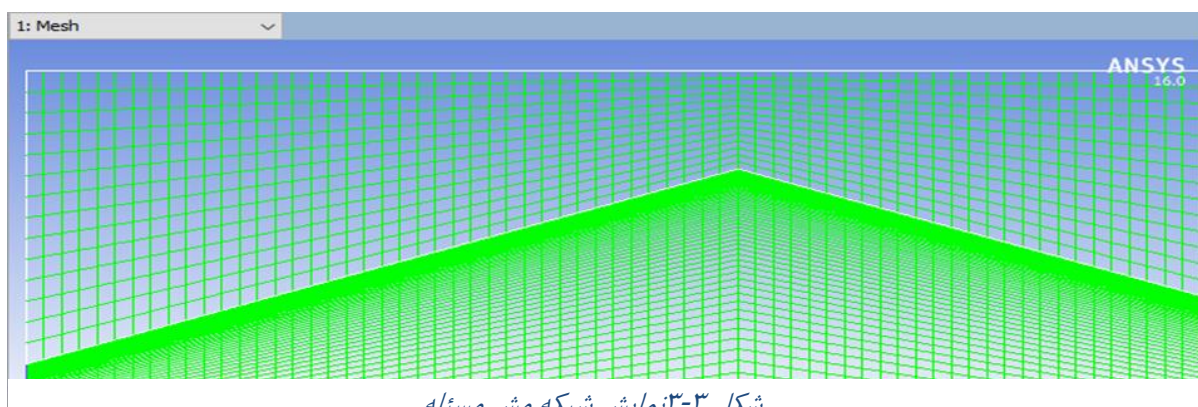
به منظور انجام مراحل، ۶ عدد رینولدز متفاوت در نظر گرفته شده است که مقدار آنها ۷۰۰، ۸۰۰، ۱۱۰۰، ۱۳۰۰، ۱۵۰۰ و ۱۷۰۰ می باشد. برای هر کدام از این اعداد برای یک فاز و برای یک مقدار فاصله بین دو صفحه باید شبیه سازی انجام شود و نتایج بدست آمده ثبت شوند. بدین منظور باید ۷۲ مرتبه عملیات شبیه سازی در نرم افزار فلوئنت انجام شود.



شکل ۳-۲ شکل هندسی صفحات موج و کانال های مورد بررسی

۳-۴ - مش بندی مسئله :

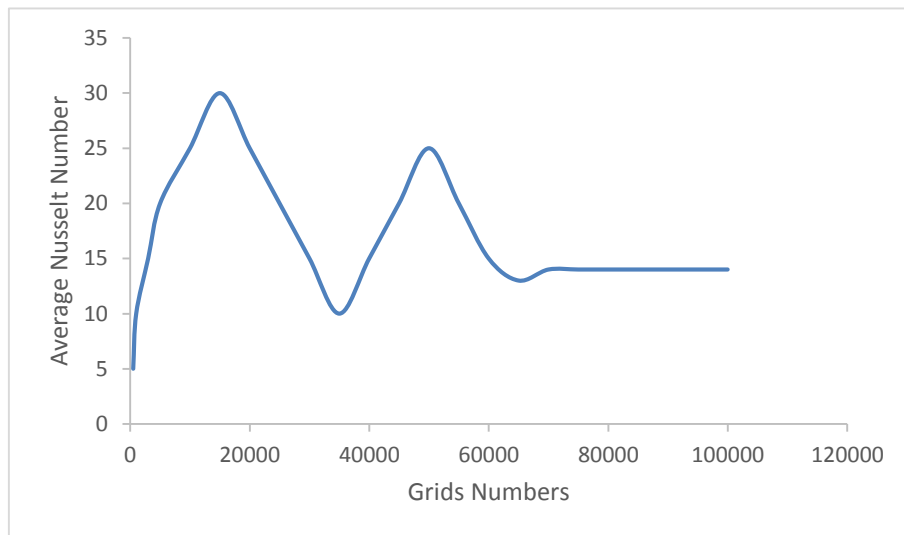
ابتدا هندسه مسئله در هر فاصله و در هر فاز (در کل ۷۲ حالت مختلف) مش بندی گردیده و سپس به نرم افزار فلوئنت جهت حل عددی مسئله برده می شود .



شکل ۳-۳ نمایش شبکه مش مسئله

۳-۵ - بررسی استقلال شبکه از مش :

با بررسی مقدار عدد ناسلت میانگین برای مش بندی مسئله در تعداد مختلف تا ۱۲۰,۰۰۰ با توجه به نمودار مشاهده می شود که تقریباً از تعداد ۶۰,۰۰۰ به بعد تغییرات چشم گیری در مقدار عدد ناسلت میانگین رخ نخواهد داد ، بنابراین، تعداد مش مطلوب را همین مقدار در نظر می گیریم.



شکل ۳-۴. بررسی استقلال شبکه هندسه مسئله

۳-۶ - معادلات حاکم بر مسئله :

جهت بررسی تاثیر ایجاد زبری (دندانه های مثلثی) بر انتقال حرارت کانال یا مبدل های حرارتی نیازمند به دست آوردن مقدار عددی ناسلت میانگین در دیواره ی کانال هستیم ، که جهت به دست آوردن آن از سه معادله پیوستگی ، مومنتم و انرژی بهره می گیریم .

این معادلات به شرح زیر می باشند :

• معادله پیوستگی :

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial x_i} = 0$$

• معادله مومنتم :

$$\frac{\partial (\rho u_i u_j)}{\partial (x_j)} = -\frac{\partial p}{\partial (x_i)} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial (x_j)} (-\rho' u_i u_j')$$

- معادله انرژی :

$$\frac{\partial}{\partial(x_j)} [u_i(\rho E + P)] = \frac{\partial}{\partial(x_j)} \left[\left(k + \frac{C_P \mu_t}{Pr_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_j} + u_i(\tau_{ij}) e_{ff} \right]$$

برای حل معادلات فوق با فرض ایجاد جریان آشفته در محل دندان‌های ایجاد شده (شرایط گردابه) مدل توربولانسی معادله انرژی به صورت دو مدل زیر تغییر پیدا کرده و با حل عددی مسئله بر اساس روش رایج k-ε توسط نرم افزار فلوئنت مقدار عددی ناسلت متوسط و دیگر پارامترهای مورد نیاز (مانند دما و فشار و سرعت) جهت مقایسه و بررسی در ۷۲ حالت مختلف (رینولدز متغیر، تعداد فازهای مختلف و فواصل مختلف صفحات) به دست خواهد آمد.

- معادله انرژی مدل توربولانسی k :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k - \rho \varepsilon$$

- معادله انرژی مدل توربولانسی □ :

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k + C_{2\rho} \frac{\varepsilon^2}{k}$$

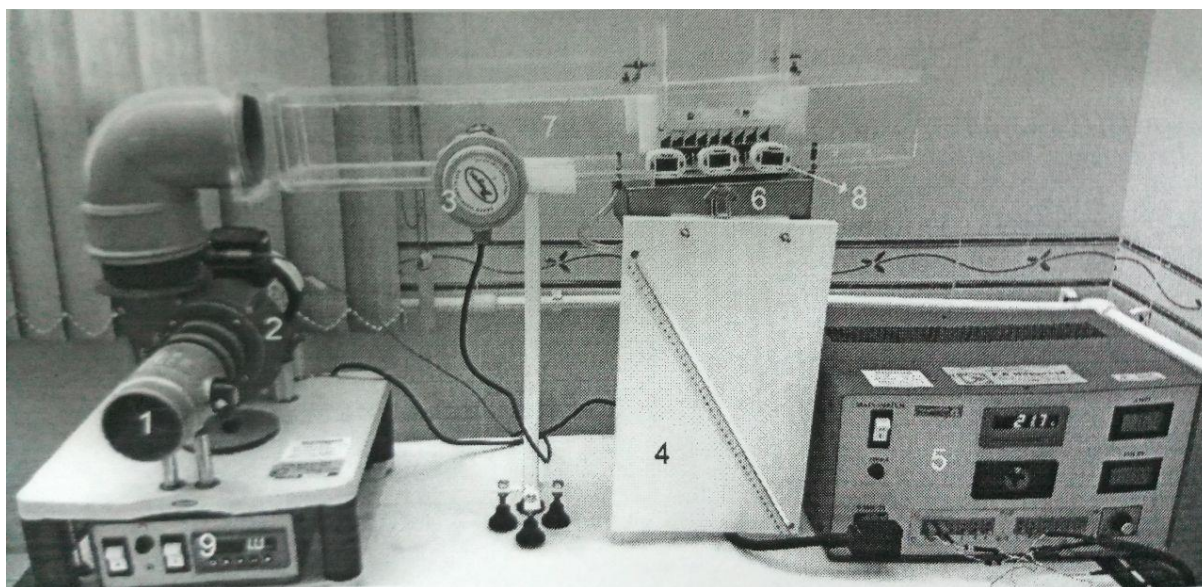
فصل چهارم

نتایج و تفسیر

٤-١- مقدمة :

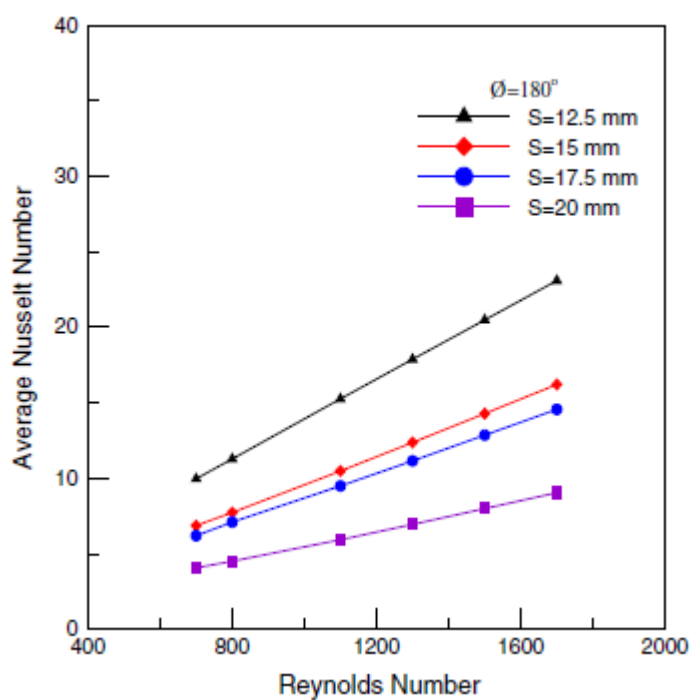
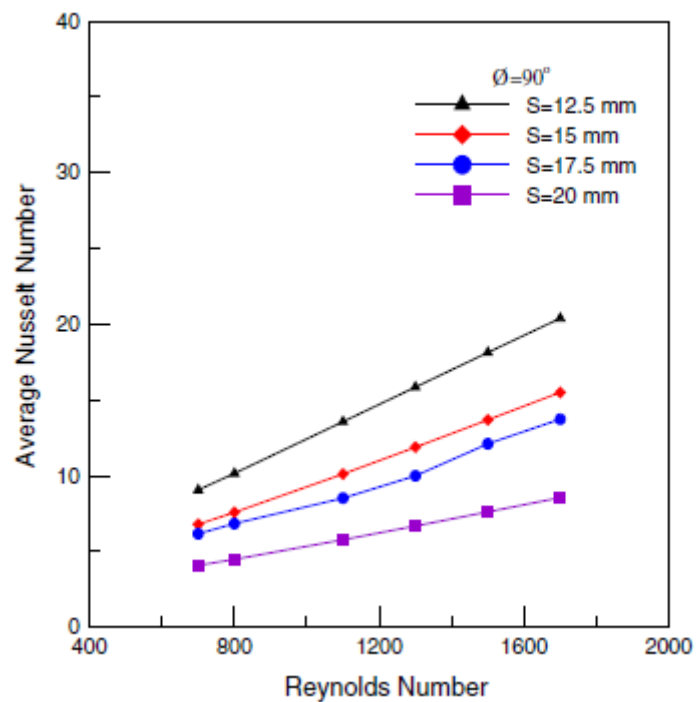
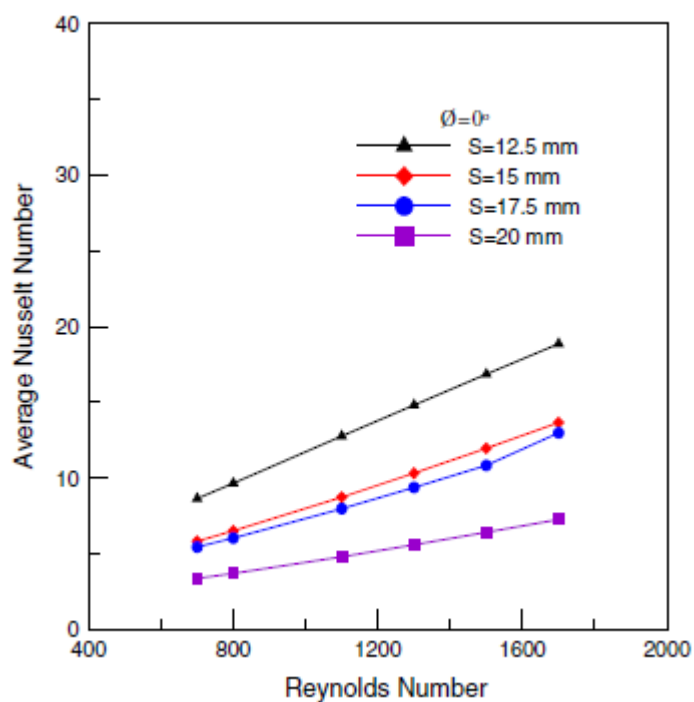
در سال ۲۰۱۷ بررسی های انجام شده به صورت تجربی توسط آقای Hosein Dolat Abadi^۱ بر روی کانال های با صفحات دندانه دار چکمه ای نشان داد که ایجاد این دندانه ها باعث افزایش انتقال حرارت در این کانال ها نسبت به صفحات صاف خواهد شد .

ایشان دستگاهی مطابق شکل زیر را طراحی و با اندازه گیری پارامترهای فشار ، سرعت و دما در نواحی مختلف دیواره کانال مقدار عددی ناسلت متوسط را اندازه گیری کرد :

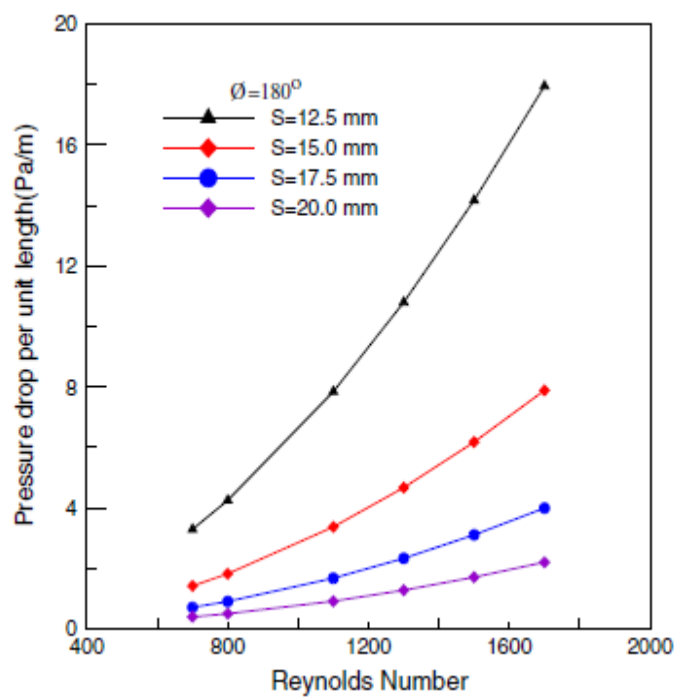
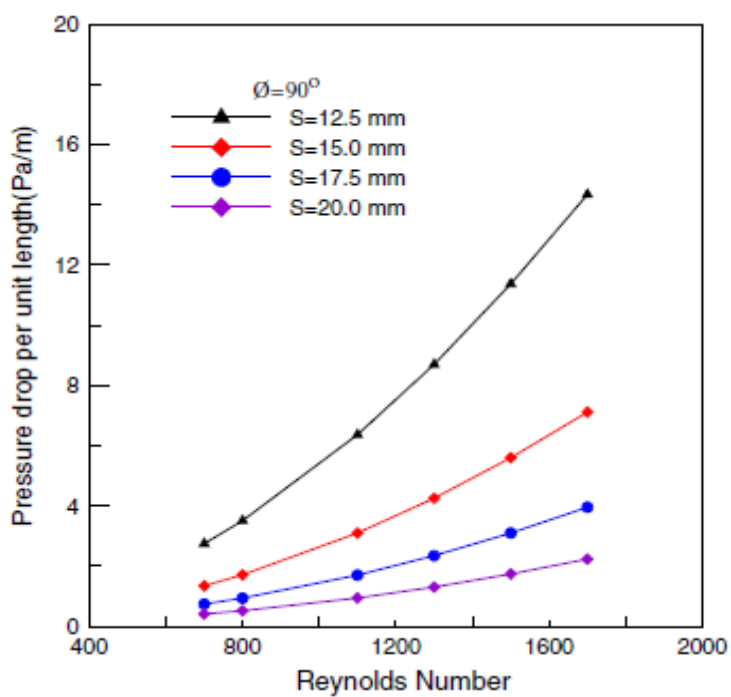
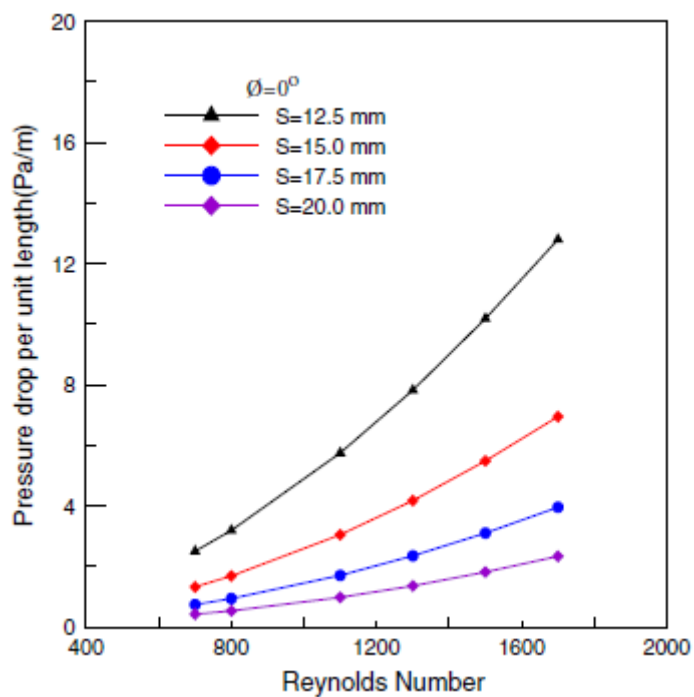


شکل ۱۰-۱ دستگاه طراحی شده جهت بررسی تجربی تاثیر ایجاد زبری در کانال

با تغییر فاصله صفحات و افزایش تدریجی قدرت فن و افزایش تدریجی عدد رینولدز در فاز های مختلف دندانه ها نتایج زیر به دست آمد :



شکل ۴-۲ بررسی تغییرات عدد ناسلت میانگین نسبت به رینولدز های مختلف در فاز های مختلف



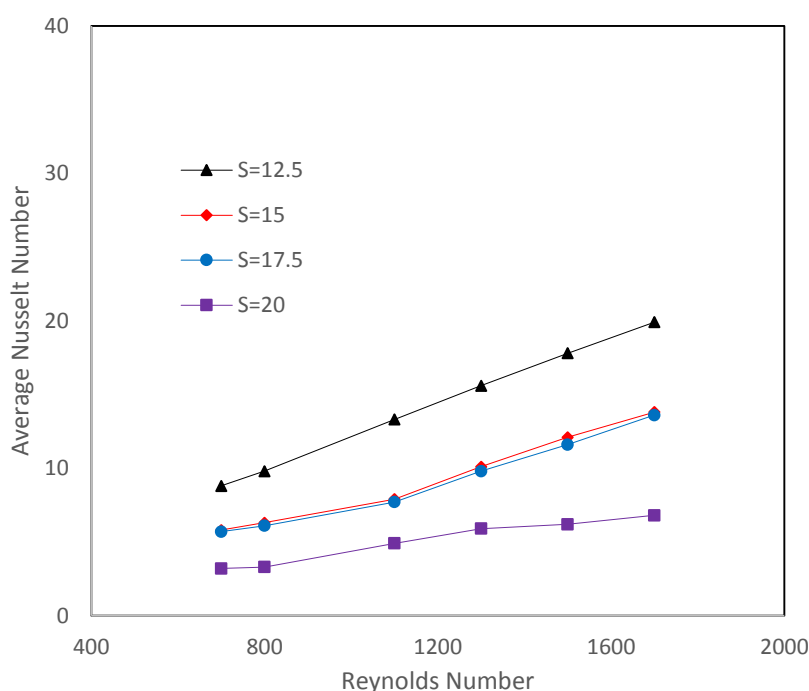
شکل ۳-۴ بررسی تغییرات افت فشار نسبت به عدد رینولدز در فازهای مختلف

۴-۲- نتایج تحقیق حاضر :

نتایج حل عددی مسئله حاضر بر اساس فرضیات مطرح شده در فصل گذشته و با استفاده از نرم افزار فلوئنت بر اساس روش حل معادله k-ε نتایج زیر به صورت نمودار های مختلف ارائه می گردد .

دندانه های دو صفحه را به حالتی قرار می دهیم که با یکدیگر اختلاف فازی نداشته باشند. در عدد های رینولدز متفاوت (۶ عدد رینولدز مختلف) و با فاصله مختلف دو صفحه از یکدیگر (۴ حالت) عدد های ناسلت به دست می آیند. با بررسی نتایج و نمودار زیر مشخص می شود که با افزایش عدد رینولدز و در کمترین فاصله دو صفحه از یکدیگر، مقدار عدد ناسلت بیشتر است. که نشان دهنده بیشترین میزان انتقال حرارت در این حالت می باشد.

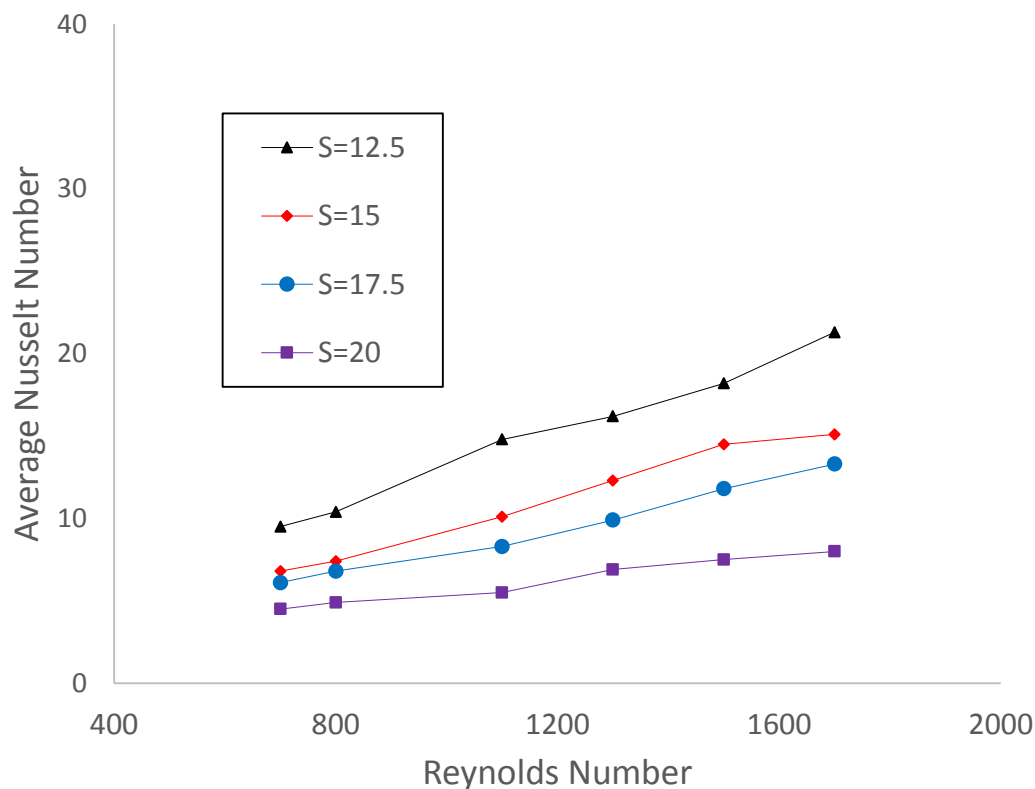
۴-۲-۱ - مقایسه تغییرات ناسلت متوسط با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز ۰°



شکل ۴-۴ بررسی میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای فواصل مختلف صفحات در اختلاف فاز ۰°

۴-۲-۲ - مقایسه تغییرات ناسلت متوسط با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز ۹۰° :

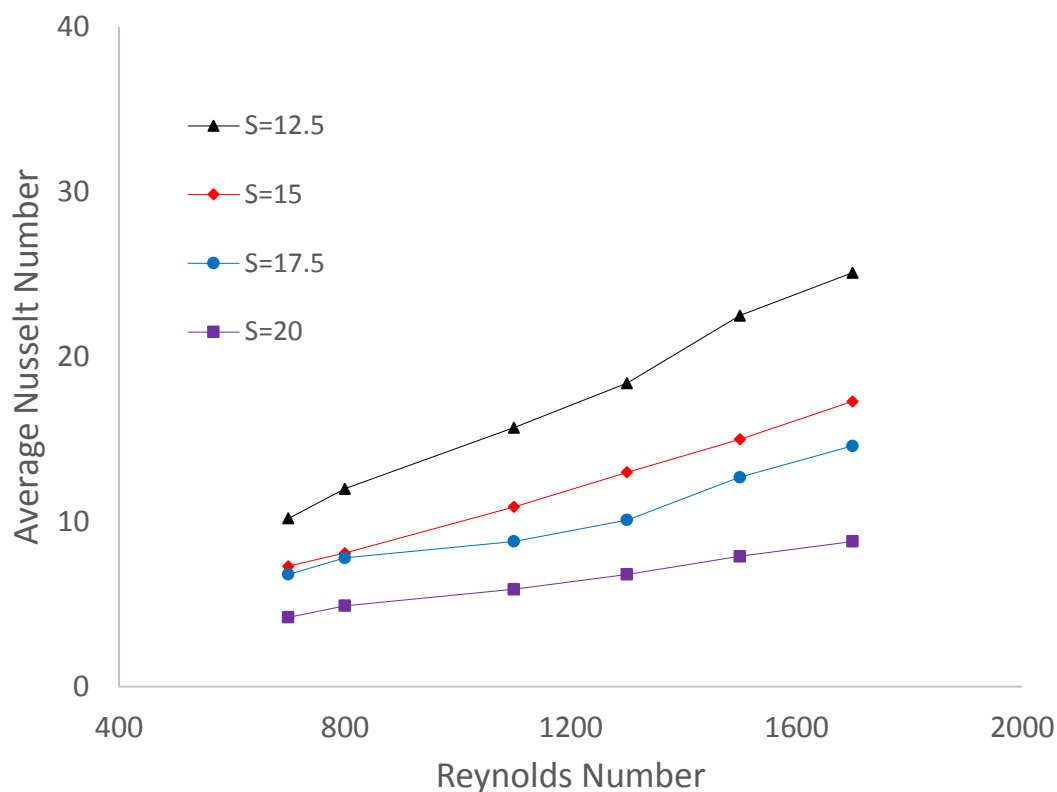
دندانه های دو صفحه را به حالتی قرار می دهیم که با یکدیگر اختلاف فاز ۹۰ درجه داشته باشند. در عدد های رینولدز متفاوت (۶ عدد رینولدز مختلف) و با فاصله مختلف دو صفحه از یکدیگر (۴ حالت) عدد های ناسلت به دست می آیند. با بررسی نتایج و نمودار زیر مشخص می شود که با افزایش عدد رینولدز و در کمترین فاصله دو صفحه از یکدیگر، مقدار عدد ناسلت بیشتر است. که نشان دهنده بیشترین میزان انتقال حرارت در این حالت می باشد.



شکل ۴-۵ بررسی میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای فواصل مختلف صفحات در اختلاف فاز ۹۰

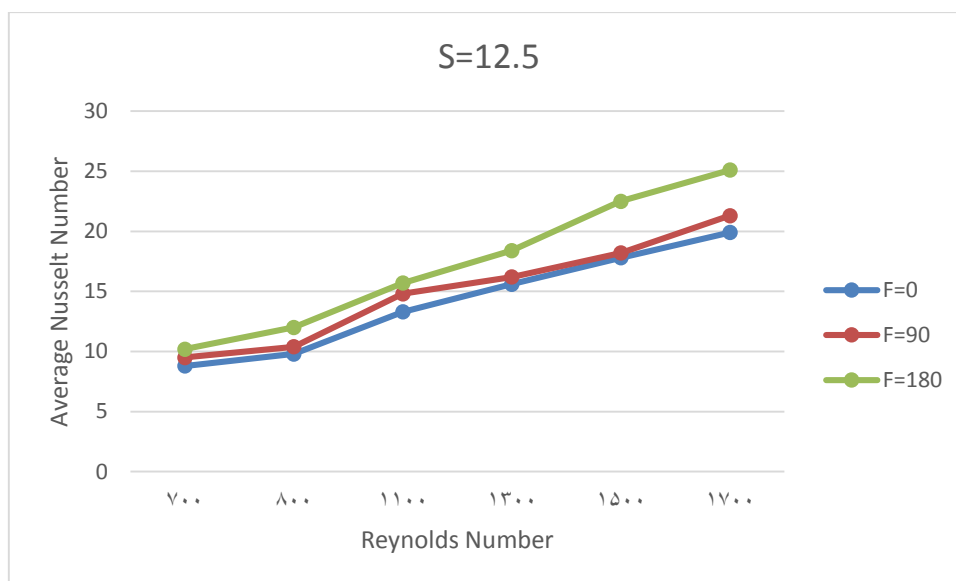
۴-۲-۳- مقایسه تغییرات ناسلت متوسط با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز ۱۸۰°:

دندانه های دو صفحه را به حالتی قرار می دهیم که با یکدیگر اختلاف فاز ۱۸۰ درجه داشته باشند. در عددهای رینولدز متفاوت (۶ عدد رینولدز مختلف) و با فاصله مختلف دو صفحه از یکدیگر (۴ حالت) عددهای ناسلت به دست می آیند. با بررسی نتایج و نمودار زیر مشخص می شود که با افزایش عدد رینولدز و در کمترین فاصله دو صفحه از یکدیگر، مقدار عدد ناسلت بیشتر است. که نشان دهنده بیشترین میزان انتقال حرارت در این حالت می باشد.



شکل ۴-۶ بررسی میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای فواصل مختلف صفحات در اختلاف فاز ۱۸۰

در شکل زیر مشاهده می شود، هنگامی که فاصله دو صفحه را ثابت (۱۲,۵) بگیریم، در رینولدز های مختلف با فازهای مختلف، نوسلت میانگین متفاوت خواهد بود که در اختلاف فاز ۱۸۰ درجه شاهد بیشترین مقدار آن هستیم و سپس در اختلاف فاز ۹۰ مقدار بیشتری دارد و کمترین مقدار نوسلت میانگین متعلق به اختلاف فاز ۰ می باشد.

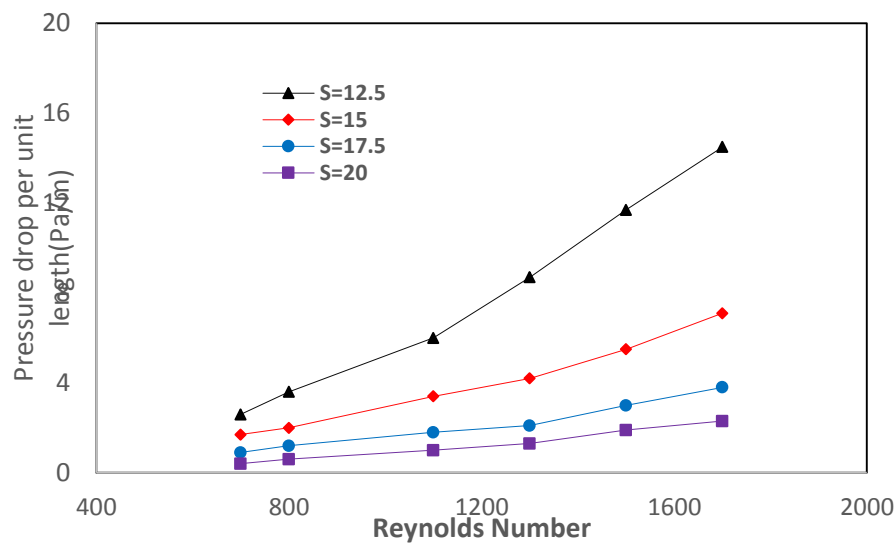


شکل ۷-۴ تغییرات ناسلت متوسط با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فازهای مختلف در فاصله ثابت $S=12.5$

۳-۴- نمودارهای افت فشار در واحد طول

۳-۴-۱- اختلاف فاز ۰ درجه:

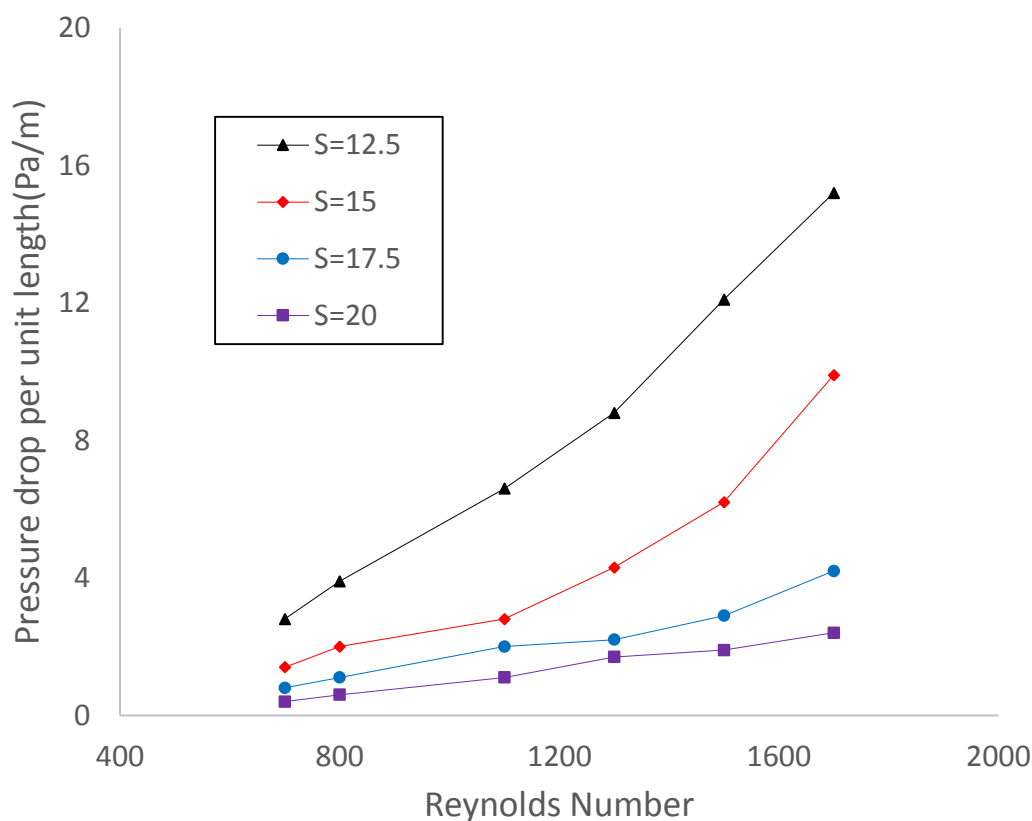
دندانه های دو صفحه را به حالتی قرار می دهیم که با یکدیگر اختلاف فازی نداشته باشند. در عدهای رینولدز متفاوت (۶ عدد رینولدز مختلف) و با فاصله مختلف دو صفحه از یکدیگر (۴ حالت) میزان افت فشار به دست می آید. با بررسی نتایج و نمودار زیر مشخص می شود که با افزایش عدد رینولدز و در کمترین فاصله دو صفحه از یکدیگر، بیشترین افت فشار را شاهد هستیم.



شکل ۴-۸ مقایسه تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز ۰°

۴-۳-۲- اختلاف فاز ۹۰ درجه:

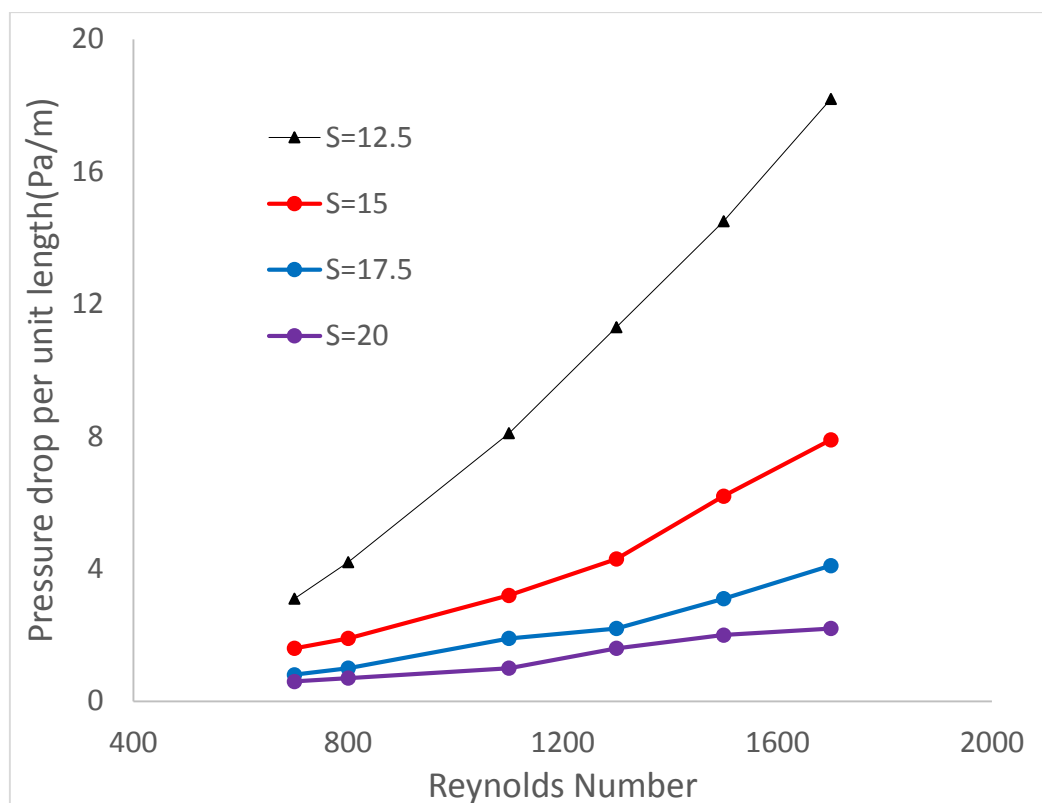
دندانه های دو صفحه را به حالتی قرار می دهیم که با یکدیگر اختلاف فازی به اندازه ۹۰ درجه داشته باشند. در عددهای رینولدز متفاوت (۶ عدد رینولدز مختلف) و با فاصله مختلف دو صفحه از یکدیگر (۴ حالت) میزان افت فشار به دست می آید. با بررسی نتایج و نمودار زیر مشخص می شود که با افزایش عدد رینولدز و در کمترین فاصله دو صفحه از یکدیگر، بیشترین افت فشار را شاهد هستیم.



شکل ۴-۹ تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز 90°

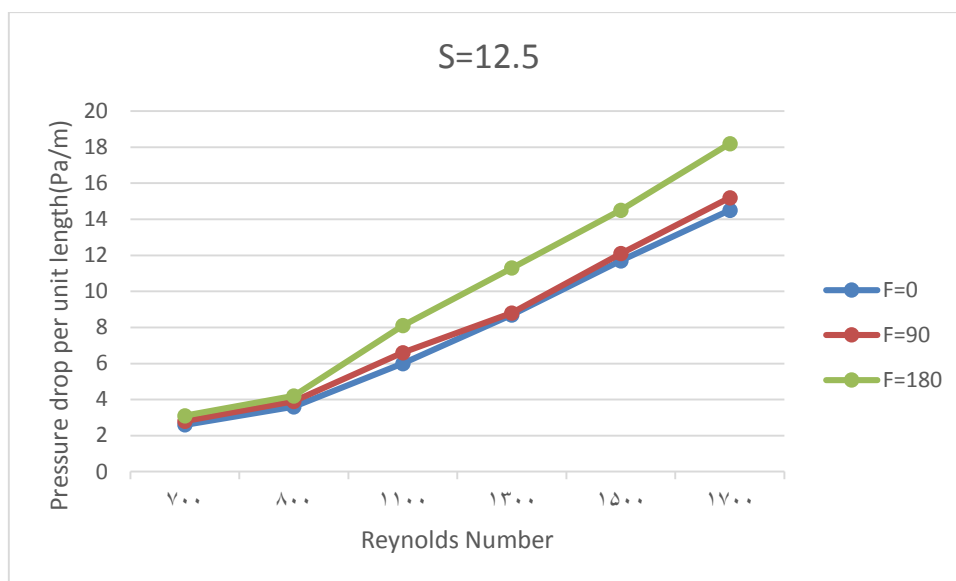
۴-۳-۳- اختلاف فاز 180° درجه:

دندانه های دو صفحه را به حالتی قرار می دهیم که با یکدیگر اختلاف فازی به اندازه 180° درجه داشته باشند. در عددهای رینولدز متفاوت (۶ عدد رینولدز مختلف) و با فاصله مختلف دو صفحه از یکدیگر (۴ حالت) میزان افت فشار به دست می آید. با بررسی نتایج و نمودار زیر مشخص می شود که با افزایش عدد رینولدز و در کمترین فاصله دو صفحه از یکدیگر، بیشترین افت فشار را شاهد هستیم.



شکل ۴-۱۰ تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز 180°

در شکل زیر مشاهده می شود، هنگامی که فاصله دو صفحه را ثابت (۱۲٫۵) بگیریم، در رینولدز های مختلف با فازهای مختلف، تغییرات افت فشار متفاوت خواهد بود که در اختلاف فاز 180° درجه شاهد بیشترین مقدار آن هستیم و سپس در اختلاف فاز 90° مقدار بیشتری دارد و کمترین مقدار نوسلت میانگین متعلق به اختلاف فاز 0° می باشد.



شکل ۴-۱ تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فازهای مختلف در فاصله ثابت $S=12.5$

۴-۳- تغییرات بردار سرعت، کانتور دما و خط جریان:

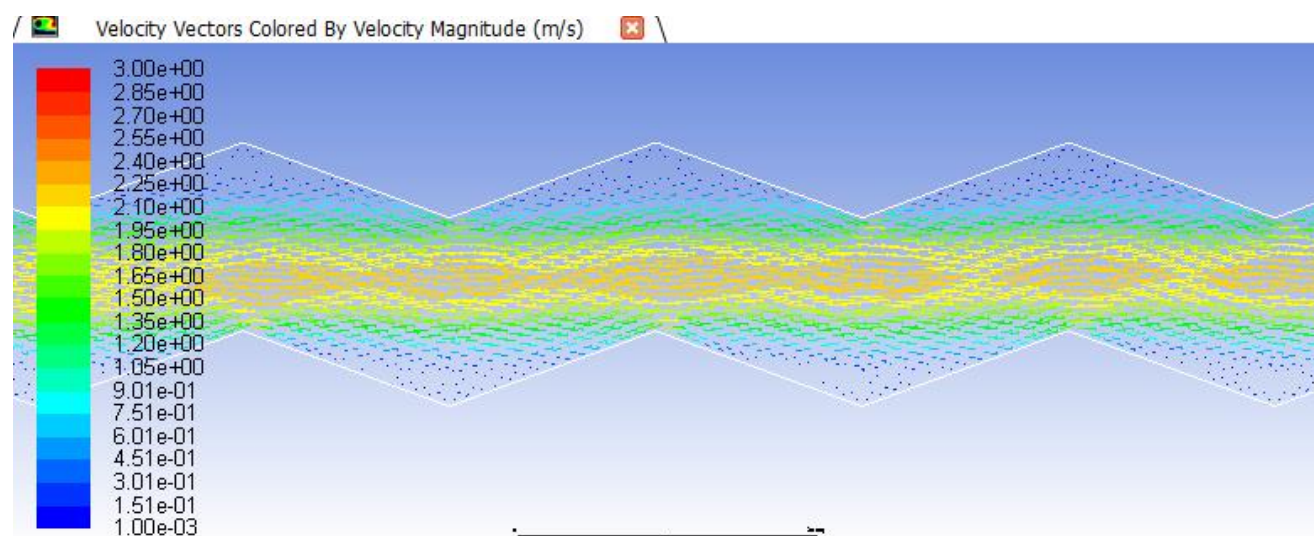
۴-۳-۱- برای فاصله $12/5$ میلیمتر و رینولدز 1100 :

اختلاف فاز 0° درجه:

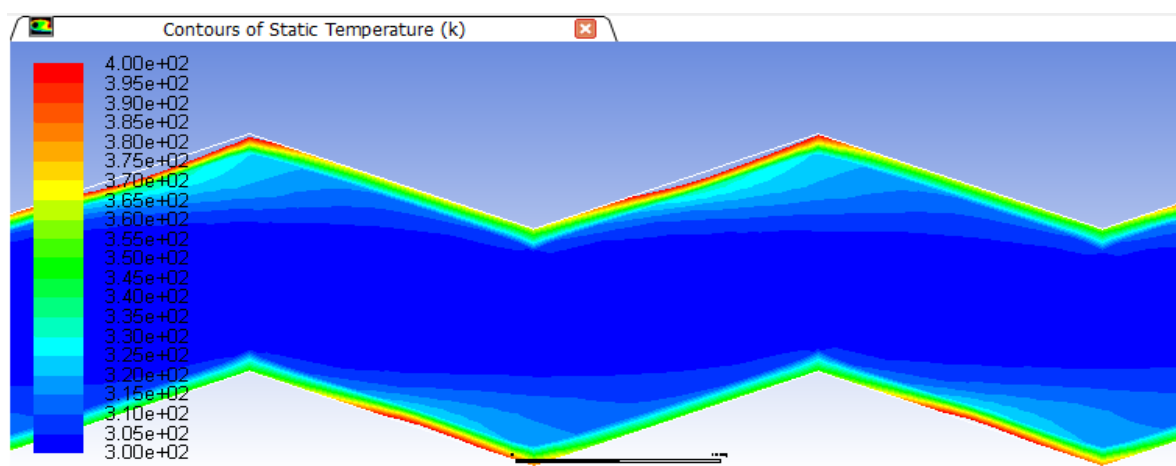
با بررسی شکل بردار سرعت در نرم افزار فلوئنت در حالت اختلاف فاز 0° و فاصله $12/5$ میلیمتری دو صفحه از یکدیگر که کمترین فاصله است و رینولدز 1100 که بیشترین مقدار رینولدز است مشخص می شود، که بیشترین سرعت در مرکز کانال می باشد و هرچه به کناره های کانال و دندانه ها نزدیک می شویم، از سرعت حرکت جریان ها کاسته می شود.

در شکل کانتور دما مشخص است که در کناره کانال و دندانه ها دما بیشتر است و هرچه به سمت مرکز کانال حرکت کنیم دما کاهش می یابد، که علت آن در خط جریان مشخص است.

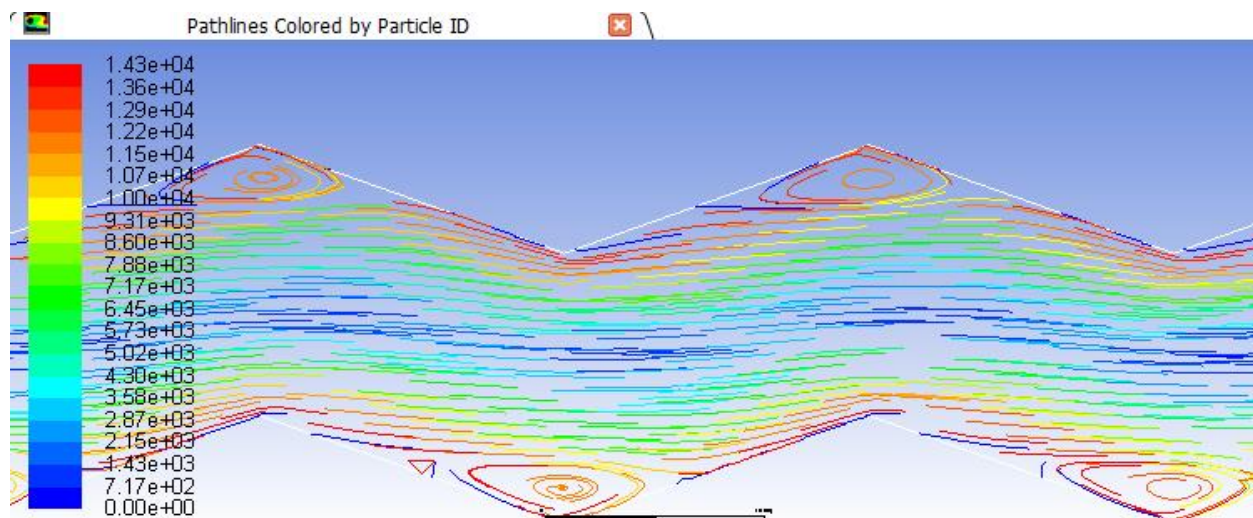
در شکل خط جریان معلوم می شود که در قسمت دندانه ها و در کناره های کانال جریان گردابه ای ایجاد می شود که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش دما در آن نقاط می شود.



شکل ۴-۱۲ بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز *



شکل ۴-۱۳ کانتور دما در کانال با اختلاف فاز *



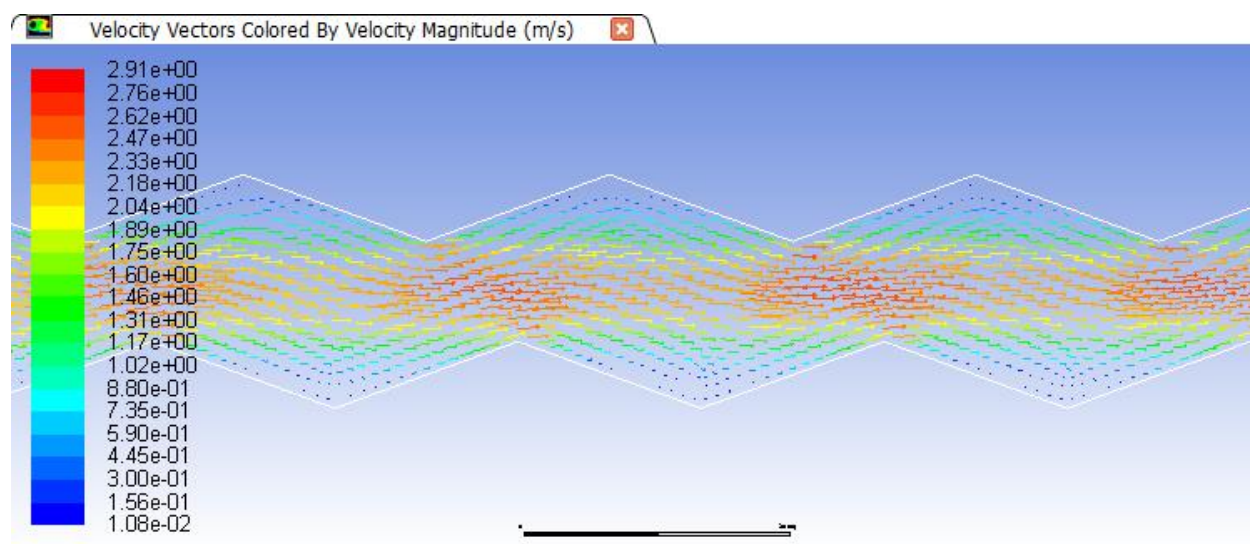
شکل ۴-۱ مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۰

اختلاف فاز ۹۰ درجه:

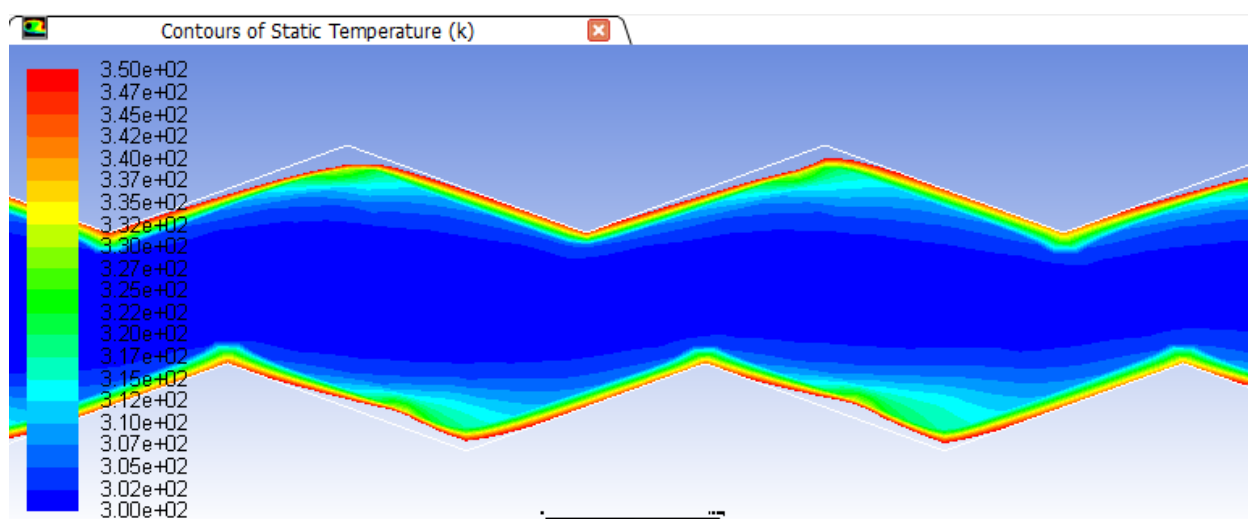
با بررسی شکل بردار سرعت در نرم افزار فلوئنت در حالت اختلاف فاز ۹۰ درجه و فاصله ۱۲/۵ میلیمتری دو صفحه از یکدیگر که کمترین فاصله است و رینولدز ۱۱۰۰ که بیشترین مقدار رینولدز است مشخص می شود، که بیشترین سرعت در مرکز کانال می باشد و هرچه به کناره های کانال و دندانه ها نزدیک می شویم، از سرعت حرکت جریان ها کاسته می شود.

در شکل کانتور دما مشخص است که در کناره کانال و دندانه ها دما بیشتر است و هرچه به سمت مرکز کانال حرکت کنیم دما کاهش می یابد، که علت آن در خط جریان مشخص است.

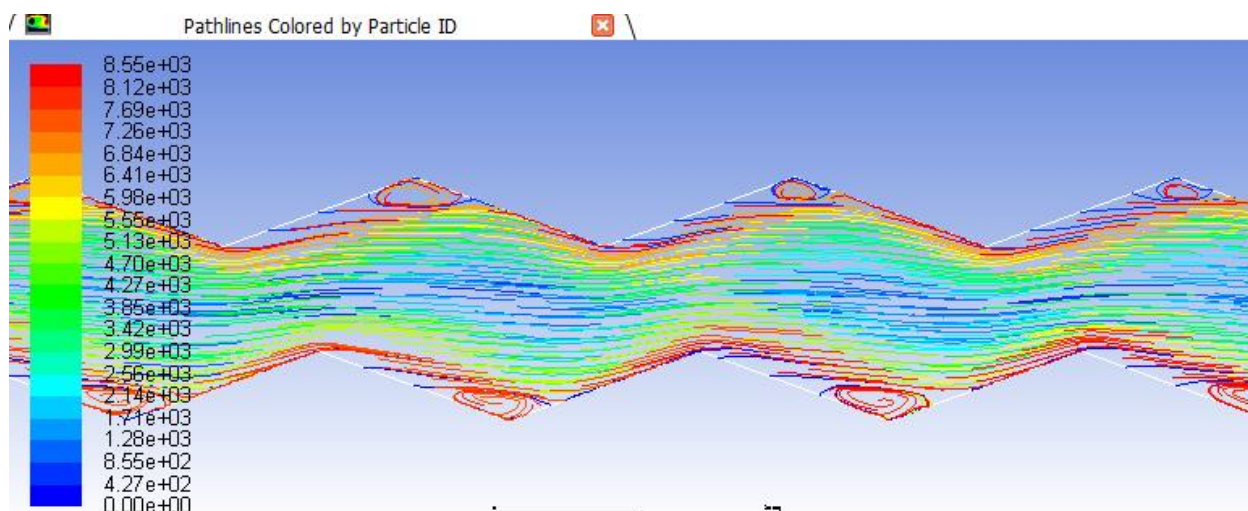
در شکل خط جریان معلوم می شود که در قسمت دندانه ها و در کناره های کانال جریان گردابه ای ایجاد می شود که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش دما در آن نقاط می شود.



شکل ۴-۱۵ بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۹۰



شکل ۴-۱۶ کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۹۰



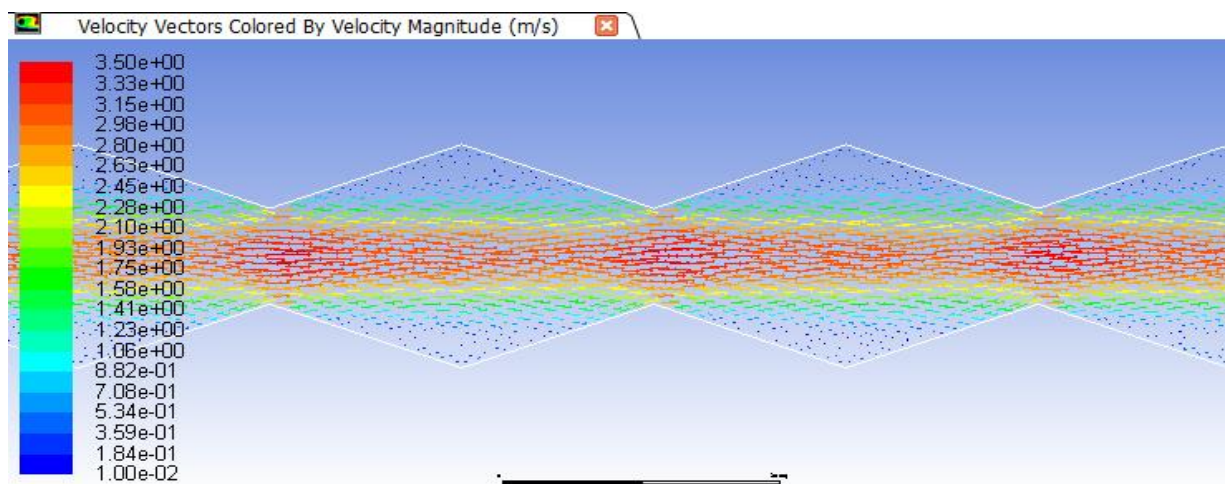
شکل ۴-۱۷ مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۹۰

اختلاف فاز ۱۸۰ درجه:

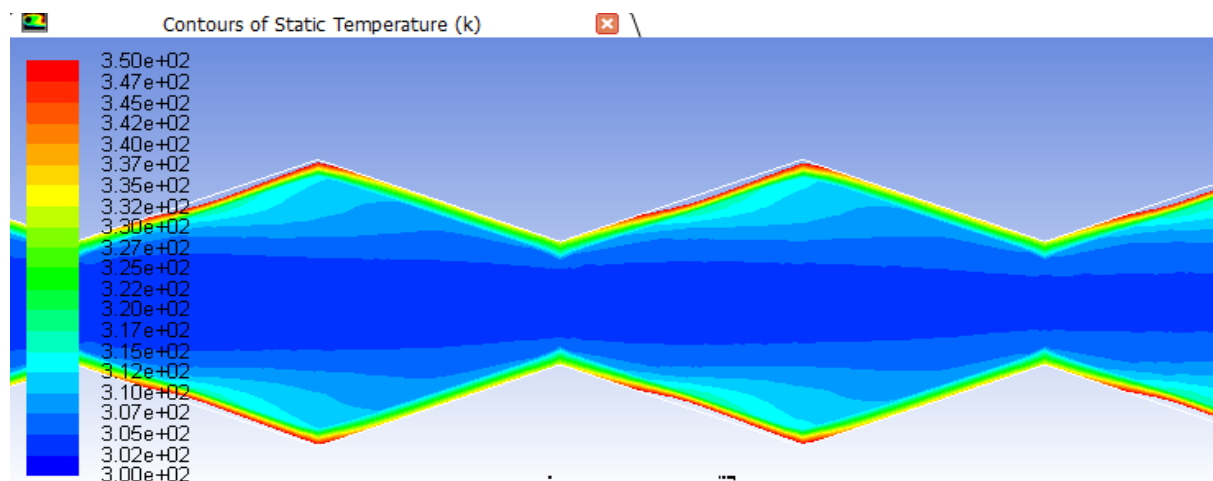
با بررسی شکل بردار سرعت در نرم افزار فلوئنت در حالت اختلاف فاز ۱۸۰ درجه و فاصله ۱۲/۵ میلیمتری دو صفحه از یکدیگر که کمترین فاصله است و رینولدز ۱۱۰۰ که بیشترین مقدار رینولدز است مشخص می شود، که بیشترین سرعت در مرکز کانال می باشد و هرچه به کناره های کانال و دندان ها نزدیک می شویم، از سرعت حرکت جریان ها کاسته می شود.

در شکل کانتور دما مشخص است که در کناره کانال و دندان ها دما بیشتر است و هرچه به سمت مرکز کانال حرکت کنیم دما کاهش می یابد، که علت آن در خط جریان مشخص است.

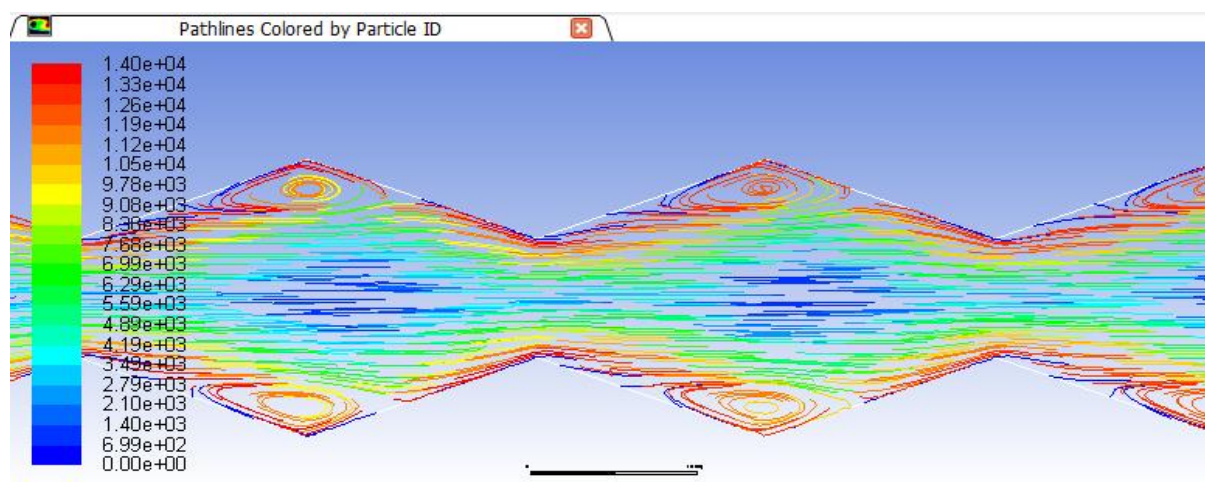
در شکل خط جریان معلوم می شود که در قسمت دندان ها و در کناره های کانال جریان گردابه ای ایجاد می شود که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش دما در آن نقاط می شود.



شکل ۱۸-۴ بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰



شکل ۱۹-۴ کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰



شکل ۴-۲۰ مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰

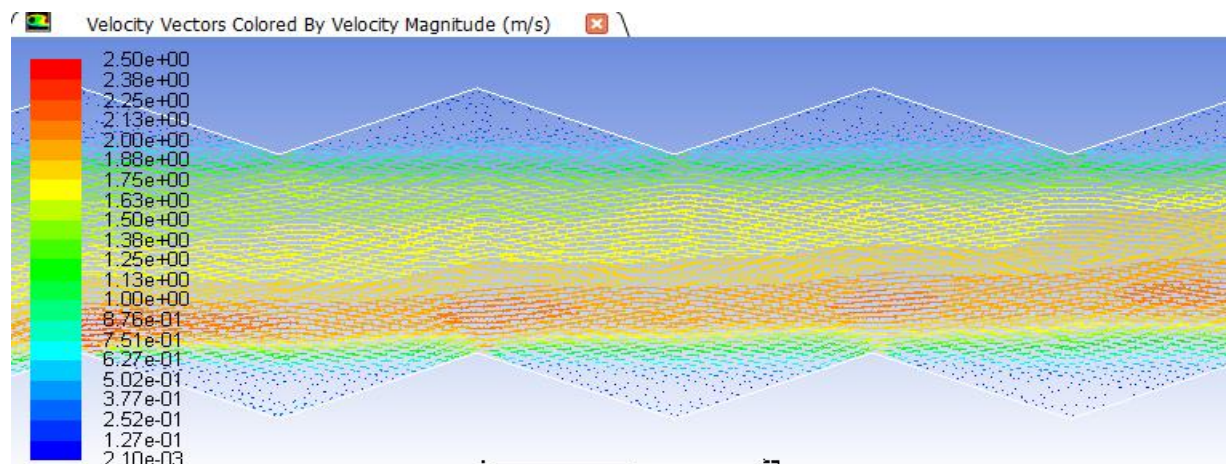
۴-۳-۲- برای فاصله ۲۰ میلیمتر و رینولدز ۱۱۰۰:

اختلاف فاز ۰ درجه:

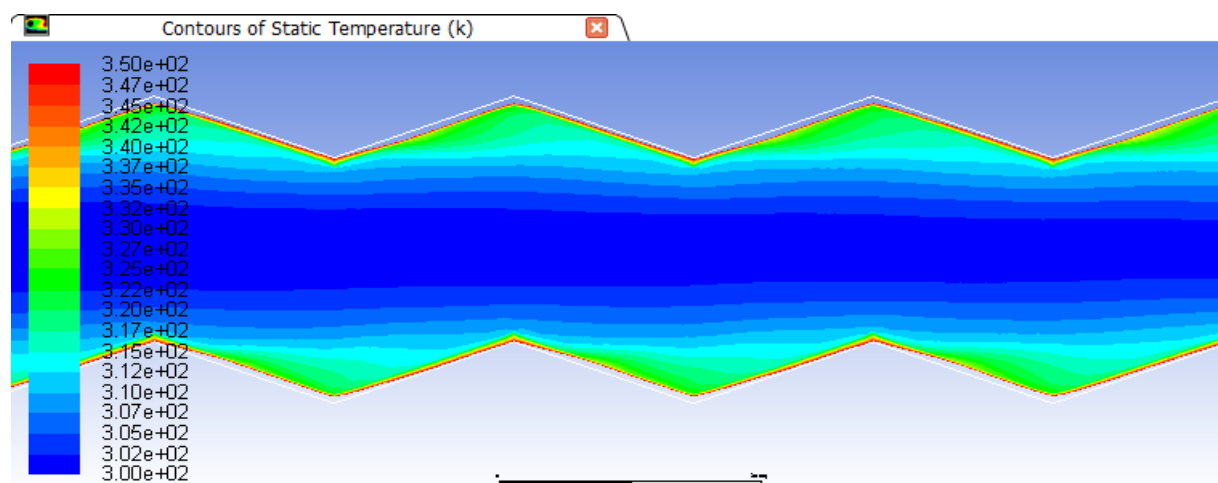
با بررسی شکل بردار سرعت در نرم افزار فلوئنت در حالت اختلاف فاز ۰ درجه و فاصله ۲۰ میلیمتری دو صفحه از یکدیگر که بیشترین فاصله است و رینولدز ۱۱۰۰ که بیشترین مقدار رینولدز است مشخص می شود، که بیشترین سرعت در مرکز کانال می باشد و هرچه به کناره های کانال و دندانه ها نزدیک می شویم، از سرعت حرکت جریان ها کاسته می شود.

در شکل کانتور دما مشخص است که در کناره کانال و دندانه ها دما بیشتر است و هرچه به سمت مرکز کانال حرکت کنیم دما کاهش می یابد، که علت آن در خط جریان مشخص است.

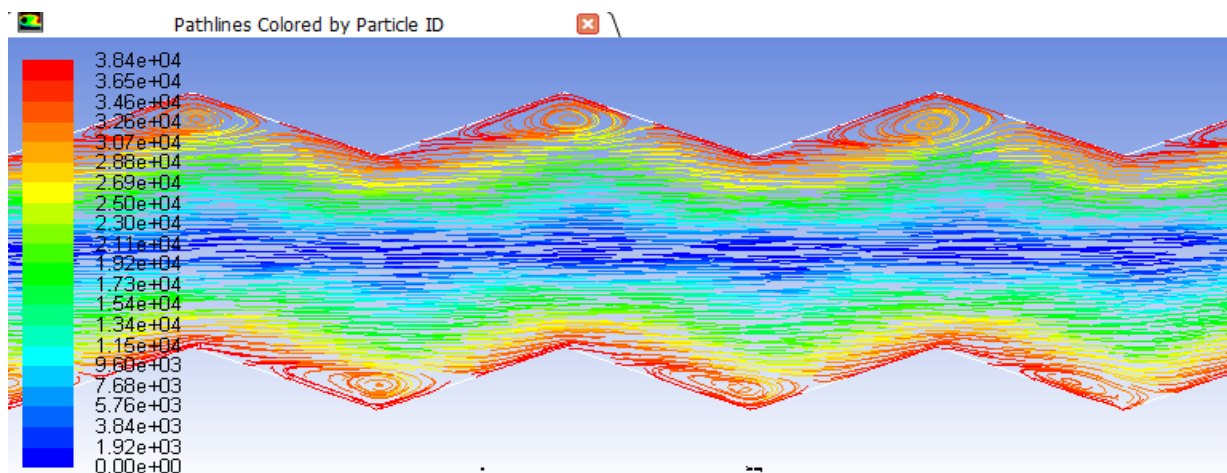
در شکل خط جریان معلوم می شود که در قسمت دندانه ها و در کناره های کانال جریان گردابه ای ایجاد می شود که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش دما در آن نقاط می شود.



شکل ۴-۲۱ بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز •



شکل ۴-۲۲ کانتور دما در کانال با اختلاف فاز •



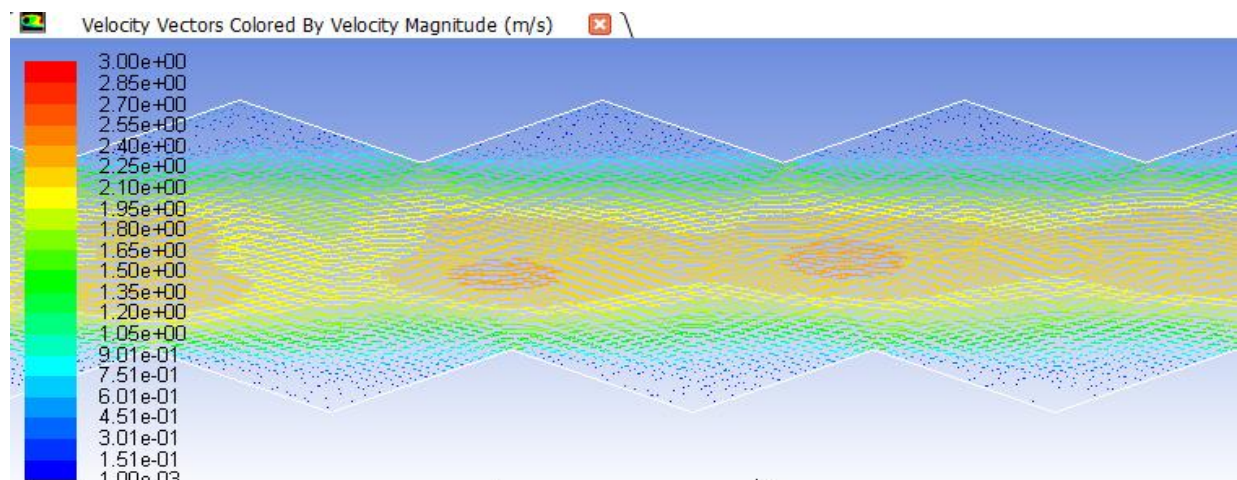
شکل ۴-۲۳ مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۰

اختلاف فاز ۹۰ درجه:

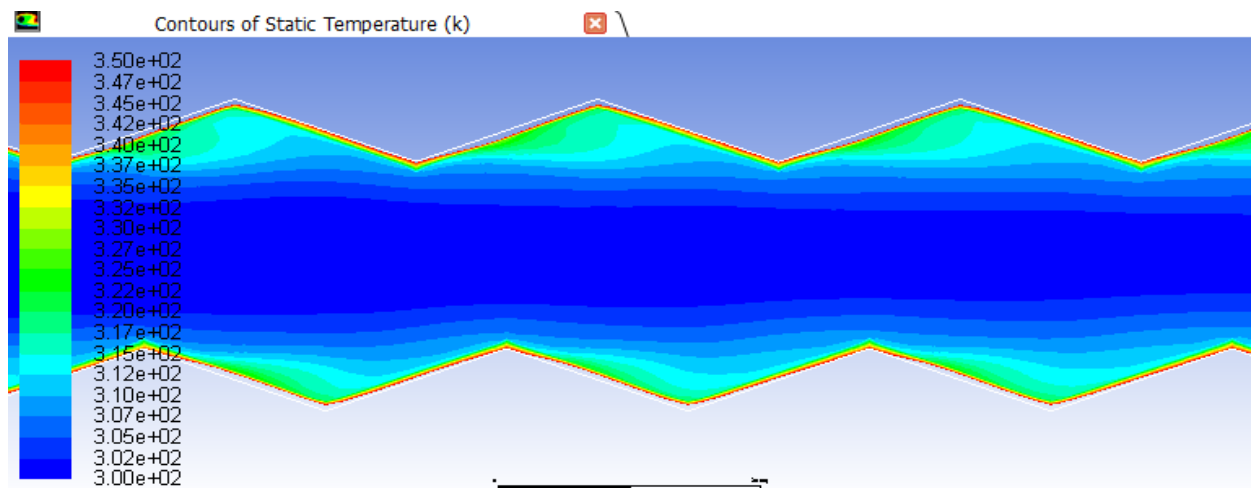
با بررسی شکل بردار سرعت در نرم افزار فلوئنت در حالت اختلاف فاز ۹۰ درجه و فاصله ۲۰ میلیمتری دو صفحه از یکدیگر که بیشترین فاصله است و رینولدز ۱۱۰۰ که بیشترین مقدار رینولدز است مشخص می شود، که بیشترین سرعت در مرکز کانال می باشد و هرچه به کناره های کانال و دندان ها نزدیک می شویم، از سرعت حرکت جریان ها کاسته می شود.

در شکل کانتور دما مشخص است که در کناره کانال و دندان ها دما بیشتر است و هرچه به سمت مرکز کانال حرکت کنیم دما کاهش می یابد، که علت آن در خط جریان مشخص است.

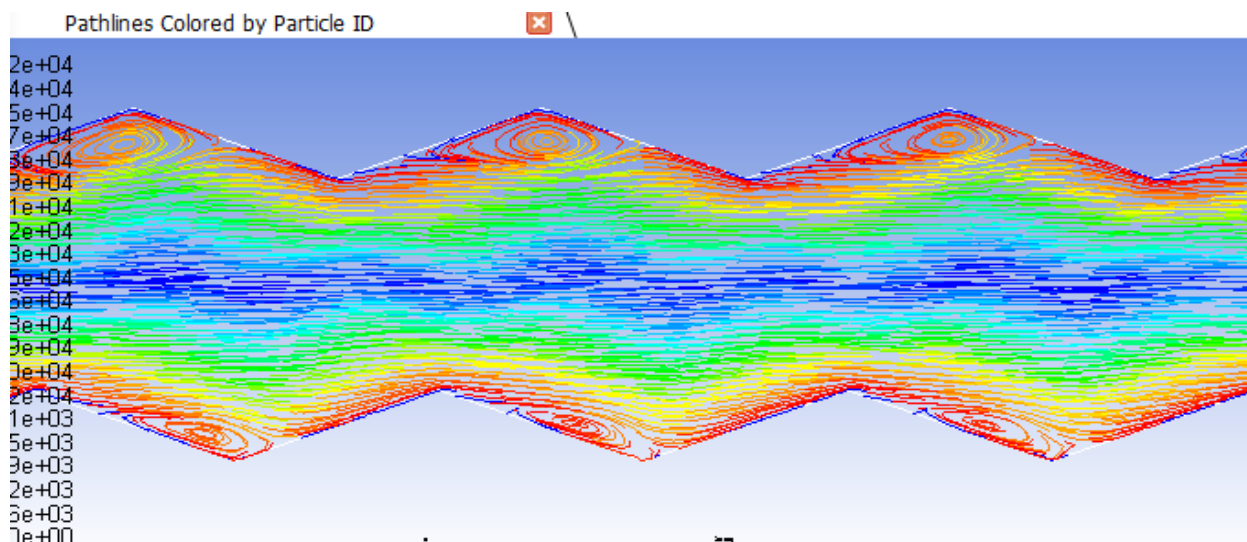
در شکل خط جریان معلوم می شود که در قسمت دندان ها و در کناره های کانال جریان گردابه ای ایجاد می شود که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش دما در آن نقاط می شود.



شکل ۴-۲۴ بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۹۰



شکل ۴-۲۵ کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۹۰



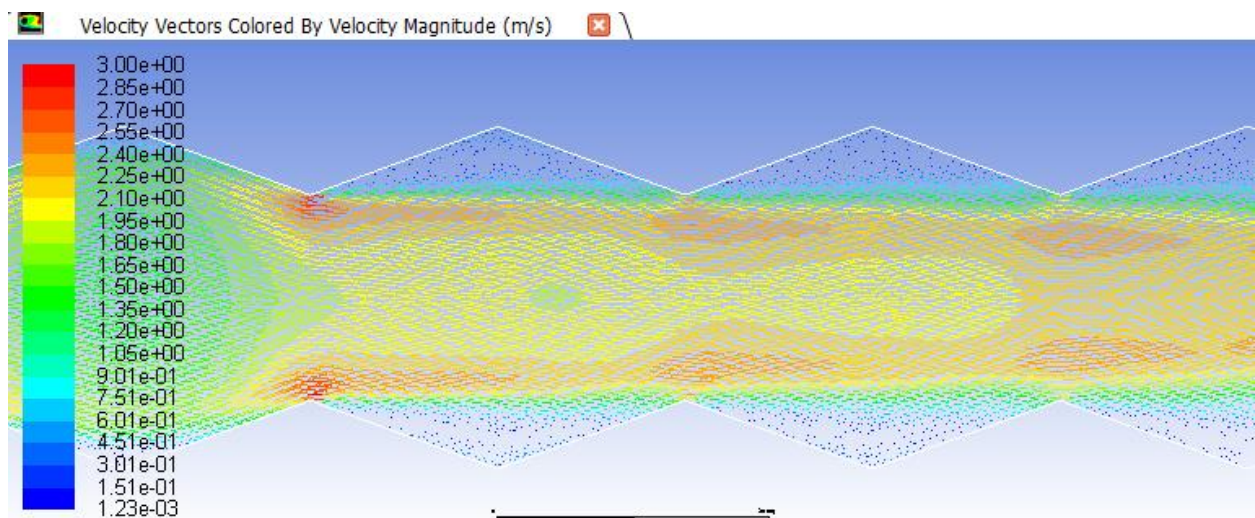
شکل ۴-۲۶ مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۹۰

اختلاف فاز ۱۸۰ درجه:

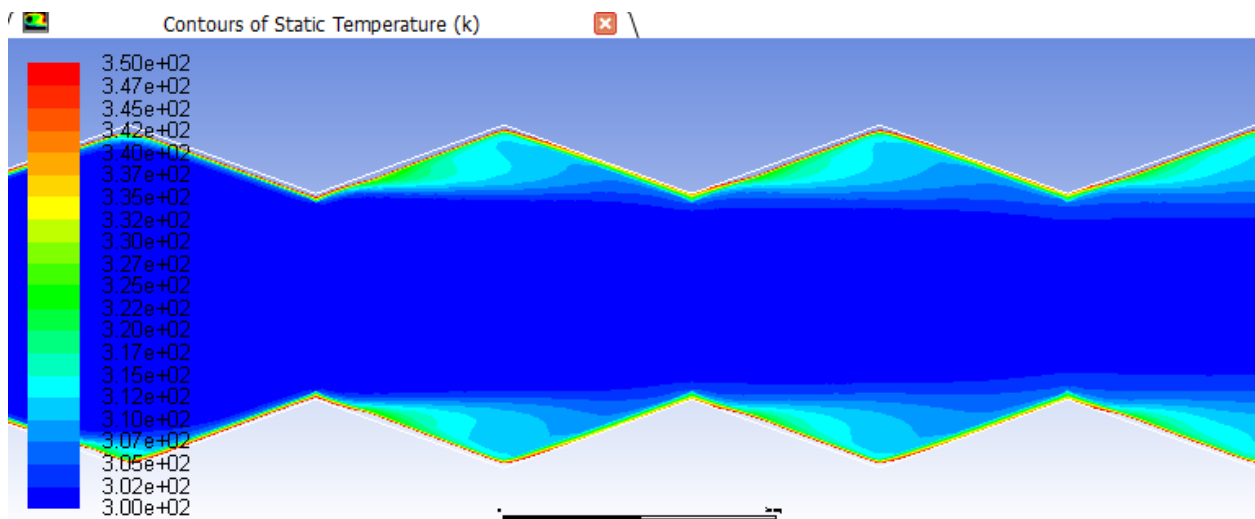
با بررسی شکل بردار سرعت در نرم افزار فلوئنت در حالت اختلاف فاز ۱۸۰ درجه و فاصله ۲۰ میلیمتری دو صفحه از یکدیگر که بیشترین فاصله است و رینولدز ۱۱۰۰ که بیشترین مقدار رینولدز است مشخص می شود، که بیشترین سرعت در مرکز کانال می باشد و هرچه به کناره های کانال و دندانه ها نزدیک می شویم، از سرعت حرکت جریان ها کاسته می شود.

در شکل کانتور دما مشخص است که در کناره کانال و دندانه ها دما بیشتر است و هرچه به سمت مرکز کانال حرکت کنیم دما کاهش می یابد، که علت آن در خط جریان مشخص است.

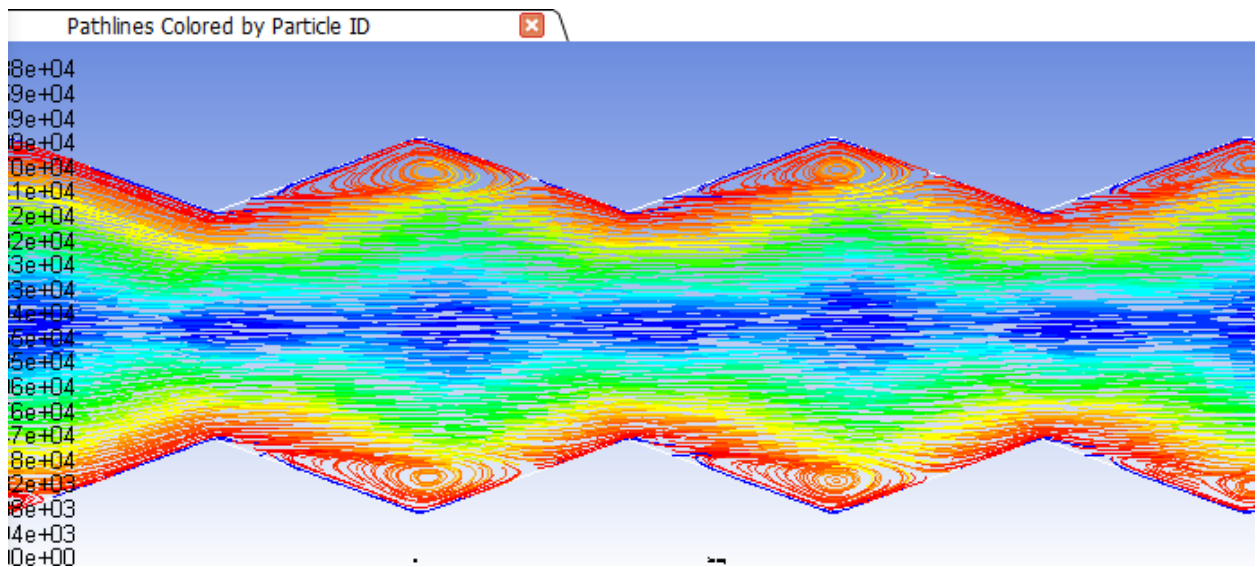
در شکل خط جریان معلوم می شود که در قسمت دندانه ها و در کناره های کانال جریان گردابه ای ایجاد می شود که موجب افزایش انتقال حرارت و افزایش دما در آن نقاط می شود.



شکل ۴-۲۷ بردار سرعت در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰

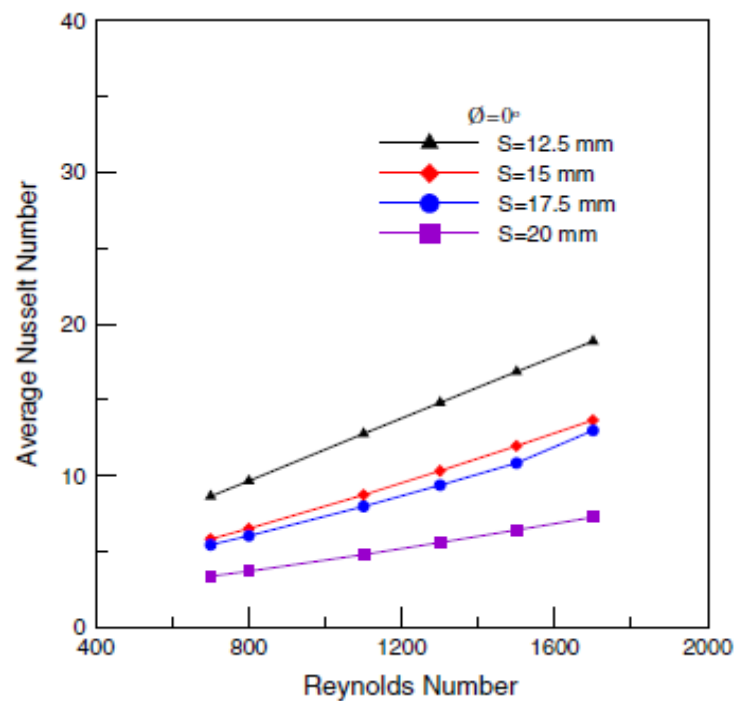
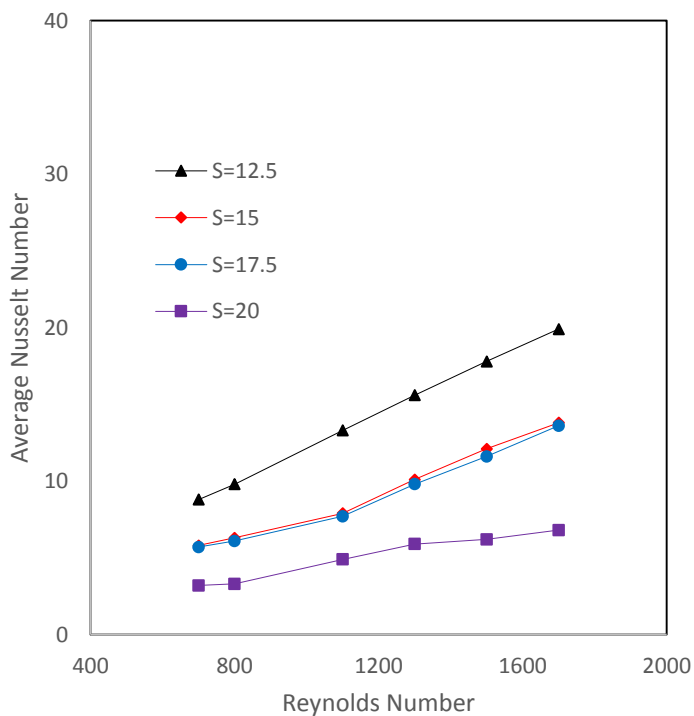


شکل ۴-۲۸ کانتور دما در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰



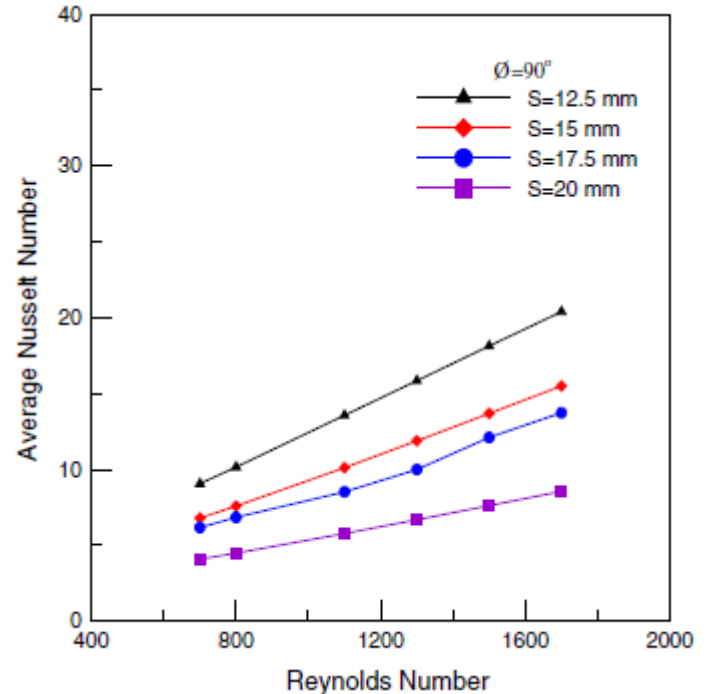
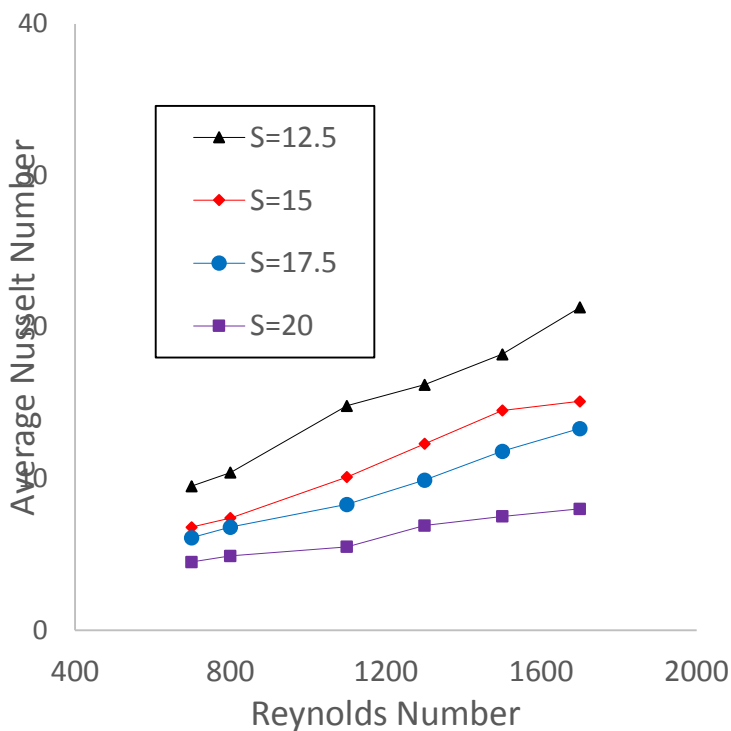
شکل ۴-۲۹ مسیر جریان در کانال با اختلاف فاز ۱۸۰

۴-۴ - اعتبار سنجی نتایج به دست آمده در مسئله حاضر با نتایج تجربی :



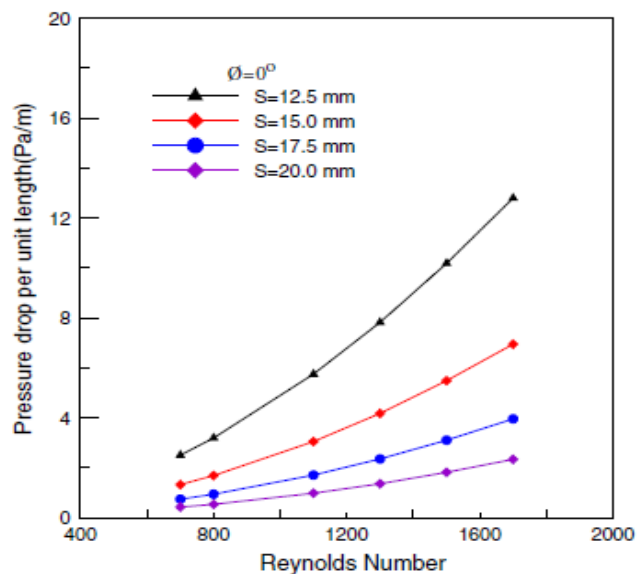
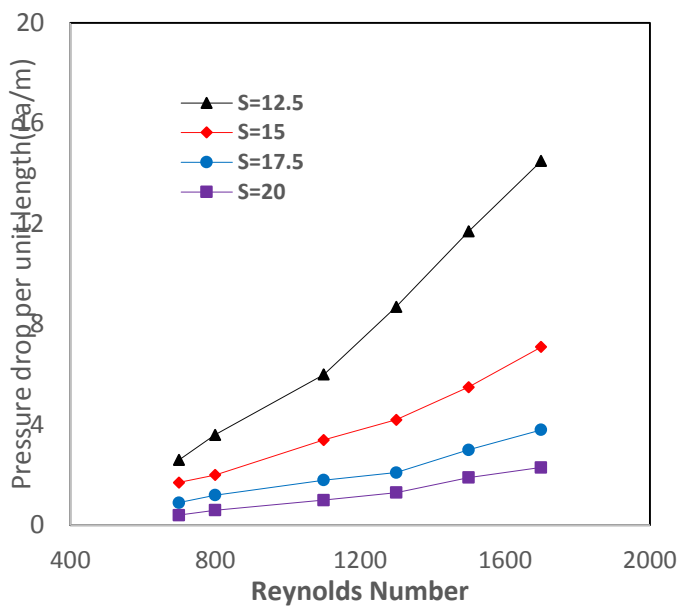
شکل ۴-۳۰ مقایسه میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای فواصل مختلف صفحات در اختلاف فاز صفر (نمودار سمت چپ) با نتایج تجربی (نمودار سمت راست)

به طور مثال با توجه به نمودار مقدار عدد ناسلت میانگین در اختلاف فاز صفر درجه در مقدار رینولدز ۸۰۰ برای اختلاف صفحه ۲۰ میلی متر در روش عددی برابر ۵,۷ خواهد بود که تقریباً برابر با مقدار این عدد در روش تجربی می باشد .



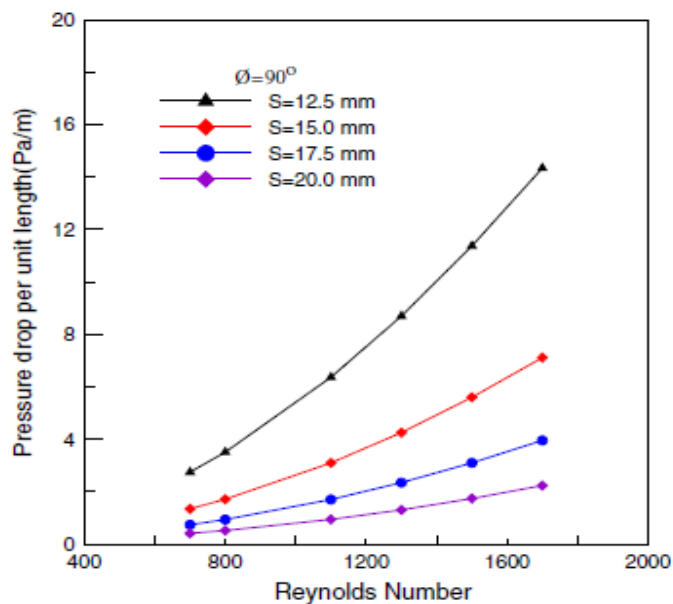
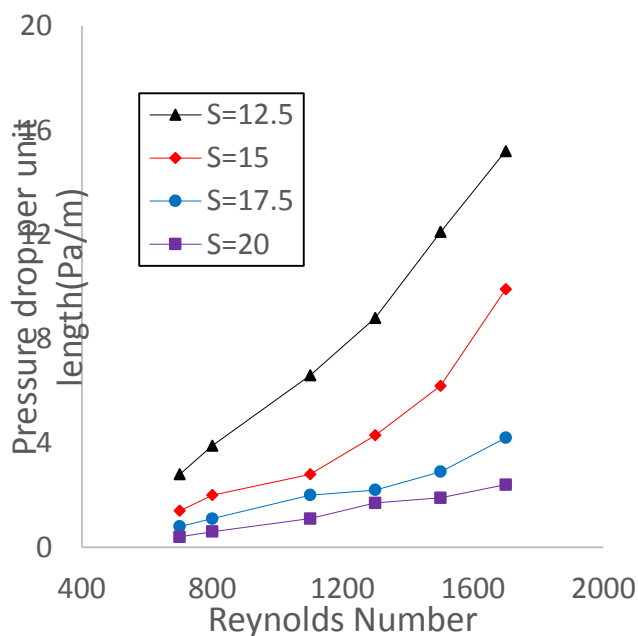
شکل ۴-۳۱: مقایسه میانگین عدد ناسلت بر حسب عدد رینولدز برای فواصل مختلف صفحات در اختلاف فاز ۹۰ (نمودار سمت چپ) با نتایج تجربی (نمودار سمت راست)

به طور مثال با توجه به نمودار مقدار عدد ناسلت میانگین در اختلاف فاز ۹۰ درجه در مقدار رینولدز ۸۰۰ برای اختلاف صفحه ۲۰ میلی متر در روش عددی برابر ۵ خواهد بود که تقریباً برابر با مقدار این عدد در روش تجربی می باشد .



شکل ۴-۳۲: مقایسه تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز 0° با نتایج تجربی

با توجه به نمودار مقدار عدد افت فشار در اختلاف فاز 0° درجه در مقدار رینولدز ۸۰۰ برای اختلاف صفحه ۲۰ میلی متر در روش عددی برابر ۲ خواهد بود که تقریباً برابر با مقدار این عدد در روش تجربی می باشد.



شکل ۴-۳۲: مقایسه تغییرات افت فشار با تغییرات عدد رینولدز در اختلاف فاز 90° با نتایج تجربی

با توجه به نمودار مقدار عدد افت فشار در اختلاف فاز ۹۰ درجه در مقدار رینولدز ۸۰۰ برای اختلاف صفحه ۲۰ میلی متر در روش عددی برابر ۱ خواهد بود که تقریباً برابر با مقدار این عدد در روش تجربی می باشد.

فصل پنجم

جمع بندی و پیشنهاد ها

۵-۱- مقدمه :

استفاده از صفحات مواج امروزه رونق بسیاری را در صنعت به خصوص صنعت مبدل حرارت سازی و پنل های خورشیدی و راکتور های هسته ای جهت خنک سازی استفاده می گردد . در پژوهش انجام شده تاثیر ایجاد زبری به صورت دندانه های مثلثی بر ضریب انتقال حرارت و مقدار افت فشار در کانال در نظر گرفته شده به صورت همزمان ، مورد بررسی قرار گرفت .

جهت به دست آوردن بهینه ترین هندسه مسئله به صورت بیشترین انتقال حرارت و کمترین میزان افت فشار از روش TEF(Thermal enhancement factor) استفاده می کنیم که به صورت زیر خواهد بود :

$$TEF = \frac{\frac{NU}{NU_0}}{\left(\frac{F}{F_0}\right)^{\frac{1}{3}}}$$

TEF = فاکتور بهبود حرارتی (Thermal enhancement factor)

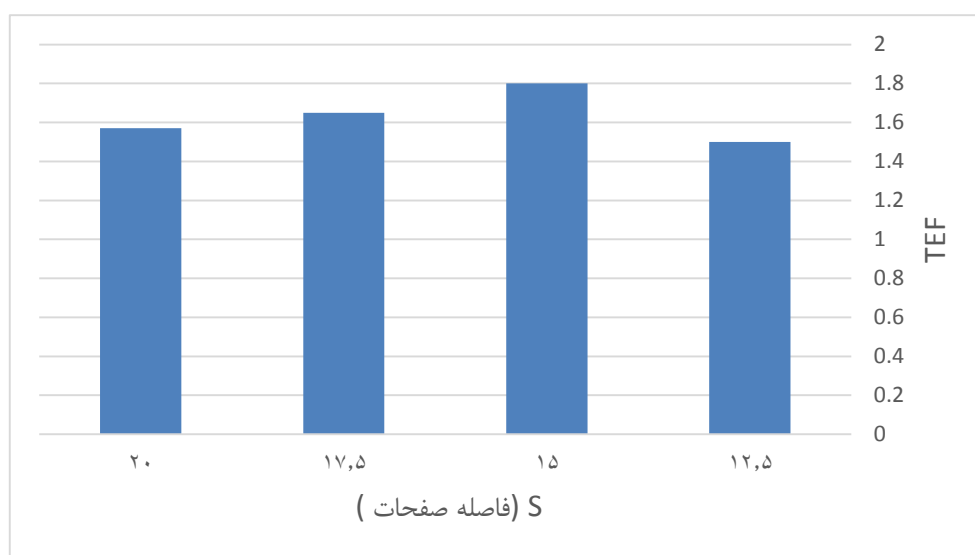
NU = ناسلت روی صفحه شکسته

NU_0 = ناسلت روی صفحه صاف

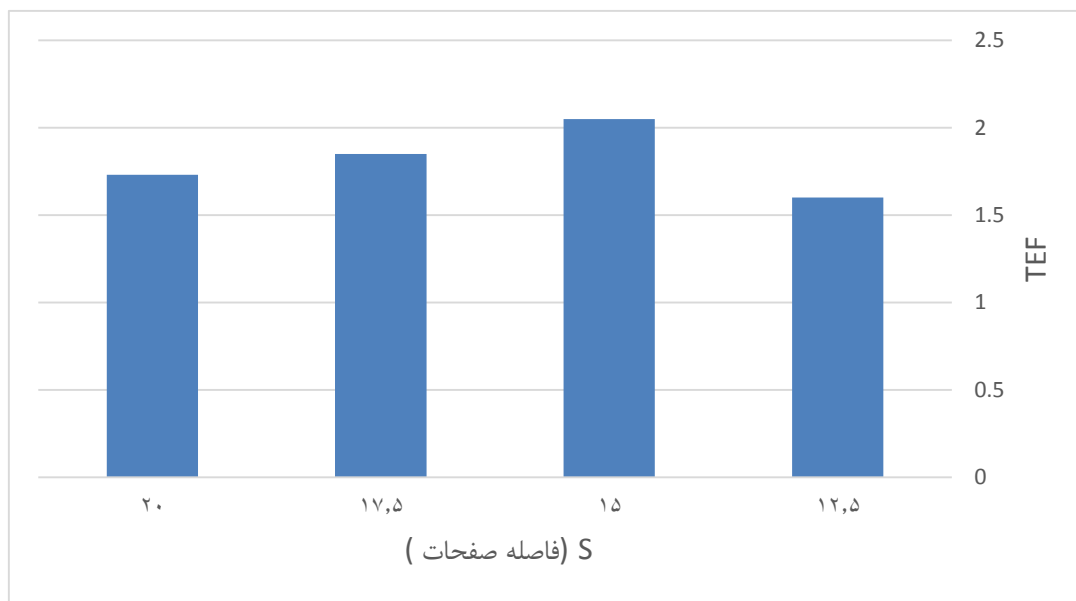
F = ضریب اصطکاک روی صفحه شکسته

F_0 = ضریب اصطکاک روی صفحه صاف

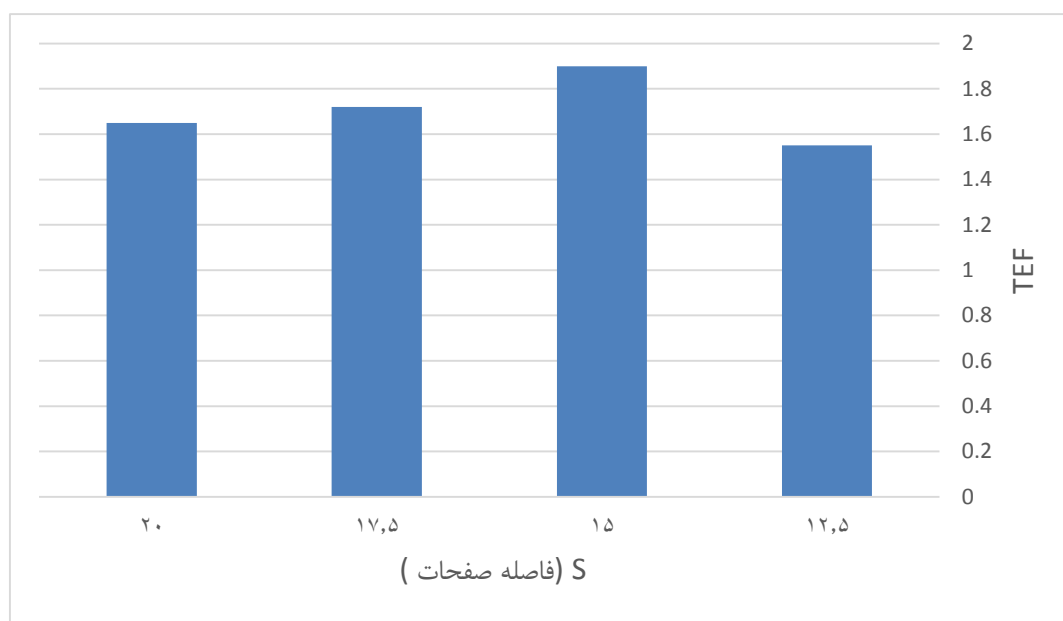
۵-۱-۱- نتایج TEF برای حالت های مختلف مسئله :



شکل ۵-۱: نتایج TEF برای فاز صفر درجه برای فاصله صفحات مختلف



شکل ۲-۵: نتایج TEF برای فاز نود درجه برای فاصله صفحات مختلف



شکل ۳-۵: نتایج TEF برای فاز نود درجه برای فاصله صفحات مختلف

۲-۵ - جمع بندی و نتیجه گیری:

با توجه به نمودار های TEF و مقادیر به دست آمده در پژوهش حاضر نتایج زیر استخراج می گردد .

۱- با مقایسه نمودارها مشخص می شود که بیشترین میزان انتقال حرارت در حالتی است که فاصله دو صفحه از هم ۱۲/۵ میلیمتر است و رینولدز بیشترین مقدار، یعنی ۱۱۰۰ است و دندانه ها با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه از یکدیگر قرار دارند.

۲- وجود دندانه باعث ایجاد گردابه می شود که این امر موجب افزایش انتقال حرارت در کانال می شود.

۳- در نزدیکی دندانه ها به دلیل ایجاد گردابه، دما نیز افزایش می یابد.

۴- بهینه ترین هندسه جهت افزایش مقدار انتقال حرارت و پایین ترین میزان افت فشار فاز ۹۰ درجه و اختلاف صفحه ۱۵ میلی متر خواهد بود .

مراجع

1. Flow structure and heat transfer in a square passage with offset mid-truncated ribs – gongnan xie
2. Evaluatoion of heat transfer performances of various rib shapes mi-ae moon
3. Effects of macro and micro roughness in forced convective heat transfer md.j.nine
4. Numerical and experimental analysis of heat transfer in turbulent flow channels with two dimensional ribs h.t.wang
5. Heat and fluid flow characteristics of roughened solar air heater ducts e a review anil kumar
6. The importance of rib shape effects on the local heat transfer and flow friction characteristics of square duct with ribbed internal surfaces r.kamali
7. Numerical study on heat transfer of turbulent channel flow over periodic grooves smith eiamas-ard
8. Enhancement heat transfer charactristics in the channel with trapezoidal rib groove using nano fluids ali najahal-shamani
9. Effects of rib size and arrangement on forced convective heat transfer in a solar air heater channel sompol skullong
10. Analysis of turbulent heat transfer and fluid flow in channels with various ribbed internal surfaces smith-eiamsa-ard
11. Heat transfer and friction characteristics of rectangular solar air heater duct using rib grooved artificial roughness a.r.jaurker
12. Heat transfer enhancement in a plate heat exchanger with rib roughened surface r.tauscher
13. Augmented heat transfer in a turbulent channel flow with inclined detached ribs k yongsiri

14. Heat transfer and fluid flow analysis of artificially roughened ducts having rib and groove roughness k.r.aharwal
15. Heat transfer and friction in rectangular channels with ribbed or grooved walls y.m.zhang
16. Thermal characteristic of turbulent rib-grooved channels flows smith eiamsa-ard
17. Numerical simulation of fluid flow and heat transfer characteristics in channel with v corrugated plates yue-tzu yang
18. Numerical investigation of heat transfer and fluid flow characteristics inside a wavy channel gong-nan xie
19. Experimental study of forced convective heat transfer in a different arranged corrugated channel h.pehlivan
20. Flow characteristics and thermal performance in chevron type plate heat exchangers jonghyeok lee
21. Turbulent flow and convective heat transfer in a wavy wall channel a.z.dellil
22. Experimental study on cooling performance of sinusoidal-wavy mini channel with different phase shifts Mohamed sakr
23. The investigation of groove geometry effect on heat transfer for internally grooved tubes kadir bilen
24. Effect of nano particle shapes on the heat transfer enhancement in a wavy channel with different phase shifts sh.m.vanaki ,h.a.mohammed
25. Numerical investigation of convective heat transfer and pressure drop in a corrugated heat exchanger channel yasar islamog
26. Convective heat transfer and pressure drop in V-corrugated channel with different phase shifts

Abstract:

With many industries shrinking today, the need to maximize the heat transfer coefficient is felt. Surface roughening causes turbulence of the flow and consequently an increase in the heat transfer coefficient. Ripple surface heat transfer is one of the ways to increase the thermal performance of the system. Ripple surface reduces smooth fluid substrates and converts fluid to turbulent and increases heat transfer rate. This surface roughness is used to cool and increase the heat transfer coefficient of the nuclear reactor, turbine blades and electronic equipment. The purpose of this project is to obtain the optimum geometry for triangular and bootstrap wavy plate and to investigate the effect of fluid velocity and phase difference and the variation of wavy plate distance on heat transfer parameters and to compare numerical and experimental results. In this research, in order to solve the equations governing the flow and temperature field, the numerical method with simple algorithm is used. The turbulence model used in this study is k.. The numerical results for fluid flow with Reynolds number are 3000 to 50,000.

Keywords:

Heat transfer , friction factor , thermal efficiency factor , nusselt , Reynolds , turbulence



Energy Institute of Higher Education

Thesis Title:

**Investigation of heat transfer and pressure drop of
turbulent flow in a chevron channel with deferent
faces**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Science (Doctor of Philosophy) in -----**

By:

Mohammad heidary sabet

Supervisor:

Dr. majid mirzaei

Advisor:

Dr. heidar maddah

November 2019