

انتقال حرارت جابجایی روی جسم متقارن محوری در حالت‌های دورانی و غیر دورانی

علی حیدری منفرد

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی شریف

بهار فیروزآبادی

دانشجوی دکترا دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی شریف

حمید فاضلی

دانشجوی دکترا دانشکده مهندسی مکانیک - دانشگاه صنعتی شریف

(تاریخ دریافت ۷۵/۱/۱۸، تاریخ تصویب ۷۷/۷/۱۱)

چکیده

در این مقاله معادلات لایه مرزی در جریان لایه‌ای اطراف جسم با تقارن محوری در حالت انتقال حرارت مختلط^(۱) به روش عددی حل شده است. جسم می‌تواند دوران داشته و سرعت دورانی آن با ضریبی کنترل شود. در این گزارش جسم یک کره فرض شده که جداره‌های آن قابلیت انتقال جرم را داشته و دمای جداره ثابت در نظر گرفته شده است. در حل عددی معادلات از روش ضمنی - جعبه‌ای کلر^(۲) استفاده شده و هیچگونه اصلاحی در آن صورت نگرفته است. مقایسه نتایج حل عددی حاضر و روش ارائه شده در مرجع Wang [۹] نشان می‌دهد که روش Keller - Box دقت مورد نظر را داشته و با راه حل‌های عددی ارائه شده تطابق کامل دارد. بدلیل استفاده از این روش معادلات تبدیل یافته و پارامترهایی که معرف نحوه انتقال حرارت (ξ)، سرعت دورانی^(۳) و ضریب اصطکاک موضعی^(۴) و ضریب انتقال حرارت موضعی^(۵) می‌باشند، بدست آمده است. دو پارامتر ξ و RP می‌توانند بین صفر و یک تغییر کرده و نشان دهنده انتقال حرارت به روش جابجایی خالص و یا طبیعی خالص، دوران یا عدم دوران جسم می‌باشند. نتایج حاصل از محاسبات نشان می‌دهد که دوران جسم می‌تواند جدایی رابه تأخیر انداخته و تا زاویه حدود ۶۰° ضریب اصطکاک را کاهش دهد. بررسی ضریب انتقال حرارت نشان می‌دهد که با افزایش سرعت دورانی جسم ضریب انتقال حرارت کاهش دارد. بررسی ضریب انتقال حرارت نشان می‌دهد که با افزایش سرعت دورانی جسم، ضریب انتقال حرارت کاهش دارد. وجود جریان لایه‌ای شاید بتواند توجیه‌کننده این پدیده باشد.

کلید واژه‌ها: روش کلر باکس، انتقال حرارت جابجایی اختلاسی، معادلات لایه مغزی

مقدمه

است تحت تأثیر نیروی شناوری تغییر نماید. به طوری که در شرایطی به جریان اجباری روی سطوح گرم کمک نموده و از شدت آن روی سطوح سرد می‌کاهد. اگر دیواره جسم غوطه‌ور، متخلخل یا سوراخ باشد، می‌توان سیال را در دمای مشخصی بداخل لایه مرزی تزریق نمود و یا اینکه سیال از سطح دیواره مکیده شود. این قبیل فرآیند انتقال جرم اضافی به طور مؤثری روی ضریب اصطکاک و عدد نوسلت موضعی اثر می‌گذارد.

در این مقاله مسئله انتقال حرارت جابجایی روی یک جسم متقارن محوری دورانی با جریان جابجایی اختلاسی (جابجایی آزاد و اجباری) با استفاده از روش Keller-Box [۱] مورد بررسی قرار گرفته است. دوران جسم، انتقال حرارت جابجایی را بهبود می‌بخشد، زیرا نیروی گریز از مرکز، سیال نزدیک سطح را به سمت بیرون رانده و جای آنرا سیال گرم‌تر یا سردتر نسبت به دمای دیواره پرمی‌کند. نرخ انتقال حرارت و موتموم نیز ممکن

بدلیل نیروی شناوری متغیر است، سایر خواص سیال ثابت فرض می‌شود. وقتی دمای دیواره از دمای محیط بیشتر باشد ($T_w > T_\infty$ یا $Z=1$)، نیروی شناوری به حرکت به سمت بالای جریان یکنواخت کمک می‌کند، اما در حالت عکس ($T_w > T_\infty$ یا $Z=-1$)، بدلیل نیروی شناوری، جریان اجباری کند خواهد شد. مختصات غیر چرخشی نیز به گونه‌ای انتخاب شده که محور x ، فاصله اندازه‌گیری روی منحنی جسم و محور y در جهت عمود بر آن است (شکل ۱). از اثرات گردابه و اتلافات لزجی صرف نظر می‌شود. در اینصورت معادلات لایه مرزی به کمک تقریب بوزینسک [۱۰] به صورت زیر است:

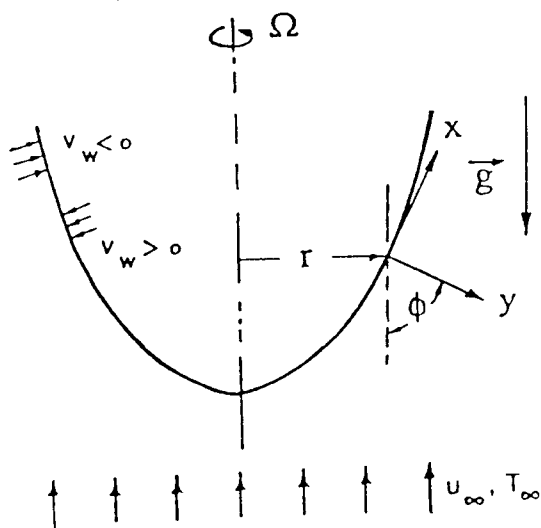
$$\frac{\partial}{\partial x}(ru) + \frac{\partial}{\partial y}(rv) = 0 \quad (1)$$

$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{w^2}{r} \frac{dr}{dx} = u_e \frac{du_e}{dx} + Zg\beta |T - T_\infty| \sin \phi \quad (2)$$

$$\phi + \nu \frac{\partial^2 \phi}{\partial y^2} \quad (2)$$

$$u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{uw}{r} = \nu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \quad (3)$$

$$u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \quad (4)$$



شکل ۱: شکل شماتیک سیستم و مختصات.

شرایط مرزی به صورت زیر است:

$$y=0: \quad u=0, \quad v=v_w, \quad w=r\Omega, \quad T=T_w = \text{constant} \quad (5-\text{الف})$$

مسائل ساده‌ای از این نوع بوسیله افراد زیادی در گذشته مورد تحقیق قرار گرفته است. به عنوان مثال Chao & Greif [۲] با فرض یک چند جمله‌ای درجه چهار برای سرعت، انتقال حرارت جابجایی اجباری اطراف جسم دورانی را مطالعه نموده‌اند. Lee [۳] و همکارانش روش بسط سری Merk را برای بررسی آهنگ انتقال جرم و مومنتوم در لایه مرزی آرام روی جسم دورانی هم‌دما با شکل‌های دلخواه به کار برده‌اند. Rajasekaran & Palckar [۴] نیز از بسط سری Merk استفاده کرده‌اند تا جریان جابجایی اختلاطی را برای کره دورانی مورد بررسی قرار دهند. Lien [۵] و همکارش کار انجام شده توسط Lee را توسعه داده و اثر انتقال جرم در دیوار را در جابجایی اجباری خالص، آزاد خالص و اختلاطی اطراف یک کره دوار مورد تجزیه و تحلیل قرار داده‌اند. بررسی‌های Huang & Chen [۶] درباره تأثیر عدد پراتل و انتقال جرم سطحی در جریان جابجایی آزاد و آرام یکنواخت روی کره بوده است. پژوهش Kleinstreuer & Wang [۷] نیز مطالعه جابجایی حرارتی اختلاطی را روی جسم متخلخل با سیال غیر نیوتنی بوده است. اخیراً یک بررسی جامع از انتقال حرارت جابجایی اختلاطی یکنواخت بین سیال ساکن و یک مخروط دوار دورانی یا غیر دورانی توسط Wang [۸] انجام شده است. همچنین Wang [۹] در آخرین متقارن محوری دورانی یا غیر دورانی را در محدوده وسیعی از جابجایی اجباری آزاد خالص را از طریق معرفی پارامترهای جابجایی مختلط و دورانی مورد مطالعه قرار داده است. در این مقاله انتقال حرارت اختلاطی اطراف کره در حال دوران از طریق حل معادلات لایه مرزی بروش Keller - Box بررسی شده و با نتایج Wang [۹] مقایسه شده است.

روش حل

لایه مرزی حاصل از جریان آرام یک سیال نیوتنی روی جسم متخلخل با حرکت دورانی حول محور خودش در دمای دیواره مشخص را در نظر بگیرید. محور جسم دورانی، موازی با سرعت جریان آزاد است. بجز چگالی که

$$\theta'' + B(\xi)F\theta' - MP \cdot D(\xi)\theta' = \xi[F' \frac{\partial \theta}{\partial \xi} - \theta' \frac{\partial F}{\partial \xi}] \quad (۱۲)$$

شرایط مرزی متناظر به شکل زیر در می آیند:

$$F(\xi, 0) = F'(\xi, 0) = 0; \quad G(\xi, 0) = 1 \quad \& \quad \theta(\xi, 0) = 1 \quad (۱۳-الف)$$

$$F'(\xi, \infty) = Pr(1-\xi)^2(1-RP); \quad G(\xi, \infty) = 0 \quad \& \quad \theta(\xi, \infty) = 0 \quad (۱۳-ب)$$

علامت پریم در معادلات فوق به معنی مشتق بر حسب η می باشد. پارامترهای دستگاه معادلات عبارتند از پارامتر دورانی بصورت زیر:

$$RP = L^2 \Omega / (u_\infty L + L^2 \Omega) \quad (۱۴)$$

که در تمام رژیمهای جریان اجباری از حد جریان اجباری خالص (جسم غیر دورانی $RP = 0$) تا حد جابجایی اجباری دورانی (جسم دوران کننده $RP = 1$) معتبر است. پارامتر انتقال جرم نیز به صورت زیر تعریف می شود:

$$MP = \frac{v_w L}{\alpha} \quad (۱۵)$$

ضرائب جدید در معادلات ۱۰ تا ۱۲ به صورت زیر تعریف می شوند:

$$A(\xi) = (\xi/u_e)(du_e/d\xi) \quad (۱۶-الف)$$

$$B(\xi) = (\xi/r)(dr/d\xi) + (1+A(\xi))/2 \quad (۱۶-ب)$$

$$C(\xi, \zeta) = Pr^2(1-\xi)^4(1-RP)^2 A(\xi) \quad (۱۶-ج)$$

$$D(\xi) = \xi^{1/2}/(u_e/u_\infty)^{1/2} \quad (۱۶-د)$$

$$E(\xi) = Pr^2 RP^2 (1-\xi)^4 (\xi/r)$$

$$(dr/d\xi)[(r/L)/(u_e/u_\infty)]^2 \quad (۱۶-ه)$$

$$H(\xi) = 2(\xi/r)(dr/d\xi) \quad (۱۶-و)$$

$$S(\xi, \zeta) = Pr \zeta^4 \xi \sin \xi / (u_e/u_\infty)^2 \quad (۱۶-ز)$$

$$y = \infty: \quad u = u_e(x), \quad w = 0, \quad T = T_\infty \quad (۵-ب)$$

که در آن سرعت مگش یا دمش می باشد. r با x نسبت به محور تقارن تغییر می کند و Ω سرعت زاویه ای جسم در حال دوران و u_e سرعت سیال در خارج از لایه مرزی است. با استفاده از تابع جریان و تبدیل مختصات می توان سیستم معادلات را ساده کرد:

$$u = \frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial y}, \quad v = -\frac{1}{r} \frac{\partial \Psi}{\partial x} \quad (۶-الف و ب)$$

$$\xi = \frac{x}{L}, \quad \eta = \lambda \xi^{-1/2} (u_e/u_\infty)^{1/2} y/L \quad (۷-الف و ب)$$

$$\Psi = r \alpha \lambda \xi^{1/2} (u_e/u_\infty)^{1/2} F(\xi, \eta) - \int_0^x r v_w dx \quad (۷-ج)$$

$$G = \frac{w}{r \Omega}, \quad \theta = \frac{T - T_\infty}{T_w - T_\infty} \quad (۷-د و ه)$$

پارامتر شناوری بدون بعد λ به صورت زیر تعریف می شود:

$$\lambda = Re^{1/2} + Ra^{1/4} = Re^{1/2}/(1-\zeta) = Ra^{1/4}/\zeta \quad (۸)$$

که در آن $Ra = g\beta |T_w - T_\infty| L^3 / (\alpha \nu)$ و $Re = (u_\infty L + L^2 \Omega) / \nu$ اعداد رینولدز و رایلی هستند و L طول جسم است. پارامتر جابجایی اجباری ζ تمامی ناحیه جابجایی اختلاطی از جابجایی اجباری خالص ($\zeta = 0$) تا جابجایی آزاد خالص ($\zeta = 1$) را دربر گرفته و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\zeta = Ra^{1/4} / (Re^{1/2} + Ra^{1/4}) \quad (۹)$$

در نتیجه معادله پیوستگی خود بخود ارضاء شده و معادله مومنتوم و انرژی به صورت زیر تغییر شکل می یابند.

$$Pr F''' + B(\xi)FF'' - A(\xi)F'^2 + C(\xi, \zeta) + E(\xi)G^2 -$$

$$MP \cdot D(\xi)F'' + ZS(\xi, \zeta) \theta = \xi[F' \frac{\partial F'}{\partial \xi} - F'' \frac{\partial F}{\partial \xi}] \quad (۱۰)$$

$$Pr G'' + B(\xi)FG' - H(\xi)GF' - MP \cdot D(\xi)G' =$$

$$\xi[F' \frac{\partial G}{\partial \xi} - G' \frac{\partial F}{\partial \xi}] \quad (۱۱)$$

$$u_e/u_\infty = \frac{3}{2} \sin(x/R), \quad x > 0 \quad (22)$$

و دیگری رابطه ای است که توسط White [۱۱] ارائه شده است. نتایج این مقاله براساس رابطه (۲۳) بوده که برای $x/R \ll 1.48$ صادق است.

$$u_e/u_\infty = 1.5 \xi - 0.4371 \xi^3 + 0.1481 \xi^5 - 0.0423 \xi^7, \quad \xi > 0 \quad (23)$$

روش حل عددی

چنانکه دیده می شود دستگاه معادلات حاکم بر مسئله غیر خطی می باشد. ضرائب مناسبی در معادلات تعریف شده که امکان حل مسئله برای کره در حال دوران را امکان پذیر می سازد. این معادلات با استفاده از متد Keller-Box، حل شده اند. در این روش معادلات غیر خطی به روش نیوتن خطی شده و بدلیل طبیعت پیماننش^(۱) مسئله، دستگاهی از $7G+7$ معادله جبری در قالب دستگاهی از معادلات خطی با ماتریس ضرائب سه قطری بلوکی که هر بلوک یک ماتریس 7×7 می باشد، حاصل شده است. الگوریتم مورد استفاده برای حل دستگاه معادلات جبری الگوریتم توماس بوده که در آن ماتریس ضرائب سه قطری بلوکی به یک ماتریس بالا مثلثی تبدیل و در یک فرآیند حرکت به عقب، مجهولات مسئله در هر تکرار محاسبه می شوند.

به منظور بررسی همگرایی دفعات سعی و خطا، از تغییرات پارامتر برشی روی دیواره استفاده شده است. این بررسی با رعایت شرط $\max |v_0^{(i+1)} - v_0^{(i)}| / v_0^{(i)} < 10^{-5}$ که تعداد تکرار بوده، کامل می گردد. شبکه نقاط مورد استفاده در حل معادلات اختلاف به صورت دو بعدی بوده و در امتداد عمود بر دیواره بدلیل وجود گرادیانهای شدید سرعت و دما شبکه نقاط غیر یکنواخت فرض شده و تغییرات آن به صورت نمایی است، لیکن در امتداد خطوط جریان از شبکه یکنواخت استفاده شده است. تغییر ابعاد شبکه و استفاده از شبکه های ریزتر تغییری در نتایج محاسبات ایجاد نکرده و این نشانگر آن است که نتایج محاسبات مستقل از شبکه نقاط است. استفاده از توابع نمایی مختلف در امتداد η نیز تغییری در نتایج به وجود نیاورده است.

کمیت های فیزیکی مهمی که مورد علاقه می باشند، ضرائب اصطکاک c_f و عدد نوسلت موضعی Nu هستند. به منظور اینکه ضریب اصطکاک بتواند تمام ناحیه جابجایی اختلاطی را دربرگیرد، به صورت زیر تعریف می شود:

$$C_f = \tau_w / \left(\frac{1}{2} \rho U^2 \right) \quad (17)$$

که در آن U به عنوان سرعت مرجع و یا شبه سرعت بوده و به صورت زیر معرفی می شود:

$$U = (u_\infty + L\Omega) + [g \beta | T_w - T_\infty | L]^{1/2} \quad (18)$$

و بنابراین پارامتر ضریب اصطکاک بدون بعد به صورت زیر درمی آید:

$$SFP = \frac{1}{2} C_f \lambda = \frac{F''(\xi, 0)}{Pr} \xi^{-1/2} (u_e/u_\infty)^{3/2} [(1-\xi)^2 + \xi^2 / Pr^{1/2}]^{-2} \quad (19)$$

و بطور مشابه با تعریف عدد نوسلت موضعی به صورت زیر:

$$Nu = hL/k \quad (20)$$

پارامتر انتقال حرارت بدون بعد به صورت زیر تعریف می شود:

$$HTP = \frac{Nu}{\lambda} = -\xi^{1/2} (u_e/u_\infty)^{1/2} \theta'(\xi, 0) \quad (21)$$

برای یک مسئله خاص لازم است شکل $\alpha(x)$ طول مشخصه L و شرایط جریان خارجی $u_e(x)/u_\infty$ مشخص باشند. البته باید توجه داشت که برای جریان جابجایی آزاد خالص، سرعت جریان خارجی صفر می باشد.

کاربرد حل عددی برای کره وار

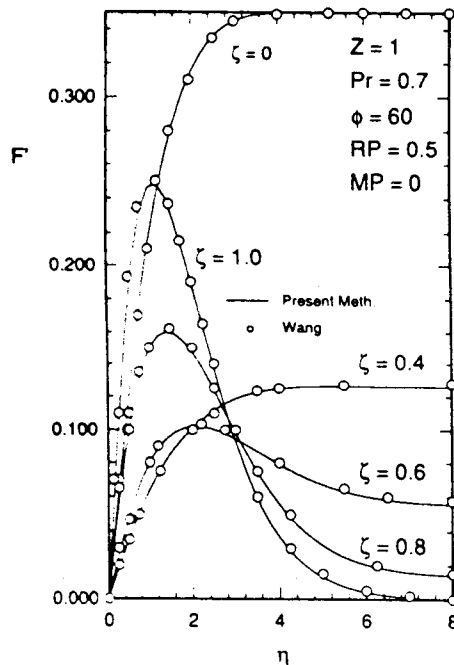
برای یک کره $\phi = x/R = \xi$ ، $r(x) = R \sin(x/R)$ که در آن شعاع به عنوان طول مشخصه L معرفی می شود. توزیع سرعت در خارج از کره را می توان از دو رابطه زیر استفاده نمود. یکی از آنها جریان پتانسیل است که در آن:

توضیح برنامه کامپیوتری

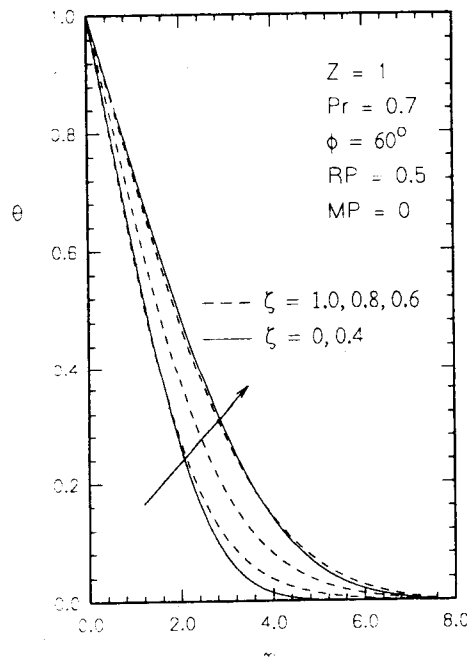
برنامه کامپیوتری به زبان فرترن ۷۷ می باشد که معادلات خطی شده هفت تایی لایه مرزی روی یک جسم متقارن محوری دوار را حل می کند. این برنامه با تغییرات مختصری قابل تعمیم برای حل بسیاری از دستگاههای معادلات و شرایط مرزی مختلف می باشد. برنامه از بخش اصلی شامل محاسبات منطقی کلی و پنج برنامه فرعی تشکیل شده است. این برنامه در ابتدا شبکه نقاط روی جسم را که عمود بر سطح است ($\Delta\eta$) ایجاد می نماید و رشد لایه مرزی را در نظر می گیرد. این برنامه قابلیت استفاده از مدل‌های مختلف اغتشاش را نیز دارا می باشد. پروفیل‌های اولیه دما و سرعت در میدان جریان لایه مرزی حدس زده می شود و پس از محاسبه ضرائب معادلات در هر نقطه از شبکه، دستگاه معادلات در برنامه فرعی حل کننده معادلات جبری به روش تکراری حل می شوند. در این برنامه فرعی، الگوریتم توماس برای حل دستگاه معادلات با ماتریس ضرائب سه قطری بلوکی و با بلوکهای 7×7 مورد استفاده قرار می گیرد. در خروجی برنامه اعداد بدون بعد ضرباصطکاک پوستی SFP و پارامتر انتقال حرارت HTP محاسبه می شوند.

نتایج حاصل از اجرای برنامه

برای سیستم پیش‌بینی شده در این مقاله، نتایج تجربی و جوابهای تحلیلی و عددی در مقالات علمی ارائه نشده است. لیکن نتایج مربوط به حالات خاص با آنچه که توسط Wang، با استفاده از روش اصلاح شده Keller) انجام شده، مقایسه شده است. متذکر می گردد که Wang از یک نسخه اصلاح شده از روش کلر استفاده نموده، در حالیکه در گزارش حاضر روش کلر بدون هیچگونه اصلاحی مورد استفاده قرار گرفته است. در این گزارش از شبکه نقاط غیر یکنواخت استفاده شده و برای رسیدن به نتایج دقیق‌تر، شبکه نقاط پالایش شده و دیده می شود که تغییر در دقت نتایج ایجاد نشده است. بدین ترتیب می توان گفت که در این کار جدید بدون آنکه از پیچیدگیهای اعلام شده در مقاله Wang استفاده شده باشد نتایج بدست آمده به همان دقتی است که وی گزارش کرده است.



الف



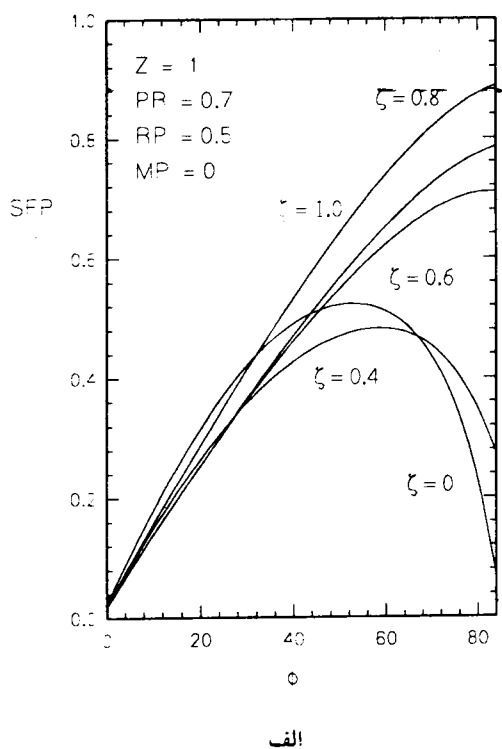
ب

شکل ۲: الف - مقایسه نتایج حاصل از اجرای برنامه در گزارش

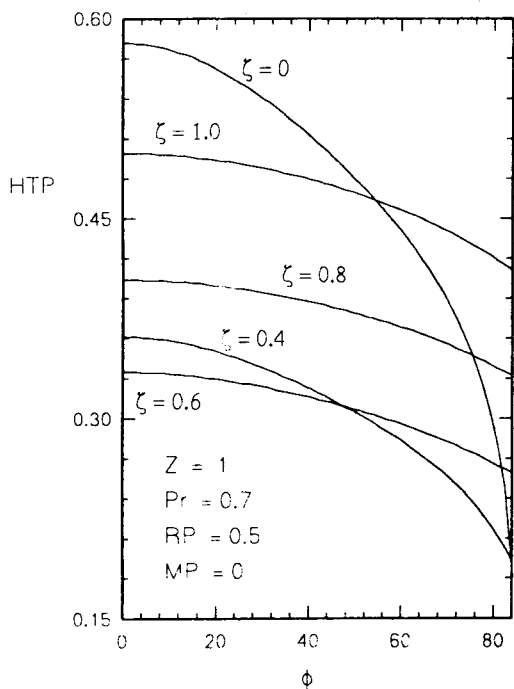
حاضر با نتایج گزارش شده توسط Wang.

ب - مقایسه پروفیل‌های دمای بدون بعد در ضخامت لایه مرزی و در

زاویه $\phi = 60^\circ$.



الف



ب

شکل ۳: الف - مقایسه اصطکاک پوسته‌ای موضعی در زوایای ϕ و ζ مختلف.

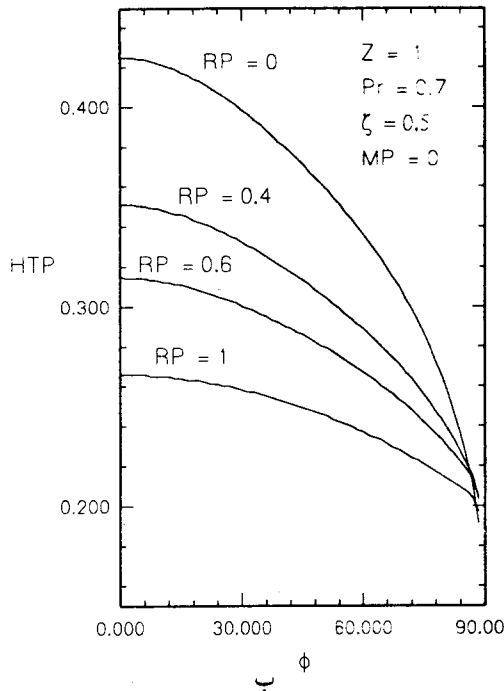
ب - مقایسه پارامتر انتقال حرارت HTP در زوایای ϕ و ζ مختلف.

۱- در شکل (۲-الف) نمودار تغییرات F' برحسب η در حالت $\phi = 60^\circ$ ، روی یک کره حرارت داده شده، دیده می‌شود. در این شکل تغییرات تدریجی $F'(\xi, \eta) = \frac{u(x)}{u_e}$ از حالت جابجایی اجباری خالص ($\xi = 1$) روی کره قابل مشاهده است. حالت گذرای پروفیلها، از حد جابجایی اجباری به محدوده جابجایی آزاد را می‌توان به وضوح در این شکل مشاهده نمود. تغییر شکل منحنیها بدلیل غلبه نوع جابجایی آزاد ویا اجباری در جریان است. در جابجایی اجباری خالص شکل توزیع سرعت ترکیبی از جریان لایه مرزی و پتانسیل اطراف کره است که در شکل نیز آنرا می‌توان دید. تطابق نتایج بامرجع Wang نیز از شکل دیده می‌شود.

۲- در شکل (۲-ب) پروفیلهای دما در $\phi = 60^\circ$ روی کره حرارت داده شده در تمامی محدوده جابجایی آزاد و اجباری نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که گرادینتهای دمای بدون بعد روی دیواره بصورت یکنواخت با افزایش نیروی شناوری کاهش نمی‌یابند. دلیل این امر این است که مقدار θ' در انتقال حرارت جابجایی اجباری کاهش می‌یابد. زیرا در این حالت $\eta \approx (1-\xi)^{-1}$ و با توجه به تعاریف جابجایی اجباری خالص $\xi = 1$ ، در نتیجه مقدار θ' به حداقل خواهد رسید. به این ترتیب در جریانی که نیروی شناوری ویا جابجایی آزاد برتری داشته باشد، $\eta \approx \xi^{-1}$ و لذا θ' افزایش خواهد داشت.

۳- اثر پارامترهای حاکم بر جریان روی اصطکاک پوسته‌ای موضعی (SFP) و پارامتر انتقال حرارت (HTP) نیز در شکل (۳-الف و ب) ارائه شده است. در شکل (۳-الف) توزیع زاویه‌ای پارامتر اصطکاک پوسته‌ای موضعی (SFP) و در شکل (۳-ب) توزیع زاویه‌ای پارامتر انتقال حرارت (HTP) برای یک کره در تمامی محدوده جابجایی آزاد نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که در این شکلها $\phi = (x/R)(180/\pi)$ است که در آن R شعاع کره است.

استفاده صحیح و مطلوب از سرعت مرجع U به صورتی که توسط رابطه (۱۸) داده شده است، امکان شبیه سازی پارامتر SFP در تمامی محدوده جابجایی مختلط را فراهم کرده است. بوضوح دیده می‌شود که نیروی شناوری باعث تأخیر در جدایی جریان می‌شود.



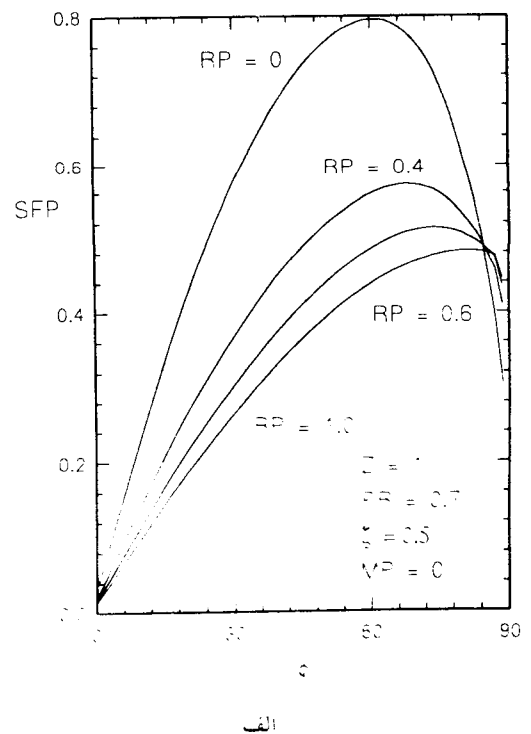
شکل ۴: الف - مقایسه اصطکاک پوسته‌ای موضعی در زوایای ϕ و RP مختلف.

ب - مقایسه پارامتر انتقال حرارت موضعی در زوایای ϕ و RP متفاوت.

نتیجه‌گیری

در این گزارش معادلات لایه مرزی حول جسم دورانی و انتقال حرارت جابجایی مختلط در جریان لایه‌ای و دائم بادمای جداره ثابت به روش عددی حل شده است. اگر چه نتایج تجربی جهت مقایسه و محک زدن نتایج عددی وجود ندارد، اما مقایسه با نتایج ارائه شده مرجع [۹] نشان می‌دهد که روش بکار گرفته شده جهت حل عددی از دقت لازم برخوردار بوده است. برای حل عددی معادلات از روش ضمنی Keller-Box بدون هیچگونه اصلاحی و مستقیماً استفاده شده و نتایج با روش بکار گرفته شده توسط Wang مقایسه شده است. مقایسه نتایج گزارش حاضر و نتایج ارائه شده در مقاله Wang نشان می‌دهد که روش Keller-Box مستقیماً کارآیی لازم را در حل معادلات پیچیده داشته و می‌توان از آن بدون اصلاحات پیچیده استفاده نمود. همچنین حل معادلات حول جسم دورانی نشان می‌دهد که دوران میزان انتقال حرارت

۴- اثر میزان دوران RP روی پارامترهای SFP و HTP بترتیب در شکل (۴ - الف و ب) نشان داده شده است. چنانکه در این شکلها ملاحظه می‌شود، افزایش مقدار پارامتر دوران باعث تغییر یکنواخت توزیع اصطکاک پوسته‌ای و انتقال حرارت می‌شود. باتوجه به اینکه هر چه حرکت دورانی با قدرت بیشتری انجام شود، تأثیر فرآیند اختلاط افزایش می‌یابد (که خود منجر به افزایش نرخ انتقال حرارت می‌گردد) این نتایج را می‌توان بدینگونه تحلیل کرد: اگر شکل (۷) با دقت مورد بررسی قرار گیرد، مشاهده می‌شود که گرچه جابجایی اجباری در جریان غیر دورانی خالص ($RP=0$) باعث ایجاد HTP بزرگتر در نقطه سکون جسم ($\phi=0$) نسبت به حالت جابجایی اجباری در جریان دورانی خالص ($RP=1$) می‌شود، معهداً پدیده جدایی جریان برای حالت جابجایی اجباری در جریان غیر دورانی خالص ($RP=0$) با توجه به شکل (۴ - الف) در موقعیتهای ϕ بزرگتر از 90° قریب الوقوع است. بنابراین نرخ انتقال حرارت کلی مربوط به یک جسم متفاری محوری در جریان جابجایی اجباری مربوط به حالت دورانی بزرگتر از نرخ انتقال حرارت جریان جابجایی اجباری مربوط به حالت غیردورانی خالص می‌باشد.



v	مولفه سرعت در امتداد محور x	جابجایی را افزایش داده و جدایی را روی جسم ضخیم به تأخیر می‌اندازد. این برنامه قابلیت دارد که بتواند اثر انتقال جرم در جداره و یا درجه حرارت آنرا نسبت به محیط تغییر داده و اثرات آنرا بررسی کند.
w	مولفه سرعت جانبی	
x	محور مختصات در جهت جریان	
y	محور مختصات عمود بر سطح	
Z	پارامتر بی بعد	
α	ضریب پخش حرارتی	راهنمای علائم
β	ضریب توسعه حرارتی	C_f ضریب اصطکاک پوسته‌ای موضعی
ξ	پارامتر جابجایی اختلاطی	F تابع جریان بی بعد
η	محور مختصات بی بعد	G سرعت بی بعد
θ	دمای بی بعد	g شتاب جاذبه
λ	پارامتر بی بعد	h ضریب انتقال حرارت موضعی
ν	لزجت سینماتیکی	k ضریب هدایت حرارتی
ξ	محور مختصات بی بعد	L طول مشخصه در جسم متقارن محوری
ρ	چگالی سیال	MP پارامتر انتقال جرم
τ	تنش برشی	Nu عدد ناسلت
ϕ	زاویه بین بردار g و مولفه عمود بر سطح جسم	Pr عدد پراتل
Ψ	تابع جریان	q نرخ انتقال حرارت موضعی
Ω	سرعت زاویه‌ای	R شعاع کره
		Ra عدد رایلی
		RP پارامتر دوران
		r فاصله از محور تقارن تا سطح
		T دما
		U شبه سرعت
		u مولفه سرعت در امتداد محور x

زیر نویس ها

c	شرایط در لبه لایه مرزی
w	شرایط روی دیواره
∞	شرایط محیط

مراجع

- 1- Keller, H. B. (1978). "A new difference scheme for parabolic problems." *Numerical Solution of Partial Differential Equations*, (editor J. Beamble), II, Academic, New York.
- 2- Chao, B. T., and Greif, R. (1974). "Laminar Forced convection over rotating bodies", *ASME, J. Heat Transfer*, 96, 463-466.
- 3- Lee, M. H., Jeng, D. R., and De Witt, K. J. (1978). "Laminar boundary layer Transfer over rotating bodies in forced flow." *ASME, J. Heat Transfer*, 100, 496-502.
- 4- Rajasekaran, R., and Palekar, M. G. (1985). "Mixed convection about rotating sphere", *Int. J. Heat Mass Transfer*, 23, 959-968.
- 5- Lien, F. S., Chen, C. K., and Cleaver, J. W. (1986). "Mixed and free convection over a rotating sphere with blowing & suction." *ASME, J. Heat Transfer*, 108, 398-404.

- 6- Huang, M. J., and Chen, C. K. (1987). "Laminar free convection from a sphere with blowing and suction", *ASME J. Heat Transfer*, 109, 529-532.
 - 7- Kleinstreuer, C., and Wang, T. V. (1989). "Mixed convection heat transfer and surface mass transfer between power-law fluids and rotating permeable bodies." *Chem. Eng. Sci.*, 44, 2987 - 2994.
 - 8- Wang, T. Y. (1991). "General analysis of thermal convection heat transfer on a vertical cone." *J.CSME*, 12, 227.
 - 9- Wang, T. Y. (1993). "Convective heat transfer from rotating or non-rotating axisymmetric body." *Int. J. Heat and Fluid Flow*, 14(4).
 - 10- Cebeci, T., and Bradshaw, P. (1984). "Physical and computational aspects of convective heat transfer." Springer - Verlage, New York.
 - 11- White, F. M. (1974). "Viscous Fluid flow." Mc.Graw - Hill Book , New York.
-

قابل توجه تهیه کنندگان مقاله

۱۱ - شماره ترتیب منابع در متن مقاله داخل کروش نوشته

شود. شماره روابط ریاضی داخل پرانتز گذارده شود. اشاره به پاورقی با شماره‌هائی در فوق کلمه مشخص شود.

۱۲ - در مورد واژه های علمی که قبلاً به کار برده نشده باید معادل خارجی آنها در ذیل صفحات آورده شود.

۱۳ - فهرست منابع بصورت تک ستونی باید مطابق نمونه زیر به ترتیب برای مقاله، کتاب و مجموعه مقالات کنفرانس باقلم Times Medium 9 تهیه شود:

1- Murtha-Smith, E., Hwang, S.-H., and Bean, J. (1992). "Load transfer in a space frame connection." *Int. J. Struct.*, 7(3), 191-200

2- Threlkeld, J. L. (1970). *Thermal environmental engineering*. Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J.

3 - Morgan, P. R., Schmidt, L. C., and Rhodes, W. A. (1984). "Material effects on mild steel strut stability." *Proc., 3rd Int. Conf. on Space Struct.*, H. Nooshin, ed., Elsevier Applied Science, London, England, 388-393.

۱۴ - اصل مقاله باید به زبان فارسی باشد و خلاصه آن به زبان انگلیسی که از حدود ۵۰۰ کلمه تجاوز ننماید تهیه و جداگانه ارائه شود.

۱۵ - باتوجه به اینکه مسئولیت ارائه صحیح مطالب مقاله بعهده نویسنده مقاله است لذا نسخه‌ای از مقاله آماده برای چاپ جهت آخرین تصحیح به نویسنده ارسال خواهد شد. اگر تعداد نویسندگان بیش از یک نفر باشد در موقع ارسال مقاله مشخص نمایند که مکاتبات بعدی با کدام یک از آنها انجام گیرد.

۱۶ - خوانندگان می توانند بحث درباره مقالات چاپ شده را حداکثر تا سه ماه پس از انتشار مقاله به دفتر نشریه ارسال دارند تا در صورت تصویب هیأت تحریریه جهت دعوت از نویسنده مقاله برای تهیه و پاسخ نسبت به چاپ آن در شماره‌های بعدی اقدام گردد. این گونه اظهار نظرها حداکثر در دو شماره بعد از شماره‌ای که مقاله در آن به چاپ رسیده، چاپ خواهد شد.

۱۷ - مقالات پذیرفته شده برای چاپ که حروفچینی گردیده است قابل تغییر نیست. چنانچه نویسنده مقاله علاقمند به اضافه کردن توضیحات یا مطالب بسیار ضروری دیگر باشد ممکن است آنها را بصورت حداکثر یک پاراگراف در آخر مقاله آورد

از عموم علاقمندانی که مقالات خود را جهت هیأت تحریریه نشریه دانشکده فنی ارسال میدارند تقاضا دارد نکات زیر را دقیقاً رعایت نمایند.

۱ - نشریه دانشکده فنی مقالات علمی - پژوهشی را در کلیه رشته های مهندسی چاپ می کند. هیأت تحریریه در پذیرش مقالاتی که در رابطه با مسائل ایران باشند. اولویت قائل است.

۲ - مقاله ارسال شده نباید قبلاً در هیچ نشریه داخلی یا خارجی چاپ شده باشد. هیأت تحریریه انتظار دارد که نویسندگان محترم تا هنگامی که جواب پذیرش از نشریه دانشکده فنی نرسیده است مقاله خود را برای مجله دیگری جهت چاپ ارسال نفرمایند.

۳ - عنوان مقاله با در نظر گرفتن فواصل بین کلمات نباید از ۶۰ حرف تجاوز نماید. با قلم لوتوس سیاه ۱۶ نرم افزار زرنگار تایپ گردد.

۴ - حجم مقاله نباید از حدود ۷۵۰۰ کلمه و یا حداکثر ۱۲ صفحه چاپی به قطع نشریه تجاوز نماید. (با در نظر گرفتن محل جداول - اشکال - خلاصه - نتایج و فهرست منابع).

۵ - مقالات باید روی کاغذ A4 (۲۹۷×۲۱۰ میلیمتر) با قلم لوتوس نازک ۱۲ نرم افزار زرنگار تایپ گردد. فواصل بین خطوط ۰/۶۵ سانتی متر مطابق نمونه حاضر باشد.

۶ - نام نویسنده مقاله باقلم لوتوس سیاه ۱۲ - عنوان علمی یا شغلی او باقلم لوتوس نازک ۱۲ باید در زیر عنوان مقاله ذکر شود.

۷ - چکیده مقاله که باقلم لوتوس نازک ۱۲ تایپ میگردد نباید از حدود ۲۰۰ کلمه تجاوز نماید و بایستی حاوی نکات اصلی و نتایج مقاله باشد به طوری که آنرا بتوان جداگانه چاپ نمود.

۸ - نسخه اصلی مقاله و سه نسخه از فتوکپی آن باید به دفتر نشریه به نشانی زیر ارسال گردد:

تهران - خیابان انقلاب - دانشگاه تهران - دانشکده فنی - دفتر نشریه - صندوق پستی ۴۵۶۳ - ۱۱۳۶۵

۹ - اشکال و نمودارهای مربوط به مقاله باید روی کاغذ کالک یا سفید جداگانه با اندازه ۱۷۰×۲۱۰ میلیمتر با مرکب سیاه چین ترسیم یا چاپ شده باشند (حتماً باید اصل بوده و کیفیت مطلوب داشته باشند). زیرنویس آنها باقلم لوتوس سیاه ۱۰ تایپ گردد.

۱۰ - در انتهای هر مقاله لازم است که طی پاراگرافهای جداگانه نتایج، فهرست منابع و واژه‌نامه (در صورت استفاده از کلمات خارجی) ارائه شوند.