



تحلیل حرارتی سطح یک تیغه ی خاص در شرایط تولید

آرمان عبدلی^{۱*}، مجتبی دهقان منشادی^۲ صادق بردبار^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی / مجتمع دانشگاهی مکانیک و هوافضا/دانشگاه صنعتی مالک اشتر/شاهین

شهر / اصفهان / ایران

۲- دانشیار مجتمع دانشگاهی مکانیک و هوافضا/دانشگاه صنعتی مالک اشتر / شاهین شهر / اصفهان / ایران

۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی / مجتمع دانشگاهی مکانیک و هوافضا/دانشگاه صنعتی مالک اشتر/شاهین

شهر / اصفهان / ایران

*armanabdoli72@yahoo.com

ارسال: اسفند ماه ۹۵ پذیرش: اردیبهشت ماه ۹۶

خلاصه

در پژوهش حاضر انتقال حرارت در سطح یک تیغه ی متحرک به هنگام عبور از روی نقاله بررسی شده است. تیغه خاص در شرایط تولید باید از دو منطقه روی نقاله عبور کند. یک منطقه هوا و یک منطقه حوضچه آب با شرایط خاص است. جریان با فرض های خاص حل تشابهی Blasius و Pohlhausen به روش عددی آنالیز شده است. تغییرات Nu, h, Pr, Re, C_f در طول صفحه در سرعت های مختلف برای دو سیال آب و هوا بدست آمده و در قسمت نتایج مقایسه ها صورت گرفته است. همچنین متغیر های مختلف معادله بلازیوس برای سیال هوا محاسبه شده است. به طور کلی نتایج بلازیوس و پل هاوسن فقط در لایه مرزی صدق می کند و با توجه به خواص آب و هوا می توان مشاهده کرد که ضخامت لایه مرزی در سیال هوا بیشتر است. همچنین از گراف های ترسیم شده می توان مشاهده کرد که مولفه سرعت در جهت y ، (۷) در لایه مرزی برای آب خیلی کمتر از هوا می باشد. سرعت u نیز مستقل از نوع سیال بوده و فقط به سرعت سیال در ورودی صفحه بستگی دارد.

کلمات کلیدی: آنالیز عددی، انتقال حرارت جابجایی، حل تشابهی بلازیوس، تیغه صفحه ای متحرک.

۱. مقدمه

حدود صد سال است که نوار نقاله ها در کارخانجات جای خود را باز کرده اند و در کشور های توسعه یافته مورد استفاده قرار می گیرند. حمل و نقل کالا به صورت پیوسته و مکانیکی باعث کاهش هزینه ها و زمان می شود واز همه مهمتر نقاله میزان حوادث را کم کرده و از رفتن کارگران به محیط های خطرناک جلوگیری می کند [۱]. آقایان عبدا. عمرانی و محسن آرزو [۲] به بررسی انواع سیستم های نوار نقاله و طراحی آن ها پرداخته اند. اصول انتقال حرارت جابجایی در تیغه های صفحه ای به هنگام عبور از روی نقاله در سرعت های مختلف در پروژه های صنعتی امری مهم و ضروری است. جریان حرارت امری پایه و اساسی برای طراحی و کنترل کیفیت تیغه ها در شرایط تولید است. به طور کلی محاسبات مربوط به انتقال حرارت جابجایی برای تیغه ها به دلیل عوامل مختلفی مانند سرعت وزش، وزن مخصوص سیال، غلظت سیال و جهت

وزش می تواند بسیار پیچیده باشد، اما به طور کلی با استفاده از آنالیزهای عددی [۳] و [۴] تحلیل مناسبی از این نوع انتقال حرارت در این شرایط بدست می آید. یوان و اسمیت (۲۰۱۵) [۵] به بررسی عددی پاشش اسپری آب بر روی نوار نقاله با دمای بالا پرداختند و تعامل بین هوای محیط و پاشش آب و نوار نقاله رو مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که محل اسپری آب عامل اصلی در پیشبرد این فرایند بوده و نرخ حجمی آب تاثیر کمتری دارد. تالیافرو و همکاران (۲۰۱۶) [۶] به اثر ناپیوستگی های جانبی در صفحه تخت بر شرایط مرزی گرمایی یک جریان دوبعدی پرداختند و در این تحلیل برای طول شروع گرم نشده صفحه لزوم شبیه سازی عددی سه بعدی جریان گزارش شده است

مقاله حاضر با هدف آشنایی بیشتر پژوهشگران با اصول انتقال حرارت جابجایی روی سطح یک تیغه خاص به هنگام عبور از روی نقاله تدوین شده است. اکثر کارهای محققان روی سطوح تخت در حالت ساکن است و در کارهای آن ها حرکت بر روی نوار نقاله کمتر به چشم می خورد. از این رو اطلاع از پارامترهای حاکم بر انتقال حرارت جابجایی این سطوح به هنگام حرکت بر روی نوار نقاله می تواند به پیشرفت و اصلاح این صنعت بینجامد.

۲. بیان مسئله

سطح یک تیغه خاص در شرایط تولید باید از روی نقاله از دو منطقه عبور کند. یک منطقه هوا و یک منطقه حوضچه آب است. سطح تیغه را مانند یک صفحه تخت در نظر گرفته و آنالیز روی یک طرف آن صورت گرفته است. جریان با فرض های خاص حل تشابهی Blasius با شرایط زیر آنالیز شده است.

$$V_{\infty} \text{ سرعت نقاله} \leftarrow 10 - 25 \frac{m}{s}$$

$$T_{\infty} \text{ دمای سیال} \leftarrow 15 - 35 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$T_s \text{ دمای سطح تغه} \leftarrow 30 - 100 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

$$x \leftarrow 0 - 1000 \text{ mm} , y \leftarrow 0 - 50 \text{ mm}$$



شکل ۱- هندسه مسئله

۳. ارائه معادلات تئوریک و فرض ها و شرایط مرزی مورد استفاده

معادلات مورد استفاده در لایه مرزی با توجه به شرایط روبه رو حاصل می شوند: سیال از نوع پیوسته و نیوتنی (سیال مورد استفاده آب و هوا) - در نظر گرفتن حالت دوبعدی برای مسأله - صرف نظر کردن از تغییرات انرژی جنبشی و پتانسیل - در نظر گرفتن خواص فیزیکی ثابت برای ماده - جریان از نوع پایا و آرام - تولید انرژی برابر صفر - صرف نظر از اثر گرانش $g=0$ - تلفات انرژی ناچیز $\phi = 0$ - بزرگ تر بودن مقدار عدد رینولدز و پکلت از ۱۰۰ $Re > 100$ و $Pe > 100$ معادلات حاکم بر مسأله شامل معادله بقای جرم و ممنتوم و انرژی در جهت x است که به شرح معادله (۱) نشان داده می شوند:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp_{\infty}}{dx} + \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (2)$$

شرایط مرزی حاکم بر مسأله مطابق معادله ۳ است که با در نظر گرفتن تیغه متحرک با سرعت V_{∞} و ساکن بودن سیال محیط آن در نظر گرفته شده است.

$$u(x, 0) = 0 \quad u(x, \infty) = V_{\infty} \quad u(0, y) = V_{\infty} \quad v(x, 0) = 0 \quad (3)$$

حل تشابهی بلازیوس براساس موارد زیر اعمال می گردد.

در خارج از لایه مرزی داریم:

$$u = V_{\infty} \quad v = 0 \quad P = P_{\infty} = \text{constant} \quad \frac{dp_{\infty}}{dx} = 0 \quad (4)$$

با در نظر گرفتن این تقریب ها در لایه مرزی معادلات حاکم بر مسأله به شکل زیر تبدیل می شوند:

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = \nu \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (5)$$

براساس حل تشابهی بلازیوس با در نظر گرفتن یک پارامتر تشابهی معادله دیفرانسیل جزء به جزء را به معادله دیفرانسیل عادی تبدیل می کنیم

$$\eta(x, y) = y \sqrt{\frac{V_{\infty}}{\nu x}} \quad (6)$$

با در نظر گرفتن این پارامتر تشابهی $u(x, y) = u(\eta)$ سرعت به صورت تابعی از η در می آوریم.
با در نظر گرفتن روابط زیر، عبارات مناسب را برحسب متغیر تشابهی در معادله مونتوم جاگذاری می نماییم:

$$V_{\infty} \left(\frac{\nu x}{V_{\infty}}\right)^{\frac{1}{2}} F(\eta) \quad v = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \quad u = \frac{\partial \psi}{\partial y} \quad (7)$$

لازم به ذکر است که $F(\eta)$ در معادله (۷) یک پارامتر برای میدان سرعت است که از حل میدان جریان به دست می آید.

براساس تابع جریان و روابط مطرح شده در بالا ترم های سرعت به فرم معادله ی (۸) نمایش داده می شوند:

$$\frac{u}{V_{\infty}} = \frac{dF}{d\eta} \quad (8)$$

به کمک رابطه پیوستگی (۱) برای سرعت عمودی (v) هم، نمایش زیر حاصل می گردد:

$$\frac{v}{V_{\infty}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\nu}{V_{\infty} x}} = \left(\eta \frac{dF}{d\eta} - F \right) \quad (9)$$

مشتق های ظاهر شده در معادله مومنتوم (۲) به فرم معادله (۱۰) به پارامتر تشابهی ارتباط پیدا میکنند و این ارتباط از طریق مشتق های زنجیره ای به صورت زیر نمایش داده شده است:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = \frac{\partial u}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial x} \quad \frac{\partial u}{\partial y} = \frac{\partial u}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial y} \quad (10)$$

در نتیجه با جایگذاری روابط بالا، معادله مومنتوم به شکل معادله دیفرانسیل عادی (۱۱) زیر تبدیل می گردد:

$$2 \frac{d^3 f}{d\eta^3} + f(\eta) \frac{d^2 f}{d\eta^2} = 0 \quad (11)$$

اکنون شرایط مرزی ذکر شده بر مسأله را براساس متغیر تشابهی به شکل زیر تبدیل می کنیم:

$$\frac{df(0)}{d\eta} = 0 \quad \frac{df(\infty)}{d\eta} = 1 \quad f(0) = 0 \quad (12)$$

معادله انرژی به صورت زیر می باشد:

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (13)$$

شرایط مرزی برای مسأله به شکل زیر است:

$$T(x, 0) = T_s \quad T(x, \infty) = T_\infty \quad T(0, y) = T_\infty \quad (14)$$

شرایط مرزی استفاده شده به این صورت در نظر گرفته شده است که سطح تیغه در دمای T_s بوده و سیال حول آن دارای دمای T_∞ است، در ابتدای تیغه نیز فرض شده است که دما با دمای سیال پیرامون برابر است. با توجه به حل پل هاوسن دما را به صورت بدون بعد نمایش می دهیم:

$$\theta = \frac{T - T_s}{T_\infty - T_s} \quad (15)$$

معادله انرژی به شکل زیر شده و شرایط مرزی نیز برحسب θ تغییر می کند.

$$u \frac{\partial \theta}{\partial x} + v \frac{\partial \theta}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} \quad \theta(0, y) = 1 \quad \theta(x, 0) = 0 \quad \theta(x, \infty) = 1 \quad (16)$$

به کمک روابط سرعت افقی و عمودی برحسب پارامتر تشابهی (۴ و ۵) و مشتق های زنجیره ای برای θ

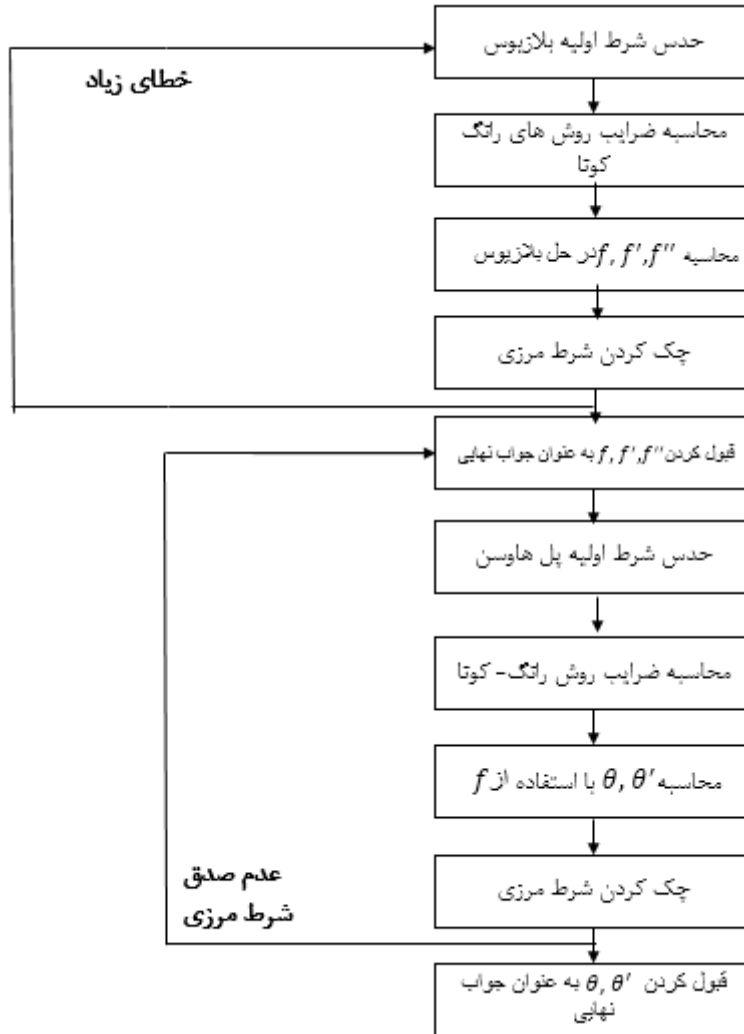
$$\frac{\partial \theta}{\partial y} = \frac{\partial \theta}{\partial \eta} \frac{\partial \eta}{\partial y}$$

معادله انرژی به شکل معادله دیفرانسیل عادی و غیرخطی (۱۷) تبدیل می گردد.

$$\frac{d^2 \theta}{d\eta^2} + \frac{pr}{2} f(\eta) \frac{d\theta}{d\eta} = 0 \quad \theta(0) = 0 \quad \theta(\infty) = 1 \quad (17)$$

۴. ارائه برنامه کامپیوتری با توضیحات لازم

همانطور که می دانیم در حل معادلات دیفرانسیل، معادلات به دو دسته شرط اولیه و شرط مرزی تقسیم می شود. در معادلات با شرط اولیه روش های حل زیادی از جمله روش اویلر و رانگ کوتا وجود دارد که مطابق توضیحات قبلی ذکر شده اند. اما برای معادلات با شرط مرزی، ابتدا باید با روش شوتینگ متد حدسی برای شرط اولیه بزنیم و بعد آن را با شرط مرزی موجود مقایسه کنیم، در صورتی که شرط حدس زده شده غلط بود طبق اختلاف موجود باید حدس مناسب دیگری زده شود و این کار ادامه پیدا کرده تا به مناسب ترین حدس برای حل معادله دست پیدا شود. کد موجود ابتدا شرط اولیه مناسب را حدس زده و معادله دیفرانسیل با شرط اولیه حاصل را حل می کند. الگوریتم کد نوشته شده در ادامه آورده شده است.



شکل ۲- الگوریتم کدنویسی عددی به روش رانگ- کوتا

در روش رانگ- کوتا برای مرتبه دو به بالا، ابتدا معادلات به تعداد مرتبه مشتق شکسته می شوند در این صورت معادله بلازیوس به فرم (۱۸) حاصل می گردد.

$$\begin{aligned}
 q &= p' \\
 p &= f' \\
 q' + fq &= 0
 \end{aligned}
 \tag{18}$$

Boundary condition

$$f(0) = 0 \quad (19)$$

$$f'(0) = 0$$

$$f'(\infty) = 1$$

معادله پل هاوسن نیز به شکل زیر شکسته می شود.

$$\theta' = a \quad (20)$$

$$a' = -\left(\frac{pr}{2}\right)fa$$

Boundary condition

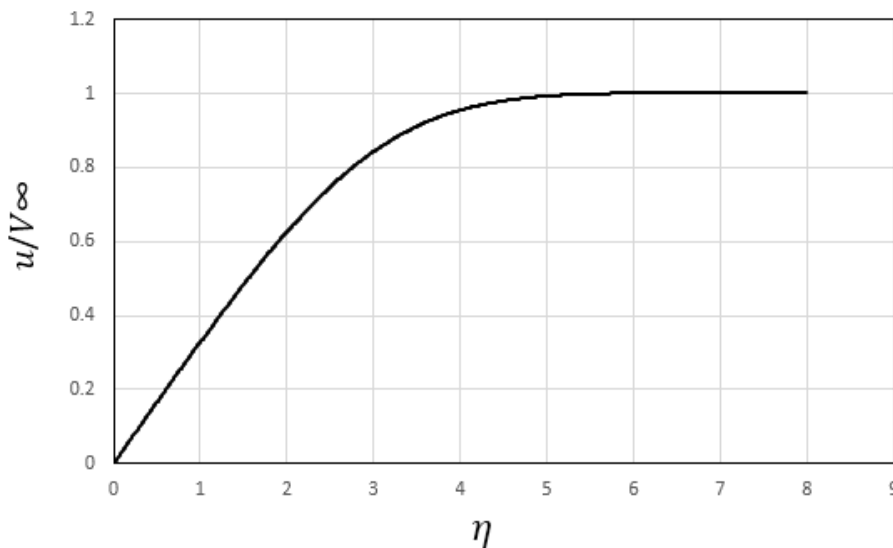
$$\theta(0) = 0 \quad (21)$$

$$\theta(\infty) = 1$$

حال برای هر معادله یک دستگاه معادله دیفرانسیل مرتبه یک داریم و می توانیم از روش شوتینگ متد و رانگ - کوتا آن ها را حل کنیم.

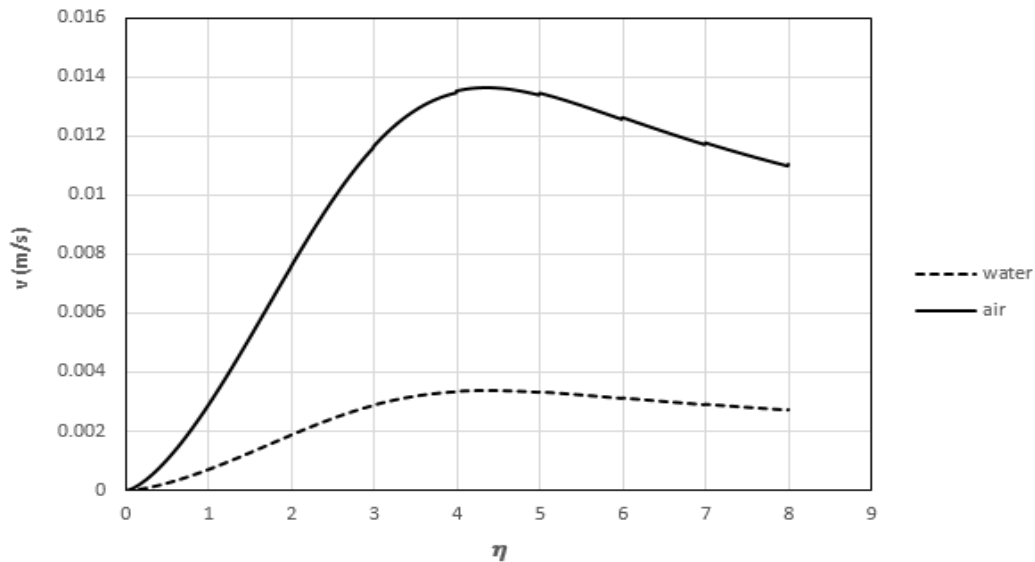
۵. نتایج

بعد از کدنویسی معادلات دیفرانسیل موردنظر به روش ذکر شده و استخراج نتایج از متلب و انتقال داده ها به اکسل نمودارها به صورت زیر حاصل می گردند:



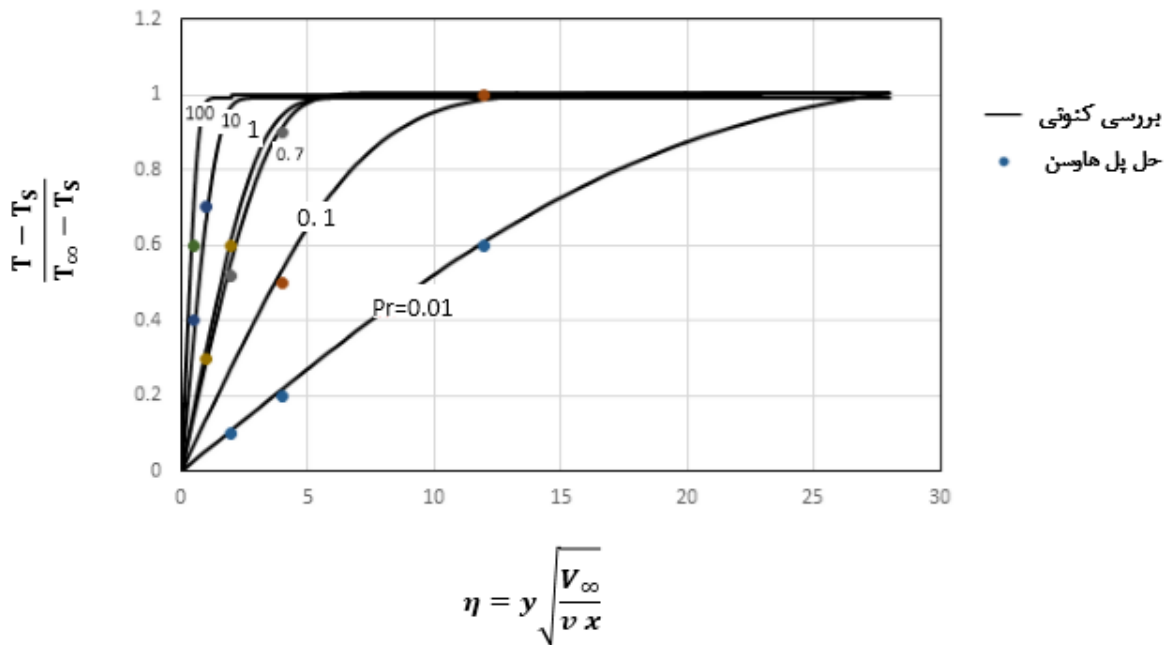
شکل ۳- نمودار نسبت سرعت افقی بر حسب متغیر تشابهی

شکل ۳ مربوط به سرعت در جهت X است که چون بر حسب پارامتر تشابهی η رسم شده مستقل از جنس سیال می باشد. این نمودار بیان می کند که با افزایش پارامتر تشابهی تا مقداری حدود ۵ نسبت سرعت در لایه مرزی به سرعت سیال در خارج آن در حال افزایش بوده است و بعد از این مقدار چون به مرز لایه مرزی با محیط می رسیم سرعت تقریباً برابر مقدار آن در خارج لایه مرزی می شود و می توان با توجه به این نکته ضخامت لایه مرزی را در هر نقطه از سطح برای دو محیط آب و هوا حساب نمود و معیار خوبی برای مقایسه بین ضخامت های لایه مرزی برای دو محیط آب و هوا داشت.



شکل ۴- نمودار سرعت عمودی بر حسب متغیر تشابهی برای سیال آب و هوا

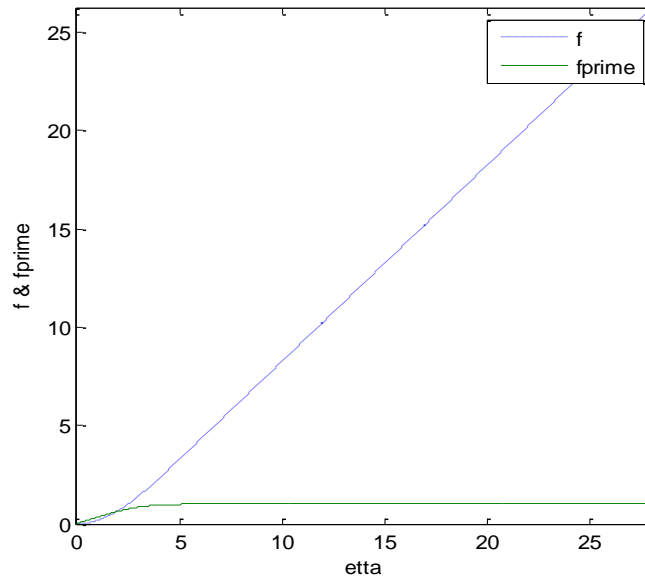
شکل ۴ سرعت در جهت y را نشان می دهد. با وجود اینکه مانند نمودار قبلی برای سرعت افقی، سرعت قائم بر حسب پارامتر تشابهی η رسم شده است، اما برای دو سیال آب و هوا مقدار یکسانی پیدا نکرده است و در بحث راجع به این علت باید اشاره کرد به دلیل اینکه در فرمول های بدست آمده در روابط بلازیوس، سرعت عمودی به ویسکوزیته سیال ارتباط پیدا کرده است و مستقل از نوع سیال نمی باشد انتظار چنین نتایجی وجود داشت و همین موضوع نتایج بدست آمده از حل عددی انجام شده را تصدیق می کند.



شکل ۵- نمودار مقایسه نتایج به دست آمده با حل پل هاوسن انجام شده در مرجع [۸]

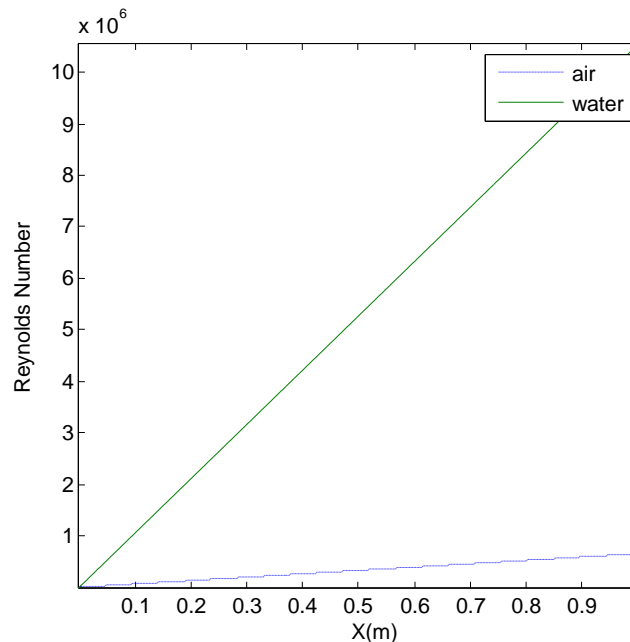
شکل ۵ معرف دمای بی بعد بر حسب پارامتر تشابهی است و با کدنویسی عددی صورت گرفته بدست آمده است برای اعتبار سنجی، (validation) کد حاضر را با نتایج مرجع [۸] مقایسه کرده ایم و برای صحت سنجی نتایج بدست آمده در چند

نقطه از کتاب را با نمودار دمای بدون بعد θ برحسب η مقایسه شده است. همانطور که می بینیم در پراوتل های ۰.۰۱ تا ۱۰۰ داده های حاصل از کدنویسی مطابقت خوبی با نتایج کتاب دارد و همچنین این نمودار دامنه وسیع تری برای متغیر تشابهی نسبت به آنچه در کتاب است را نشان می دهد. سایر نتایجی که توسط نرم افزار متلب ترسیم شده است به صورت زیر می باشد:



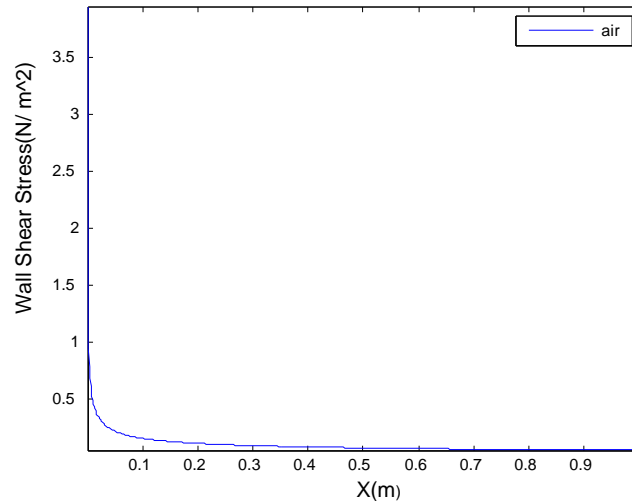
شکل ۶- نمودار f و f' بدست آمده در حل عددی معادله بلازیوس

در شکل ۶ مقادیر f, f' حاصل از حل عددی صورت گرفته به صورت گراف نشان داده شده است و با توجه به این مقادیر بدست آمده سایر مولفه ها را نیز که در معادله بلازیوس ایجاد می شود را می توان استخراج کرد. با بررسی این نمودار با نتایج ارائه شده در مرجع [۸]، مطابقت خوبی مشاهده می گردد.

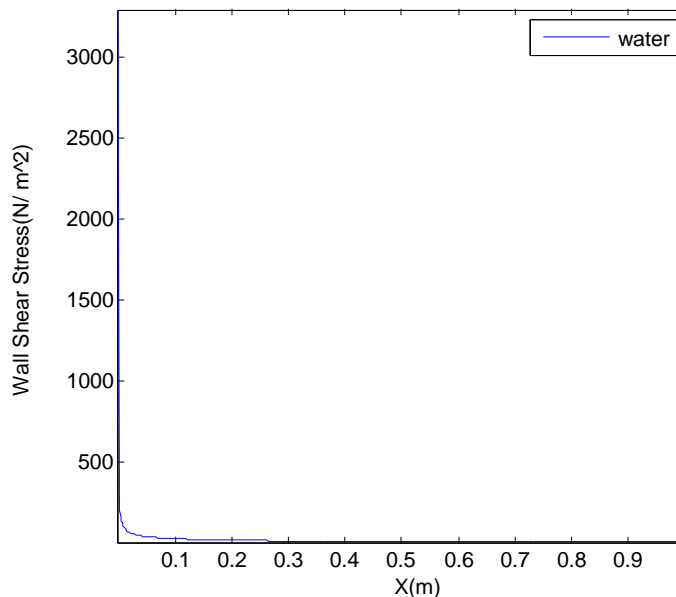


شکل ۷- نمودار Re آب و هوا با شرایط انتخابی ($T_{\infty} = 15^{\circ}C$ و $T_s = 30^{\circ}C$ و $x = 0 - 1m$ و $V_{\infty} = 10m/s$)

در نمودار ۷ مشاهده می شود که مقادیر بدست آمده برای عدد رینولدز در شرایط ذکر شده، برای سیال آب مطابق آنچه انتظار می رفت از هوا خیلی بیشتر شده است که علت اصلی این اختلاف ناشی از بیشتر بودن چگالی سیال آب نسبت به سیال هوا می باشد. با افزایش طول صفحه هم مقدار رینولدز زیاد شده که این مورد نیز صحیح است. قابل توجه است شرط اصلی ایجاد لایه مرزی در حل بلازیوس رینولدز بیشتر از ۱۰۰ است که با توجه به مقادیر رینولدز در شکل دیده می شود.

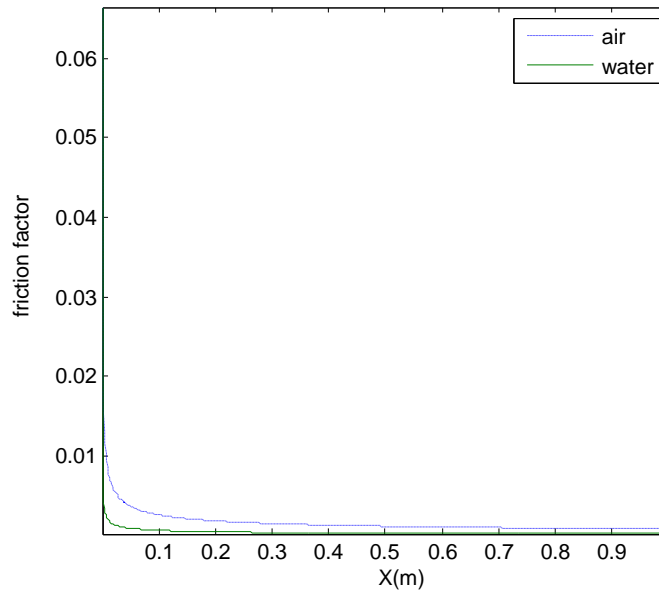


شکل ۸- تنش دیواره سیال هوا در شرایط انتخابی ($T_s = 30^\circ\text{C}$ و $T_\infty = 15^\circ\text{C}$ و $V_\infty = 10\text{m/s}$ و $x = 0 - 1\text{m}$)



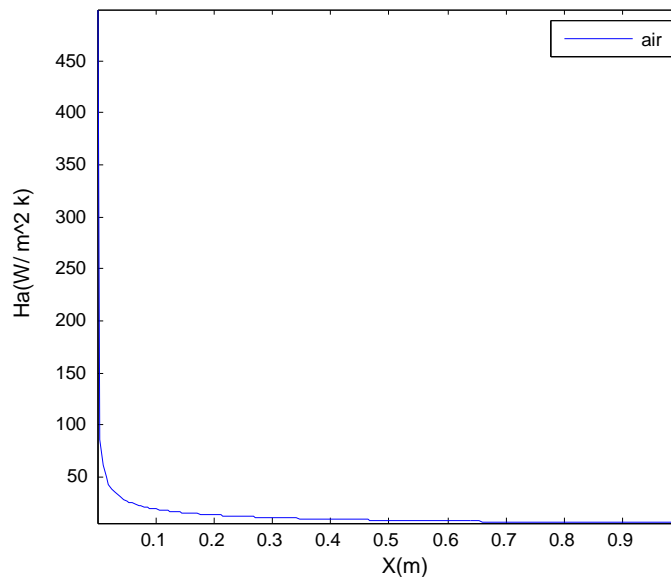
شکل ۹- تنش دیواره سیال آب در شرایط انتخابی ($T_s = 30^\circ\text{C}$ و $T_\infty = 15^\circ\text{C}$ و $V_\infty = 10\text{m/s}$ و $x = 0 - 1\text{m}$)

در شکل های ۸ و ۹ تنش برشی دیواره برای دو سیال آب و هوا در طول صفحه نمایش داده شده است و با توجه به روابط موجود در کتاب می دانیم که انتظار ما قبل از بدست آمدن نتایج این است که تنش برشی برای آب به علت بیشتر بودن ویسکوزیته دینامیکی بزرگتر از هوا باشد و این امر با توجه به نتایجی که ما از کدنویسی عددی بدست آورده ایم مطابقت میکند در روابط بلازیوس برای لایه مرزی این نکته به خوبی قابل استنباط است که تنش برشی مرتبط با ویسکوزیته دینامیکی است و همچنین در طول صفحه مقدار تنش برشی باید کاسته شود که در اینجا نیز این اتفاق افتاده است.

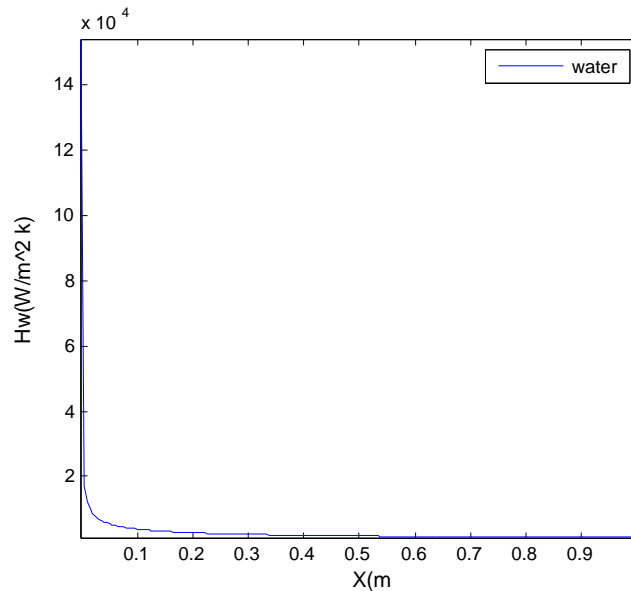


شکل ۱۰- ضریب اصطکاک در شرایط انتخابی ($T_\infty = 15^\circ\text{C}$ و $T_s = 30^\circ\text{C}$ و $x = 0 - 1\text{m}$ و $V_\infty = 10\text{m/s}$)

شکل ۱۰ با بیان مقایسه بین ضریب اصطکاک برای دو سیال آب و هوا را نشان می‌دهد و با توجه به آن مقدار ضریب اصطکاک برای هوا از آب بیشتر شده است. در یافتن درستی این شکل به معادلات لابه مرزی بلازیوس باید مراجعه کرد. آنجا که داریم ضریب اصطکاک با عدد رینولدز نسبتی معکوس داشته و چون در شکل ۳ نشان داده شد عدد رینولدز آب بیشتر از هوا است، پس ثابت می‌شود ضریب اصطکاک هوا از آب بزرگتر است که هم خوانی خوبی با داده های بلازیوس دارد. همچنین در طول صفحه ضریب اصطکاک کاهش می‌یابد و از طریق فرمول کتاب به علت ارتباط معکوسی که ضریب اصطکاک با فاصله از صفحه دارد این مورد قابل بیان است.

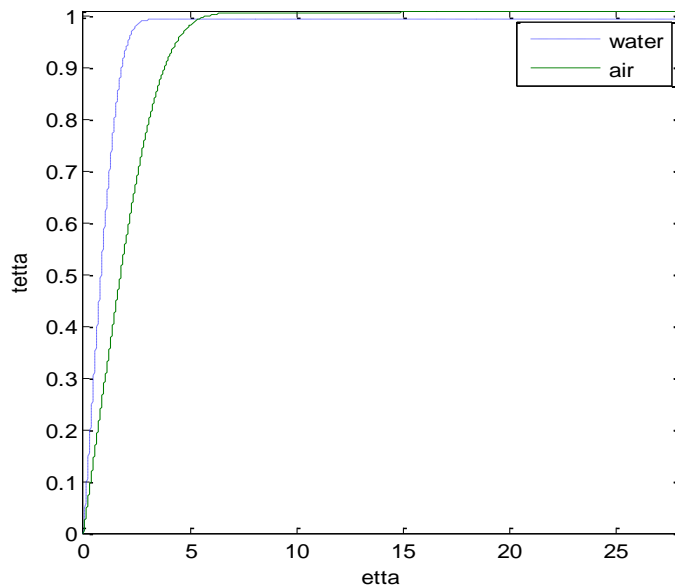


شکل ۱۱- ضریب جابجایی سیال هوا در شرایط انتخابی ($T_\infty = 15^\circ\text{C}$ و $T_s = 30^\circ\text{C}$ و $x = 0 - 1\text{m}$ و $V_\infty = 10\text{m/s}$)



شکل ۱۲- ضریب جابجایی سیال آب در شرایط انتخابی ($T_s = 30^\circ\text{C}$ و $T_\infty = 15^\circ\text{C}$ و $V_\infty = 10\text{m/s}$, $x = 0 - 1\text{m}$)

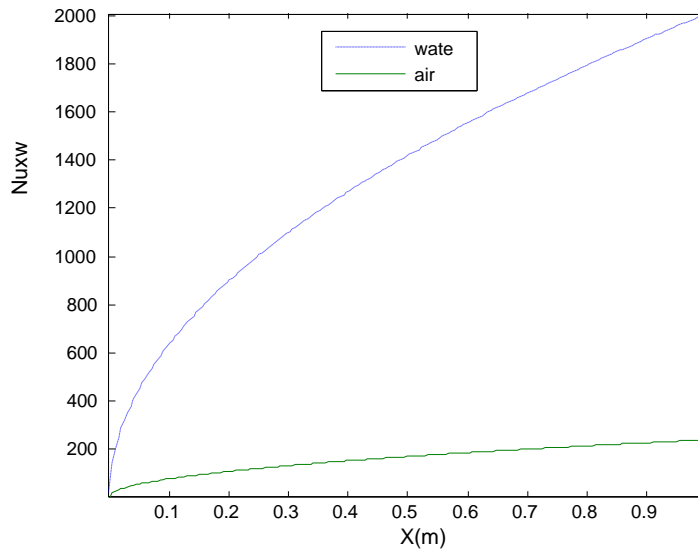
در شکل های ۱۱ و ۱۲ برای دو سیال آب و هوا ضریب جابه جایی برحسب طول صفحه نمایش داده شده اند. دیده شده که مقدار ضریب جابه جایی برای آب خیلی بزرگتر از هوا بدست آمده است ضریب جابه جایی در طول صفحه کاهش پیدا کرده که این موضوع براساس مفاهیم لایه مرزی و معادلات بلازیوس قابل نشان دادن است. به دلیل آنکه برای سیال آب ضریب هدایت گرمایی بزرگتر و ویسکوزیته سینماتیکی کوچکتر از هوا است طبق روابط بلازیوس، مشابه نمودارهای بدست آمده، ضریب جابه جایی بزرگتری برای آب حاصل می شود.



شکل ۱۳- حل عددی پل هاوسن برای شرایط انتخابی ($T_s = 30^\circ\text{C}$ و $T_\infty = 15^\circ\text{C}$ و $V_\infty = 10\text{m/s}$, $x = 0 - 1\text{m}$)

در این شکل با رسم دمای بدون بعد برحسب پارامتر تشابهی دو سیال آب و هوا در دمای ذکر شده مقایسه شده اند. در دمای متوسط بین دو دمای گفته شده می توان عدد پرانتل را از خواص اب و هوا خواند و اگر با مقادیر این نمودار مقایسه کنیم

مطابقت خوبی بین اعداد پرانتل می‌یابیم و همچنین واضح است که عدد پرانتل برای آب از پرانتل هوا بزرگتر است که در شکل هم قابل تشخیص است.



شکل ۱۴- Nu_x در شرایط انتخابی ($T_\infty = 15^\circ\text{C}$ و $T_s = 30^\circ\text{C}$ و $x = 0 - 1\text{m}$ و $V_\infty = \frac{10\text{m}}{\text{s}}$)

در شکل ۱۴ برای عدد ناسلت مقادیر بدست آمده از سیال آب از هوا بزرگتر است، دوباره باید به معادلات پل هاوسن رجوع کرده و بررسی کنیم که این موضوع قابل دفاع است. با توجه به اینکه در معادلات کتاب عدد ناسلت متناسب با عدد رینولدز است و ویسکوزیته سینماتیکی آب از هوا کوچکتر است و رینولدز بالاتری دارد پس انتظار می‌رود ناسلت بزرگتری داشته باشد که حل عددی انجام گرفته توسط ما نیز این مورد را تصدیق کرده است. در طول صفحه عدد ناسلت بزرگتر می‌شود که شکل ۱۴ نیز بدین شکل است.

۶. نتیجه گیری

به طور کلی نتایج بلازیوس و پل هاوسن فقط در لایه مرزی صدق می‌کند و با توجه به خواص آب و هوا می‌توان مشاهده کرد که ضخامت لایه مرزی در سیال هوا بیشتر است. همچنین از گراف های ترسیم شده می‌توان مشاهده کرد که مولفه سرعت در جهت y ، (V) در لایه مرزی برای آب خیلی کمتر از هوا می‌باشد. سرعت u نیز مستقل از نوع سیال بوده و فقط به سرعت سیال در ورودی صفحه بستگی دارد. نمودارهای حل پل هاوسن نیز به وضوح نشان می‌دهد که با افزایش عدد پرانتل، طول لایه مرزی گرمایی کم می‌شود و دما سریع تر به دمای سیال در بی نهایت می‌رسد. همان طور که انتظار داشتیم ضریب انتقال حرارت جابجایی برای سیال آب به طور قابل ملاحظه ای بیشتر از سیال هواست که این امر به دلیل خواص حرارتی بهتر آب برای جذب گرما از تیغه است. کاملاً مشخص است که در سیال آب دمای بیشتری جهت خنک کاری دریافت شده است. به زبان عامیانه تیغه در شرایط یکسان برای سیال آب زودتر سرد شده است. و به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که در شرایط یکسان سیال آب حرارت بیشتری را از تیغه دریافت کرده است.

۷. قدردانی

تقدیم به نام نیک پدرم و مهر پرفروغ مادرم که حمایت های بی پایانشان تنها سرمایه ی من است.

۸. مراجع

۱. ساندرز، مارک، هاس و همکاران/ترجمه محمد رضا افضلی/تهران/انتشارات علوم دانشگاهی ۱۳۷۸

۲. مهندس عبدا. عمرانی/م. ارزو/طراحی و انتخاب سیستم نوار نقاله با توجه به مسائل ارگونومیکی/ماهنامه علمی تخصصی فناوری/شماره ۴۹/اسفند ۹۰
۳. دینامیک سیالات محاسباتی، تالیف و ترجمه محمد حسن شجاعی فرد، علیرضا نورپور، دانشگاه علم و صنعت، مرکز انتشارات، چاپ ششم ۱۳۹۳.
۴. جک فیلیپ هولمن، ترجمه ملک زاده، کاشانی حصار، انتقال حرارت نشر نما ۱۳۸۶.

5. Yuan, Liming. And Smith, Alex .C. (2015). Numerical modeling of water spray suppression of conveyor belt fires in a large-scale tunnel. *Process Safety and Environmental Protection*. Volume 95, May 2015, Pages 93–101
6. Taliaferro, Matthew E., et al. "Local heat transfer on a finite width surface with laminar boundary layer flow." *Applied Thermal Engineering* 101 (2016): 686-692.
7. Bejan , A., *Convection Heat Transfer*, John Wiley & Sons, NewYork, 1995
8. Jiji, Latif M., and Latif Menashi Jiji. *Heat convection*. New York: Springer, 2006.

۹. فهرست واژگان

ضریب اصطکاک	$c_f \left(\frac{j}{kg \cdot ^\circ C} \right)$
عدد رینولدز	Re (بدون بعد)
عدد پرانتل	Pr (بدون بعد)
ضریب انتقال حرارت جابجایی	$h \left(\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} \right)$
عدد ناسلت	Nu (بدون بعد)
سرعت سیال	$V_\infty \left(\frac{m}{s} \right)$
دمای سیال	$T_\infty (^\circ C)$
دمای سطح تیغه	$T_s (^\circ C)$
ضریب نفوذ حرارتی	$\alpha \left(\frac{m^2}{s} \right)$
سرعت در راستای طول صفحه	$u \left(\frac{m}{s} \right)$
سرعت در راستای عرض صفحه	$v \left(\frac{m}{s} \right)$
ضریب هدایت حرارتی	$k \left(\frac{w \cdot m}{k} \right)$
دمای میانگین	$T_f (^\circ C)$
لزجت دینامیکی سیال	$\mu \left(\frac{kg}{m \cdot s} \right)$
ابعاد تیغه	x و y (m)