

**دانشکده مهندسی مکانیک**

**گزارش پروژه درس انتقال حرارت پیشرفته**

**رشته مهندسی مکانیک**

**گرايش تبدیل انرژی**

شبیه سازی عددی انتقال حرارت جابجایی بر روی یک صفحه تخت با هندسه‌های پوشش مختلف

**نگارنده**

سجاد خدادادی

**استاد**

دکتر محمد مهدی هیهات

تابستان 1397



فهرست مطالب

**عنوان صفحه**

[1- تعریف مساله، معادلات حاکم و شرایط مرزی 2](#_Toc517827180)

[2- فرضیات مساله 2](#_Toc517827181)

[3- تنظیمات انجام شده در نرم افزار 4](#_Toc517827182)

[3-1 محاسبه خواص سیال 4](#_Toc517827183)

[3-1-1 محاسبه دمای فیلم شرط مرزی صفحه دما ثابت 4](#_Toc517827184)

[3-2 تنظیم شرایط مرزی 4](#_Toc517827185)

[3-2-1 شرط مرزی ورودی 5](#_Toc517827186)

[3-2-2 شرط مرزی خروجی 5](#_Toc517827187)

[3-2-3 شرط مرزی صفحه تخت دارای ضخامت 5](#_Toc517827188)

[3-2-3-1 شرط مرزی سرعت 5](#_Toc517827189)

[3-2-3-2 شرط مرزی حرارتی 5](#_Toc517827190)

[3-2-4 شرط مرزی در مرز بالایی هندسه 5](#_Toc517827191)

[3-3 تنظیمات حلگر 5](#_Toc517827192)

[4- بررسی استقلال حل از شبکه 6](#_Toc517827193)

[5- اعتبارسنجی نتایج حل عددی 7](#_Toc517827194)

[5-2 اعتبار سنجی نتایج برای جریان بر روی یک صفحه تخت 7](#_Toc517827195)

[5-2 اعتبار سنجی نتایج برای جریان بر روی یک صفحه تخت دارای ضخامت 9](#_Toc517827196)

[5-3 اعتبار سنجی نتایج برای جریان آشفته بر روی یک صفحه تخت 11](#_Toc517827197)

[5-4 اعتبار سنجی نتایج برای جابجایی آزاد درون یک حفره 13](#_Toc517827198)

[6- نتایج حاصل 14](#_Toc517827199)

[6-1 بررسی انتقال حرارت صفحه دارای پوشش با تابع ثابت(t=0) 14](#_Toc517827200)

[6-2 بررسی انتقال حرارت صفحه دارای پوشش با تابع ثابت(t=C) 15](#_Toc517827201)

[6-3 بررسی انتقال حرارت صفحه دارای پوشش با تابع خطی(t=Cx) 16](#_Toc517827202)

[6-4 بررسی انتقال حرارت صفحه دارای پوشش با تابع رادیکالی و توان 2 17](#_Toc517827203)

[6-5 بررسی تاثیر عدد رینولدز بر شار حرارتی و ضریب انتقال حرارت جابجایی صفحه 18](#_Toc517827204)

[7- جمع بندی 20](#_Toc517827205)

فهرست شكل‌ها

**عنوان صفحه**

[شکل ‏2‑1 شکل کلی مساله 2](#_Toc517827242)

[شکل ‏4‑2 نمودار استقلال حل از شبکه برای عدد ناسلت در حالت صفحه با ضخامت ثابت 7](#_Toc517827243)

[شکل ‏5‑1 نمودار مقایسه حل عددی و تشابهی برای ناسلت صفحه شار ثابت 9](#_Toc517827244)

[شکل ‏5‑2 نمودار مقایسه حل عددی و تشابهی برای ضریب اصطکاک 9](#_Toc517827245)

[شکل ‏6‑3 شکلی کلی مساله 10](#_Toc517827246)

[شکل ‏6‑4 آهنگ کلی انتقال حرارت دیوار پوشیده شده با لایه‌ای به ضخامت یک‌نواخت 11](#_Toc517827247)

[شکل ‏6‑1 شکل کلی مساله 11](#_Toc517827248)

[شکل ‏6‑1 مقایسه تغییرات عدد ناسلت در طول صفحه برای مدل‌های ارائه شده 12](#_Toc517827249)

[شکل ‏6‑5 نمایش شرط مرزی در جابجایی آزاد 13](#_Toc517827250)

[شکل ‏6‑5 خطوط جریان و خطوط هم‌دما در جابجایی آزاد برای  14](#_Toc517827251)

[شکل ‏7‑1 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت بدون ضخامت 15](#_Toc517827252)

[شکل ‏7‑2 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با ضخامت ثابت 16](#_Toc517827253)

[شکل ‏7‑3 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با پوشش خطی 16](#_Toc517827254)

[شکل ‏7‑4 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با پوشش رادیکالی 17](#_Toc517827255)

[شکل ‏7‑5 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با پوشش توان 2 17](#_Toc517827256)

[شکل ‏7‑6 تاثیر عدد رینولدز بر ضریب انتقال حرارت جابجایی 18](#_Toc517827257)

[شکل ‏7‑7 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با پوشش توان 2 18](#_Toc517827258)

[شکل ‏7‑8 مقایسه جابجایی اجباری و ترکیب جابجایی آزاد و اجباری بر ضریب انتقال حرارت صفحه 19](#_Toc517827259)

فهرست جداول

**عنوان صفحه**

[جدول ‏5‑1 مقادیر میانگین خطای نسبی برای پارامترهای گزارش شده حل عددی نسبت به حل تشابهی 8](#_Toc517827260)

چكيده

روش پل‌هاوسن برای حل مسائل انتقال حرارت در لایه مرزی روی یک دیواره غیرقابل نفوذ بر این فرض استوار است که دیواره دارای دما ثابت است. در اینجا حالت کلی‌تری در نظر گرفته می‌شود که در آن دیواره دما ثابت با یک ماده جامد با ضریب رسانش پوشانده شده است. در این مساله تاثیر هندسه پوشش و عدد رینولدز بر میزان انتقال حرارت صفحه مورد بررسی قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی در رینولدز بالا از مدل‌های توربولانسی استفاده شده است. در رینولدزهای پایین نیز جابجایی طبیعی در مساله فعال شده و مقایسه ای بین ترکیب جابجایی طبیعی و اجباری و جابجایی اجباری انجام شده است.

# **تعریف مساله، معادلات حاکم و شرایط مرزی**

روش پل‌هاوسن برای حل مسائل انتقال حرارت در لایه مرزی روی یک دیواره غیرقابل نفوذ بر این فرض استوار است که دیواره دارای دما ثابت است. در اینجا حالت کلی‌تری در نظر گرفته می‌شود که در آن دیواره دما ثابت با یک ماده جاند با ضریب رسانش پوشانده شده است. ضخامت این لایه می‌تواند غیریکنواخت باشد(t(x)). اما در هر صورت ضخامت این لایه به اندازه کافی کوچک‌تر از طول دیواره L است تا بتواند از رسانش طولی در این لایه صرف نظر کرد. ضخامت t(x) برای وضوح بیش‌تر بصورت بزرگنمایی شده در شکل 2-1 نشان داده شده است.

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\2018-05-29_16-07-31.jpg |
| شکل ‏1‑1 شکل کلی مساله |

# **فرضیات مساله**

1. دمای دیواره و دمای جریان آزاد در این مساله ثابت هستند و مقدار ثابتی است.
2. حجم ماده بر واحد طول مقداری ثابت است و می‌تواند در ترمی به اسم ضخامت متوسط بیان شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (1) |  |

یا به عبارتی دیگر:

|  |  |
| --- | --- |
| (2) |  |

1. ضریب انتقال حرارت جابجایی بر روی یک صفحه تخت به صورت زیر تعریف می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (3) |  |

جایی که در جابجایی اجباری و در جابجایی طبیعی برابر است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (4) |  |

انتقال گرما بین دیواره و جریان آزاد با دو مقاومت حرارتی که به صورت سری قرار گرفته اند مواجه است: مقاومت مربوط به رسانش در لایه t(x) و مقاومت مربوط به همرفت در لایه مرزی. فرآیند انتقال گرما در اینجا ترکیبی از رسانش و همرفت است و توزیع دمای سطحی که با سیال در تماس است به صورت غیریکنواخت بین دو مقدار T و T تغییر می کند. شار حرارتی از معادله(8) حاصل می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (5) |  |

با انتگرال‌گیری از رابطه بالا و درگیر کردن معادله (6) می‌توان معادله بدون بعد انتقال حرارت کلی عمود بر صفحه( ) را بدست آورد:

|  |  |
| --- | --- |
| (6) |  |

که در آن عدد بایو() به صورت زیر بیان می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (7) |  |

رابطه بین اختلاف دما () و آهنگ کلی انتقال گرما به دیواره () را می‌توان از طریق انتگرال گیری معادله انرژی به دست آورد و از حل بلازیوس به دست می‌آید.

شرط جریان آزاد () و شرط جدید مربوط به سطح یعنی به فرم زیر است:

|  |  |
| --- | --- |
| (8) |  |

و همچنین

|  |  |
| --- | --- |
| (9) |  |

فرم بدون بعد دو شرط مرزی بالا به صورت زیر خواهد بود:

|  |  |
| --- | --- |
| (10) |  |
| (11) |  |

معادله انرژی درون لایه مرزی به فرم زیر خواهد بود:

|  |  |
| --- | --- |
| (12) |  |

با کمک شرایط مرزی بالا اقدام به حل این معادله می‌شود.

با انتگرال گیری از رابطه بالا:

|  |  |
| --- | --- |
| (13) |  |

که برای خواهیم داشت:

|  |  |
| --- | --- |
| (14) |  |

*و برای محاسبه ضریب انتقال حرارت و عدد ناسلت از روابط زیر استفاده می‌شود:*

|  |  |
| --- | --- |
| (15) |  |
| (16) |  |

# **تنظیمات انجام شده در نرم افزار**

همانطور که پیش‌تر اشاره شد، برای شبیه‌سازی مسأله تعریف شده، از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی[[1]](#footnote-2) Ansys Fluent 15 استفاده شده‌است. این نرم افزار از روش حجم محدود[[2]](#footnote-3) برای گسسته سازی[[3]](#footnote-4) معادلات حاکم و حل آن‌ها بهره می‌برد. در ادامه به نحوه‌ی محاسبه خواص سیال، تنظیمات انجام شده برای معرفی شرایط مرزی در نرم افزار و همچنین تنظیمات حلگر، می‌پردازیم.

## محاسبه خواص سیال

خواص سیال در تمامی حالات برای دمای فیلم محاسبه شده و در نرم افزار وارد شد تا حل مسأله با استفاده از خواص دمای فیلم انجام شود. تمامی خواص محاسبه شده در پیوست آمده است.

### محاسبه دمای فیلم شرط مرزی صفحه دما ثابت

دمای فیلم به‌صورت میانگین دمای ورودی سیال و دمای صفحه در نظر گرفته شد و خواص سیال در دمای بدست آمده، به کمک جداول خواص ترموفیزیکی موجود در کتاب‌های انتقال حرارت، محاسبه و در نرم افزار وارد شد.

## تنظیم شرایط مرزی

این مساله شرایط دارای شرایط مرزی مختلفی است که در این قسمت به تنظیمات نرم‌افزار برای تنظیم این شرط مرزی‌ها پرداخته می‌شود.

### شرط مرزی ورودی

برای ورودی دامنه حل، شرط را تنظیم کرده‌ایم. سرعت ورودی با استفاده از خواص محاسبه شده در دمای فیلم و رینولدز برابر 10000محاسبه شده‌است. دمای سیال هم در ورودی، به‌صورت یکنواخت و برابر با 323 در نظر گرفته‌شده است.

رینولدز برای صفحه تخت به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (17) |  |

در این رابطه، طول صفحه، چگالی سیال، ویسکوزیته دینامیکی سیال و سرعت جریان آزاد در ورودی می باشد که با توجه به توضیحات ارائه شده، برای رینولدز 10000 و خواص دمای فیلم، محاسبه شده است.

### شرط مرزی خروجی

در خروجی دامنه حل، شرط را تنظیم و دما در هم در خروجی، برابر با 300 در نظر گرفته شده است.

### شرط مرزی صفحه تخت دارای ضخامت

#### شرط مرزی سرعت

کلیه مرزهای صفحه تخت دارای ضخامت در نرم افزار، از نوع دیوار بدون لغزش می‌باشند.

#### شرط مرزی حرارتی

شرط مرزی حرارتی مرز بالایی صفحه تخت دارای ضخامت از نوع می‌باشد. دیواره‌های کناری عایق و دیواره زیرین صفحه دارای دمای ثابت 298 کلوین است.

### شرط مرزی در مرز بالایی هندسه

همانطور که پیش از این نیز ذکر شد، به دلیل اینکه جریان آزاد می‌باشد، برای مرز بالایی دامنه حل، شرط در نظر گرفته شده است.

## تنظیمات حلگر

در رابطه با تنظیمات حلگر، برای هر دو حالت صفحه ثابت و متحرک، برای گسسته سازی فشار، مومنتم و انرژی به ترتیب از روش‌های ، و استفاده شده‌است. برای الگوریتم کوپل فشار و سرعت در تمامی حالات صفحه ثابت، از روش استفاده شد.

# **بررسی استقلال حل از شبکه**

در این قسمت برای بررسی استقلال حل از شبکه، 3 شبکه 30×50، 30×100و30×100 را برای دامنه حل در نظر گرفتیم و شبکه بندی در راستای عمودی را با نسبت (ratio) 1.05، به گونه‌ای تنظیم کردیم، که در نزدیکی صفحه، شبکه ریزتر باشد تا نرم افزار، گرادیان بیشتر نزدیک به دیواره را به خوبی محاسبه کند. برای انتخاب شبکه مناسب عدد ناسلت را به عنوان معیار مقایسه در نظر گرفتیم و با رسم نمودار عدد ناسلت بر حسب طول صفحه و مقایسه نتایج، شبکه مناسب را انتخاب کردیم.

عدد ناسلت محلی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (18) |  |

در این رابطه، شار وارد به سطح در هر نقطه، دمای دیواره، دمای بالک سیال در هرمقطع و هدایت حرارتی سیال می باشد.

با توجه به ثابت بودن دامنه حل و روند حل مسأله، استقلال حل از شبکه، در یک حالت صفحه با ضخامت ثابت و با شرط مرزی دما ثابت بررسی شده است و برای سایر شرایط نیز، از شبکه مشابه استفاده شده است.

شبکه مورد نظر علاوه بر برگرداندن جواب صحیح مساله باید از نظر تعدادی در بهینه ترین حالت ممکن باشد که هزینه محاسبات را بتوان کاهش داد. برای بررسی استقلال از شبکه، بعد از محاسبه‌ی عدد ناسلت برای 3 اندازه شبکه معرفی شده، شکل زیر ارائه گردید. با توجه به این نتایج، با کم شدن فاصله نتایج برای شبکه 30×100 و شبکه 30×150، شبکه 30×100 را برای حل مسأله در نظر گرفتیم.

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\Nu-grid.tif |
| شکل ‏4‑1 نمودار استقلال حل از شبکه برای عدد ناسلت در حالت صفحه با ضخامت ثابت |

# **اعتبارسنجی نتایج حل عددی**

اعتبارسنجی در کار حاضر به چهار بخش تقسیم می‌شود. در ابتدا جریان بر روی صفحه تخت شبیه‌سازی شده و نتایج با حل تشابهی بلازیوس و پل هاوزن مقایسه می‌گردند. پس از آن به شبیه سازی یک صفحه تخت با ضخامت ثابت پرداخته می‌شود تا از صحت نتایج بدست آمده اطمینان حاصل شود. به عنوان کار اضافی تاثیر عدد رینولدز بر عدد ناسلت صفحه مورد بررسی قرار گرفته است. در اعداد رینولدز بالا جریان آشفته شده و مساله با یک مدل توربولانسی مدل‌سازی شده است. در جریان با رینولدزهای پایین جابجایی آزاد در مساله اهمیت پیدا می‌کند. در مرحله آخر تاثیر جابجایی طبیعی در رینولدزهای کم بر عدد ناسلت صفحه مورد بررسی قرار می‌گیرد که برای مطمئن شدن از صحت نتایج، اعتبارسنجی‌های مربوطه انجام می‌شود.

## اعتبار سنجی نتایج برای جریان بر روی یک صفحه تخت

برای اعتبارسنجی نتایج حاصل از حل عددی انجام شده، از روابط بدست آمده از حل تشابهی برای جریان و انتقال حرارت روی صفحه تخت استفاده شده است. برای اطمینان از اینکه هر دو میدان جریان و دما به درستی حل شده‌اند، دو پارامتر ضریب اصطکاک و عدد ناسلت را برای اعتبارسنجی نتایج، در نظر گرفتیم. در ادامه روابط حاصل از حل تشابهی برای ضریب اصطکاک روی صفحه دما ثابت و عدد ناسلت در هر دو حالت صفحه دما ثابت و شار ثابت آورده شده. همچنین جدول خطای نسبی نتایج حل عددی با نتایج حل تشابهی و نمودارهای اعتبارسنجی نیز ارائه شده است. لازم به ذکر است، با توجه به اینکه با تغییر سیال، تنها خواص تغییر می‌کنند و دامنه حل و روند حل مسأله ثابت می‌باشد، اعتبارسنجی برای یک سیال انجام شده است که نتایج بدست آمده در این قسمت، برای سیال هوا می‌باشد.

رابطه حاصل از حل تشابهی برای ضریب اصطکاک در حالت صفحه دما ثابت به‌صورت زیر می‌باشد:

|  |  |
| --- | --- |
| (19) |  |

رابطه حاصل از حل تشابهی برای ناسلت در حالت صفحه دما ثابت به‌صورت زیر داده می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
| (20) |  |

مقدار میانگین خطای نسبی برای هر سه حالت ذکر شده، در جدول ‏5‑1 آمده است.

جدول ‏5‑1 مقادیر میانگین خطای نسبی برای پارامترهای گزارش شده حل عددی نسبت به حل تشابهی

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| پارامتر مورد بررسی | ضریب اصطکاک | عدد ناسلت درحالت دما ثابت |
| میانگین خطای نسبی | 3.01 درصد | 1.02 درصد |

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\FlatPlatTValid\Nu-lam.tif | C:\Users\sajad\Desktop\Friction.tif |
| شکل ‏5‑1 نمودار مقایسه حل عددی و تشابهی برای ناسلت صفحه شار ثابت | شکل ‏5‑2 نمودار مقایسه حل عددی و تشابهی برای ضریب اصطکاک |

با توجه به مقادیر میانگین خطای نسبی گزارش شده‌ی نتایج نسبت به نتایج حاصل از حل تشابهی که در جدول ‏5‑1 آمده است و همچنین نمودارهای ارائه شده در شکل ‏5‑1و شکل ‏5‑2، مشخص شد که نتایج بدست آمده از حل عددی انجام شده برای هر دو پارامتر گزارش شده ضریب اصطکاک و عدد ناسلت، انطباق مناسبی با نتایج حاصل از حل تشابهی دارد و توانستیم با درصد خطای بسیار کمی، اعتبارسنجی حل حاضر را انجام دهیم.

## اعتبار سنجی نتایج برای جریان بر روی یک صفحه تخت دارای ضخامت

در این مرحله به اعتبارسنجی نتایج حاصل از شبیه‌سازی یک صفحه تخت دارای ضخامت پرداخته می‌شود. در شکل(6-3) می‌توانید شکل کلی مساله را ببینید با این تفاوت که ضخامت صفحه ثابت است. با تغییر مقدار انتقال حرارت متوسط صفحه در راستای طول تغییر پیدا می‌کند. برای اعتبار سنجی این بخش باید هر مرحله با تغییر ، مقدار متوسط انتقال حرارت صفحه را محاسبه نمود. برای نمایش بهتر این مقدار در نمودار از رابطه (9) کمک گرفته و فرم بی‌بعد آن را می‌نویسیم. نقاط گسسته موجود در شکل(6-4) این مقدار بی بعد را به ازای های مختلف نشان می‌دهد. برای اعتبارسنجی این بخش بیست مختلف در نظر گرفته شده و پس از هر ران با استفاده از مقدار متوسط انتقال حرارت بدست آمده در طول صفحه و بی‌بعدسازی آن یک نقطه از نمودار (6-4) حاصل می‌شود.

|  |
| --- |
|  |
| شکل ‏5‑3 شکلی کلی مساله |

اعداد بدون بعد این مساله دارای مقادیر زیر می‌باشند:

|  |  |
| --- | --- |
| (21) |  |
| (22) |  |

برای دست‌یابی به اعداد بی‌بعد بالا پارامترهای فیزیکی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  | سیال |
| - | - |  |  | - | - | جامد |

برای اعتبارسنجی و اطمینان از صحت نتایج شبیه‌سازی، این نتایج را باید با کارهای عددی پیشین مقایسه نمود.

|  |
| --- |
| *C:\Users\sajad\Desktop\validASli.tif* |
| شکل ‏5‑4 آهنگ کلی انتقال حرارت دیوار پوشیده شده با لایه‌ای به ضخامت یک‌نواخت |

*که در آن محور افقی و محور عمودی فرم بدون بعد انتقال حرارت در طول صفحه می‌باشدکه به که مقدار آن برابر می‌باشد.* نتایج همخوانی خوبی با نتایج تحلیلی لیم و همکاران دارد.

## اعتبار سنجی نتایج برای جریان آشفته بر روی یک صفحه تخت

در این مسئله یک صفحه تخت با دمای ثابت 413 کلوین موجود و صفحه بی‌نهایت و توزیع سرعت سیال در نقطه x=0 به صورت یکنواخت در نظر گرفته شده و دمای سیال جریان آزاد برابر 353کلوین است.

|  |
| --- |
|  |
| شکل ‏5‑5 شکل کلی مساله |

در این مساله اعداد بدون بعد به صورت زیر تعریف می‌شوند:

|  |  |
| --- | --- |
| (23) |  |
| (24) |  |

برای دست‌یابی به اعداد بی‌بعد بالا پارامترهای فیزیکی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

برای اعتبارسنجی و اطمینان از صئحت نتایج شبیه‌سازی، این نتایج را باید با کارهای تجربی و یا عددی پیشین مقایسه نمود. برای به دست آوردن عدد ناسلت از شار کل حرارتی صفحه شروع می‌شود و با استفاده از شار حرارتی کل بر روی صفحه عدد ناسلت صفحه به صورت زیر تعریف می‌گردد:

|  |  |
| --- | --- |
| (25) |  |

یک رابطه تئوری برای محاسبه عدد رینولدز توسط رینولدز به صورت زیر است ارائه شده است:

|  |  |
| --- | --- |
| (26) |  |

همچنین رابطه آزمایشگاهی ارائه شده برای تعیین عدد ناسلت در صفحه که توسط سبان و داوتی به قرار زیر است:

|  |  |
| --- | --- |
| (27) |  |

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\Test\Nu-Tur.tif |
| شکل ‏5‑6 مقایسه تغییرات عدد ناسلت در طول صفحه برای مدل‌های ارائه شده |

با توجه به شکل \*\*\* می‌توان نتیجه گرفت که شبیه‌سازی مورد نظر با نتایج تجربی و عددی هم‌خوانی خوبی دارد.

## اعتبار سنجی نتایج برای جابجایی آزاد درون یک حفره

برای شبیه­سازی شناوری، ترم چشمه بوزینسک به معادلات ممنتم بصورت زیر افزوده شده است:

|  |  |
| --- | --- |
| (28) |  |

که در آن ضریب انبساط حجمی، دما و دمای مرجع است. بر روی دیوار شرط عدم لغزش برای سرعت و گرادیان فشار صفر لحاظ شده است. شماتیک مساله و شرایط مرزی دمایی در شکل \*\*\*\* نشان داده شده اند. مساله با عدد رایلی 105 و عدد پرانتل 71/0 شبیه سازی شده است. ابعاد حفره 1/0 × 1/0 مترمربع و شبیه سازی با 20 × 20 سلول‌ یکنواخت انجام شده است.

|  |
| --- |
| reza2 |
| شکل ‏5‑7 نمایش شرط مرزی در جابجایی آزاد |

در شکل \*\*\* شبیه‌سازی حاضر با حل عددی داویس ]27[ و هورتمان ]28[ مقایسه شده است. و می‌توان مشاهده نمود که نتایج شبیه‌سازی مورد نظر با حل‌های عددی پیشن مطابقت دارد.

|  |  |
| --- | --- |
| sd | asssa |
| الف) شبیه‌سازی ] 28 و 27[ | |
| Capture85 | Capturerewer |
| ب) شبیه‌سازی حاضر | |
| شکل ‏5‑8 خطوط جریان و خطوط هم‌دما در جابجایی آزاد برای | |

# **نتایج حاصل**

در این بخش، به بررسی ضریب انتقال حرارت بر روی یک صفحه تخت دارای ضخامت با پوشش‌های که به ازای آن هندسه‌های مختلف ایجاد می‌شوند، پرداخته خواهد شد. همچنین برای بررسی تاثیر ضریب هدایت حرارتی برای هر هندسه هر صفحه با دو جنس مختلف در نظر گرفته شده و شبیه‌سازی با آن‌ها انجام می‌شود. جنس یکی از صفحات آلومینیوم می‌باشد که ضریب هدایت حرارتی در آن بالا و دیگری از چوب که دارای هدایت حرارتی خیلی کمی است.

## بررسی انتقال حرارت صفحه دارای پوشش با تابع ثابت(t=0)

در این بخش به شبیه سازی مساله ای که شاگردان پرانتل(بخش هیدرودینامیکی مساله توسط بلازیوس و بخش حرارتی توسط پل هاوسن) به حل تشابهی آن پرداختند و در قسمت اعتبارسنجی نیز مقایسه‌ای بین حل تشابهی و شبیه‌سازی انجام شد و نتایج شبیه سازی تطابق خوبی با حل تشابهی داشت. سیال مورد نظر در این شبیه‌سازی آب می‌باشد که با قرار دادن مشخصات فیزیکی پیش‌فرض مقدار پرانتل برای این مساله حدودا 7 بدست می‌آید. با مشاهده شکل 7-1 می‌توان دید که ضریب انتقال حرارت جابجایی در ابتدای صفحه زیاد است و با حرکت در راستای طول صفحه کم می‌شود.

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\case1.tif |
| شکل ‏6‑1 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت بدون ضخامت |

## بررسی انتقال حرارت صفحه دارای پوشش با تابع ثابت(t=C)

در این بخش به شبیه سازی مساله ای که لیم و بیژان به حل تشابهی آن پرداختند و در قسمت اعتبارسنجی نیز مقایسه‌ای بین حل تشابهی و شبیه‌سازی انجام شد و نتایج شبیه سازی تطابق خوبی با حل تشابهی داشت. سیال مورد نظر در این شبیه‌سازی همانند حالت قبل، آب می‌باشد که با قرار دادن مشخصات فیزیکی پیش‌فرض مقدار پرانتل برای این مساله حدودا 7 بدست می‌آید. این مساله با دو جنس مختلف برای پوشش شبیه سازی شده است. برای آلومینیوم به دلیل بالا بود ضریب هدایت حرارتی مقاومت حرارتی آن نسبت به چوب کمتر بوده و لذا حرارت عبوری از پوشش به خوبی به صفحه می‌رسد. اما برای چوب بدلیل پایین بودن ضریب هدایت حرارتی، مقاومت حرارتی صفحه بالا رفته و شار حرارتی کمی از آن عبور می‌کند.

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\case5.tif |
| شکل ‏6‑2 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با ضخامت ثابت |

## بررسی انتقال حرارت صفحه دارای پوشش با تابع خطی(t=Cx)

این حالت نیز همانند حالت قبل با دو جنس مختلف برای پوشش شبیه سازی شده است. در آلومینیوم به دلیل بالا بود ضریب هدایت حرارتی، مقاومت حرارتی آن نسبت به چوب کمتر بوده و لذا حرارت عبوری از پوشش به خوبی به صفحه می‌رسد. اما برای چوب بدلیل پایین بودن ضریب هدایت حرارتی، مقاومت حرارتی صفحه و پوشش آن بالا رفته و شار حرارتی کمی از آن عبور می‌کند.

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\case2.tif |
| شکل ‏6‑3 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با پوشش خطی |

اگر شکل 7-3 را برای چوب تنها رسم کنیم مثل آلومینیوم حالت نزولی به خود می‌گیرد ولی در این شکل چون بازه بزرگ است این تغییرات در شکل قابل نمایش نیستند.

## بررسی انتقال حرارت صفحه دارای پوشش با تابع رادیکالی و توان 2

این حالت نیز همانند حالت قبل با دو جنس مختلف برای پوشش شبیه سازی شده است. در آلومینیوم به دلیل بالا بود ضریب هدایت حرارتی، مقاومت حرارتی آن نسبت به چوب کمتر بوده و لذا حرارت عبوری از پوشش به خوبی به صفحه می‌رسد. اما برای چوب بدلیل پایین بودن ضریب هدایت حرارتی، مقاومت حرارتی صفحه و پوشش آن بالا رفته و شار حرارتی کمی از آن عبور می‌کند.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\case4.tif | C:\Users\sajad\Desktop\case3.tif |
| شکل ‏6‑4 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با پوشش رادیکالی | شکل ‏6‑5 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با پوشش توان 2 |

با توجه به شکل‌های 7-4 و 7-5 می‌توان دید که انتهای نمودار برای وقتی که جنس استفاده شده در شبیه‌سازی چوب است، انتهای صفحه ضریب انتقال حرارت در حال افزایش است. علت این امر این است که با حرکت در طول صفحه ضخامت پوشش کم شده و مقاومت حرارتی آن کاهش می‌یابد و لذا در انتهای صفحه شاهد افزایش ضریب انتقال حرارت خواهیم بود. در قبل از آن بدلیل بالا بودن ضخامت پوشش و پایین بودن ضریب هدایت حرارتی صفحه، مقاومت حرارتی صفحه و پوشش آن زیاد بوده و شار حرارتی از آن عبور نمی‌کند ولی با حرکت در طول صفحه و کم شدن ضخامت پوشش صفحه مقاومت آن کاهش یافته و شاهد مبادله حرارت در قسمت انتهایی آن می‌باشیم. همچنین وقتی که پوشش دارای هندسه رادیکالی است ضریب انتقال حرارت جابجایی بیش‌تر است که علت آن کمتر بودن مقاومت حرارتی می‌باشد. همچنین در حالت رادیکالی ضریب انتقال حرارت ثابت می‌شود که این انتظار نیز می‌رفت.

## بررسی تاثیر عدد رینولدز بر شار حرارتی و ضریب انتقال حرارت جابجایی صفحه

برای شبیه‌سازی این بخش صفحه تخت با ضخامت ثابت انتخاب شده است. در ابتدا تاثیر عدد رینولدز بر صفحه در محدوده آرام بررسی می‌شود و پس از آن مقایسه‌ای بین جریان توربولانسی و جریان آرام انجام می‌شود.

انتظار می‌رود که با افزایش عدد رینولدز میزان انتقال حرارت از صفحه بدلیل افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی بیش‌تر شود.

|  |  |
| --- | --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\re.tif | C:\Users\sajad\Desktop\Tur.tif |
| شکل ‏6‑6 تاثیر عدد رینولدز بر ضریب انتقال حرارت جابجایی | شکل ‏6‑7 نمودار ضریب انتقال حرارت جابجایی یک صفحه تخت با پوشش توان 2 |

همان‌طور که انتظار می‌رفت با افزایش عدد رینولدز، ضریب انتقال حرارت جابجایی بیش‌تر می‌شود. این مقدار همانطور که از شکل 7-7 پیداست با توربولانسی شدن جریان محسوس‌تر می‌شود.

در گام بعدی عدد رونولدز را کم کرده و جابجایی آزاد را برای یک تست کیس با رینولدز 1000 فعال می‌کنیم. در این مرحله انتقال حرارت به واسطه جابجایی آزاد و اجباری انجام می‌شود. با مشاهده شکل 7-8 می‌توان دریافت که در این محدوده از عدد رینولدز جابجایی اجباری تاثیر بیشتری بر انتقال حرارت صفحه دارد و درصد تاثیر جابجایی طبیعی کم‌تر است.

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\natural.tif |
| شکل ‏6‑8 مقایسه جابجایی اجباری و ترکیب جابجایی آزاد و اجباری بر ضریب انتقال حرارت صفحه |

## بررسی تاثیر هندسه پوشش در انتقال حرارت صفحه

در این بخش به مقایسه هندسه‌ها پوشش مختلف پرداخته می‌شود و مقایسه‌ای بین این هندسه‌ها انجام می‌شود. همانطور که از شکل پیداست هندسه‌ رادیکالی بیش‌ترین میزان انتقال حرارت را داراست. پس از y=x و بعد از آن نیز توان دو می‌باشد. برای هندسه با ضخامت ثابت کمتزین مقدار را دارد که علت آن افزایش ضخامت و به تبع افزایش مقاومت حرارتی ‌می‌باشد.

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\export.tif |
| شکل ‏6‑8 مقایسه شار حرارتی به ازای هندسه‌های مختلف |

# **جمع بندی**

در این پروژه به بررسی انتقال حرارت روی صفحه تخت به ازای پوشش‌های مختلف پرداخته شد. با توجه به نتایج ارائه شده، مشخص شد که با افزایش ضخامت صفحه مقاومت حرارتی بیش‌تر شده و انتقال حرارت کمتر می‌شود.

این شبیه‌سازی‌ها با دو جنس انجام شده که برای آلومینیوم به دلیل بالا بود ضریب هدایت حرارتی مقاومت حرارتی آن نسبت به چوب کمتر بوده و لذا حرارت عبوری از پوشش به خوبی به صفحه می‌رسد. اما برای چوب بدلیل پایین بودن ضریب هدایت حرارتی، مقاومت حرارتی صفحه بالا رفته و شار حرارتی کمی از آن عبور می‌کند.

در انتهای نمودار ضریب انتقال حرارت بر حسب طول صفحه برای وقتی که جنس استفاده شده در شبیه‌سازی چوب است، ضریب انتقال حرارت در حال افزایش است. علت این امر این است که با حرکت در طول صفحه ضخامت پوشش کم شده و مقاومت حرارتی آن کاهش می‌یابد و لذا در انتهای صفحه شاهد افزایش ضریب انتقال حرارت خواهیم بود. در قبل از آن بدلیل بالا بودن ضخامت پوشش و پایین بودن ضریب هدایت حرارتی صفحه، مقاومت حرارتی صفحه و پوشش آن زیاد بوده و شار حرارتی از آن عبور نمی‌کند ولی با حرکت در طول صفحه و کم شدن ضخامت پوشش صفحه مقاومت آن کاهش یافته و شاهد مبادله حرارت در قسمت انتهایی آن می‌باشیم.

با افزایش عدد رینولدز، ضریب انتقال حرارت جابجایی بیش‌تر می‌شود. ضریب انتقال حرارت جابجایی صفحه در حالت توربولانسی بیش‌تر از حالت آرام است. و همچنین در این محدوده از عدد رینولدز جابجایی اجباری غالب بر مساله است و جابجایی طبیعی تاثیر زیادی بر میزان انتاقل حرارت ندارد.

پیوست

|  |
| --- |
| C:\Users\sajad\Desktop\2016-08-01_18-02-07.jpg |

نمونه مش

1. Computational Fluid Dynamics [↑](#footnote-ref-2)
2. 2 Finite Volume [↑](#footnote-ref-3)
3. 3 Discretiztion [↑](#footnote-ref-4)