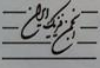



Seventeenth
Fluid Dynamics Conference
Shahrood University of Technology - Mechanical Engineering Department
August 27 - 29, 2017

هفدهمین کنفرانس
دینامیک شماره‌ها
دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی مکانیک
۵ الی ۷ شهریور ۱۳۹۶

«گوایی ارائه مقاله»
بدینوسید گوایی می‌شود؛ سرکار خانم اجتاب آقایی
حسن سجادی و حمید نیازمند
در هفدهمین کنفرانس دینامیک شماره‌ها که از تاریخ ۵ تا ۷ شهریور ماه ۱۳۹۶ در
دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید، حضور داشته و مقاله خود را با عنوان
شبیه‌سازی جریان جابجایی طبیعی سه‌بعدی با روش شبکه بولتزن بر پایه مدل زمان آرامش چندگانه دوتایی
ارائه نموده‌اند.
دکتر محمد حسن کیبانی
دبیر علمی کنفرانس

برگزار کنندگان



شبیه‌سازی جریان جابجایی طبیعی سه‌بعدی با روش شبکه بولتزن بر پایه مدل زمان

آرامش چندگانه دوتایی

حمید نیازمند

استاد، دانشگاه فردوسی مشهد، niazmand@um.ac.ir

حسن سجادی

استادیار، دانشگاه بجنورد، hsajjadi@clarkson.edu

چکیده

در این مقاله شبیه‌سازی جریان جابجایی طبیعی سه بعدی داخل یک حفره مکعبی با استفاده از روش شبکه بولتزن بر پایه مدل جدید زمان آرامش چندگانه دوتایی مورد بررسی قرار گرفت. عدد پرناتل سیال برابر 0.71 و همچنین عدد راییلی جریان مورد نظر برابر 10^3 ، 10^4 و 10^5 در نظر گرفته شده است. به منظور اعمال مدل زمان آرامش چندگانه دوتایی شبکه $D3Q19$ برای حل معادله جریان و شبکه $D3Q7$ نیز برای حل میدان دما مورد استفاده قرار گرفت. دو دیواره سمت چپ و راست حفره در دمای ثابت و چهار دیواره باقی مانده آدیاباتیک در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده نشان داد که مدل جدید استفاده شده بخوبی و با پایداری بالا قادر به حل جریان جابجایی طبیعی می‌باشد و نتایج همخوانی خوبی با نتایج عددی و آزمایشگاهی گذشته دارند.

کلمات کلیدی: روش شبکه بولتزن، مدل زمان آرامش چندگانه دوتایی، جریان جابجایی طبیعی.

۱- مقدمه

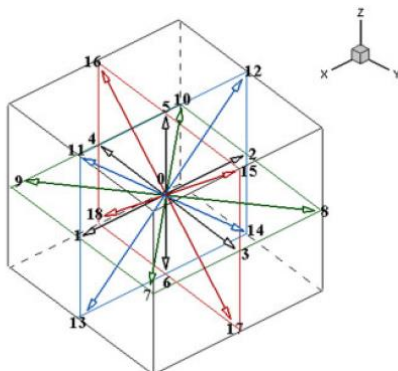
بدلیل پیچیدگی جریان داخل اتاق و پر هزینه بودن بررسی آزمایشگاهی این گونه جریان‌ها شبیه‌سازی عددی آن‌ها از جذابیت خاصی بین محققین برخوردار می‌باشد [۸-۱۱]. با توجه به مزیت‌های روش شبکه بولتزمن نسبت به دیگر روش‌های حل عددی جریان همچنین به دلیل سهولت اعمال شرایط مرزی در این روش، برای حل مسائلی که دارای هندسه پیچیده می‌باشند دارای کاربرد فراوانی است و از این روش در حل جریان سیال و انتقال حرارت در مسائلی مانند جریان درهم، جریان با مرزهای پیچیده (اجسام متخلخل، سطوح منحنی متحرک و...) جریان چندفازی، جریان سیال غیرنیوتنی (شبیه‌سازی‌های جریان خون) و... استفاده شده است [۹، ۱۰]. بدلیل تاثیر مستقیم بحث انتقال حرارت داخل اتاق بر روی میزان مصرف انرژی این موضوع از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد و تحلیل حرارتی دو بعدی این نوع جریان با استفاده از روش شبکه بولتزمن انجام شده است بطوری که هر دو رژیم جریان آرام و مغشوش مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج ارائه شده روش شبکه بولتزمن با دقت خوب و زمان محاسباتی پایین قادر به پیش‌بینی این نوع از جریان می‌باشد [۱۱ و ۱۲]. سجادی و همکاران [۱۳] انتقال حرارت نانو سیال داخل یک محفظه دو بعدی را با استفاده از روش شبکه بولتزمن یک زمانه تحلیل کردند و نتایج نشان داد که روش شبکه بولتزمن بخوبی قادر به پیش‌بینی میدان دما و جریان می‌باشد. همچنین سجادی و همکاران [۱۴، ۱۵] جریان داخل اتاق را با روش شبکه بولتزمن چند زمانه مورد بررسی قرار داده و گزارش دادند که با استفاده از این روش و مدل زمان آرامش چندگانه پایداری حل بیشتر خواهد بود. هدف اصلی در این پژوهش حل میدان جریان و دمای سه بعدی داخل اتاق با استفاده از روش شبکه بولتزمن چند زمانه دوتایی^۱ می‌باشد.

۲- روش شبکه بولتزمن چند زمانه دوتایی

به منظور حل جریان جابجایی طبیعی در گذشته معمولاً به منظور پایداری بیشتر از روش شبکه بولتزمن چند زمانه برای حل میدان سرعت و از روش شبکه بولتزمن تک زمانه برای حل میدان دما استفاده شده است. در روش جدید که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است به منظور پایداری بیشتر حل انجام شده، روش شبکه بولتزمن چند زمانه برای حل هر دو میدان سرعت و دما استفاده شده است به همین دلیل مدل زمان آرامش چندگانه دوتایی نامیده می‌شود.

۲-۱- روش شبکه بولتزمن چند زمانه برای حل میدان سرعت:

در این تحقیق از شبکه D3Q19 (شکل ۱) برای حل میدان سه بعدی سرعت با روش شبکه بولتزمن چندزمانه استفاده شده است.



شکل ۱: بردارهای سرعت برای شبکه D3Q19

در این روش برای سیال تراکم ناپذیر تابع توزیع به منظور بدست آوردن سرعت و چگالی از رابطه زیر بدست می‌آید:

^۱ Double Multi Relaxation Time

$$f_i(x+c_i\Delta t, t+\Delta t) = f_i(x, t) - M_{ij}^{-1} \cdot \hat{S}_{jk} \cdot [m_k(x, t) - m_k^{eq}(x, t)] + F_i \quad (1)$$

در رابطه ۱ f_i تابع توزیع سرعت و Δt گام زمانی می باشد که برابر یک در نظر گرفته می شود. همچنین C_i با توجه به شکل ۱ به صورت رابطه ۲ تعریف می گردد:

$$C_i = \begin{cases} 0 & i=0 \\ c(\pm 1, 0, 0), c(0, \pm 1, 0), c(0, 0, \pm 1) & i=1-6 \\ c(\pm 1, \pm 1, 0), c(\pm 1, 0, \pm 1), c(0, \pm 1, \pm 1) & i=7-18 \end{cases} \quad (2)$$

در رابطه ۱ مقادیر ماتریس M_{ij} برای شبکه D3Q19 به صورت زیر قابل محاسبه می باشد:

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ -30 & -11 & -11 & -11 & -11 & -11 & -11 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 & 8 \\ 12 & -4 & -4 & -4 & -4 & -4 & -4 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -4 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -4 & 4 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -4 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & -1 & -1 \\ 0 & 2 & 2 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 & -2 \\ 0 & -4 & -4 & 2 & 2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -2 & -2 & -2 & -2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -2 & -2 & 2 & 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 & -1 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 & -1 & -1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (3)$$

مقدار \hat{S}_{ij} در رابطه ۱ در واقع همان زمان های آرامش می باشند که $\hat{S}_{ij} = \text{diag}(s_0, s_1, \dots, s_{18})$ و از روابط زیر قابل محاسبه می باشند:

$$s_1 = 1.19 \quad (4)$$

$$s_0 = s_3 = s_5 = s_7 = 1. \quad (5)$$

$$s_9 = s_{11} = s_{13} = s_{14} = s_{15} = \frac{1}{(3\nu + 0.5)} \quad (6)$$

$$s_2 = s_{10} = s_{12} = 1.4 \quad (7)$$

$$s_4 = s_6 = s_8 = 1.2 \quad (8)$$

$$s_{16} = s_{17} = s_{18} = 1.98 \quad (9)$$

F_i برابر چشمه نیرو است که برای جریان جابجایی آزاد برابر است با:

$$F_i = 3\omega_i g \beta \Delta T \quad (10)$$

در رابطه بالا ω_i از رابطه زیر بدست می آید و g شتاب جاذبه زمین است :

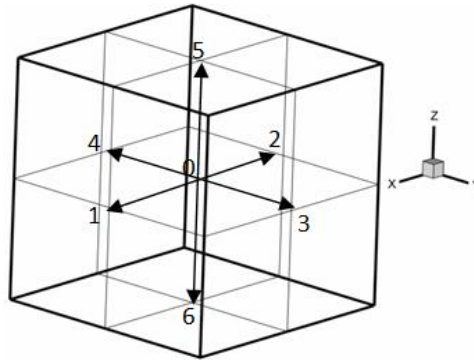
$$\omega_i = \begin{cases} 1/3 & i=0 \\ 1/18 & i=1, 2, \dots, 6 \\ 1/36 & i=7, 8, \dots, 18 \end{cases} \quad (11)$$

در نهایت پس از محاسبه توابع توزیع سرعت مقادیر سرعت و چگالی از روابط زیر بدست می آیند:

$$\rho(x, t) = \sum_i f_i(x, t) \quad (12)$$

$$\rho u(x, t) = \sum_i f_i(x, t) c_i \quad (13)$$

در این تحقیق از شبکه D3Q7 (شکل ۲) برای حل میدان سه بعدی دما با استفاده از روش شبکه بولتزمن چند زمانه استفاده شده است.



شکل ۲: بردارهای سرعت برای شبکه D3Q7

تابع توزیع برای بدست آوردن دما در این روش از رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$g_i(x + e_i \Delta t, t + \Delta t) = g_i(x, t) - N_{ij}^{-1} \cdot Q_{jk} \cdot [n_k(x, t) - n_k^{eq}(x, t)] \quad (14)$$

در رابطه بالا مقادیر ماتریس N_{ij} و Q_{ij} بصورت زیر ارائه می‌شوند:

$$N = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 \\ 6 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 2 & 2 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$Q_{ij} = \text{diag}(q_0, q_1, \dots, q_6) \quad (16)$$

$$q_0 = q_4 = q_5 = q_6 = 1 \quad (17)$$

$$q_1 = q_2 = q_3 = \frac{1}{(4\alpha + 0.5)} \quad (18)$$

e_i نیز با توجه به شکل ۲ بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$e_i = \begin{cases} 0 & i=0 \\ c(\pm 1, 0, 0) & i=1, 2 \\ c(0, \pm 1, 0) & i=3, 4 \\ c(0, 0, \pm 1) & i=5, 6 \end{cases} \quad (19)$$

و در نهایت n_k و n_k^{eq} برابر هستند با:

$$n = N \cdot [g_0, \dots, g_5, g_6]^T \quad (20)$$

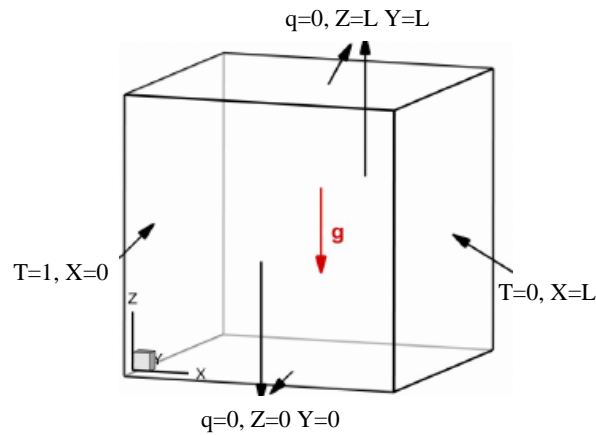
$$n^{eq} = [T, uT, vT, wT, 3T/4, 0, 0]^T$$

پس از بدست آوردن مقادیر تابع توزیع دما (g_i) مقدار دما برابر است با:

$$T = \sum_{i=0}^6 g_i \quad (21)$$

۳- هندسه مورد بررسی

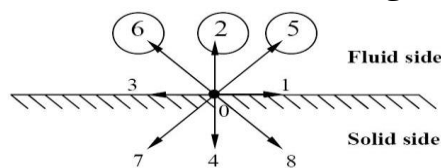
هندسه مورد مطالعه جریان سه بعدی داخل یک اتاق می باشد (شکل ۳) که شرایط مرزی مورد استفاده بر روی دیواره های غربی و شرقی شرط عدم لغزش و همچنین دمای ثابت برای دیواره ها می باشد، همچنین برای چهار دیواره دیگر شرط آدیاباتیک در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. هندسه مورد بررسی

۳-۱- شرط مرزی عدم لغزش روی دیواره ها:

همانطور که اشاره شد شرط مرزی مورد استفاده برای سرعت در دیواره ها شرط عدم لغزش می باشد. اگرچه شرط عدم لغزش در مسائل با ابعاد ماکرو در دینامیک سیالات محاسباتی سنتی به راحتی قابل اعمال است، ولی به دلیل آن که کاربر در روش شبکه بولتزن مستقیماً با متغیرهای هیدرو دینامیکی مانند سرعت و فشار سروکار ندارد (در عوض با تابع توزیع احتمال در هر نقطه روبه روست)، اعمال شرط عدم لغزش پیچیده می شود. در روش شبکه بولتزن برای اعمال شرط عدم لغزش بر روی دیواره های میدان از روشی برگرفته از مدل شبکه گاز به نام کمانه کردن استفاده می شود که در اینجا از آن با نام کمانه کردن روی گره های دیوار یا کمانه کردن استاندارد نام برده می شود. در این روش، مرز جسم دقیقاً روی نقاط شبکه قرار داده می شود، به همین دلیل به این روش، کمانه کردن (گره هم گفته می شود) (شکل ۴). در اینجا حالت دو بعدی نشان داده می شود که برای سه بعد نیز به همین صورت می باشد.



شکل ۴. کمانه کردن روی نقاط مرزی جسم جامد

که مقادیر مجهول به صورت زیر محاسبه می شوند:

$$f_2 = f_4$$

$$f_6 = f_8$$

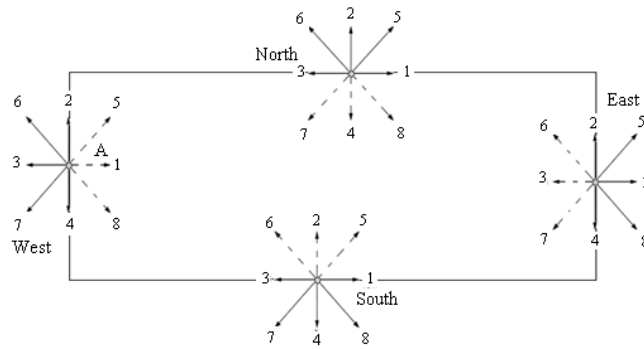
$$f_5 = f_7$$

(۲۲)

۳-۲- شرط مرزی دما ثابت و آدیاباتیک در روش شبکه بولتزن

برای مش بندی هایی که دیواره ها بین دو گره قرار دارد شرایط مرزی آدیاباتیک به صورت زیر اعمال می شود. با توجه به شکل (۵) تابع توزیع دما روی دیواره ی پایین در پایان مرحله جاری شدن در جهات ۵، ۶ و ۲ مجهول می باشد که داریم:

$$g_{5,i,0} = g_{5,i,1} \cdot g_{2,i,0} = g_{2,i,1} \cdot g_{6,i,0} = g_{6,i,1} \quad (23)$$



شکل ۵. مقادیر مجهول (خط چین) توابع توزیع

برای دیواره‌هایی با دمای ثابت از روابط زیر برای تعیین توابع توزیع احتمالی مجهول استفاده می‌شود.
دیوار پایین $j = 0$:

$$\begin{aligned} g_{2,i,0} &= T_{Down} (w(2) + w(4)) - g_{4,i,1} \\ g_{5,i,0} &= T_{Down} (w(5) + w(7)) - g_{7,i,1} \\ g_{6,i,0} &= T_{Down} (w(6) + w(8)) - g_{8,i,1} \end{aligned} \quad (24)$$

که در آن T_{Down} دمای دیواره پایین می‌باشند.

۴- نتایج

۴-۱- اعتبار سنجی

به منظور بررسی درستی حل انجام شده، مقایسه عدد ناسلت متوسط در حالت سه بعدی و دو بعدی با نتایج گذشته در جدول ۱ نشان داده شده است. همانطور که قابل ملاحظه می‌باشد نتایج همخوانی خوبی با نتایج عددی و آزمایشگاهی گذشته دارد.

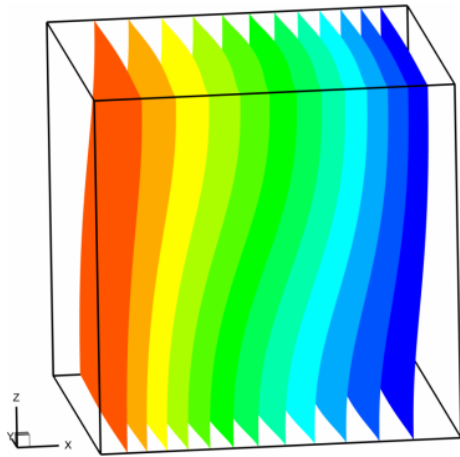
جدول ۱: مقایسه عدد ناسلت میانگین تحقیق حاضر و نتایج گذشته

عدد رایلی	تحقیق حاضر (سه بعدی)	تحقیق حاضر (دو بعدی)	E. Tric et al. [۱۶] (دو بعدی)	G. de Vahl Davis [۱۷] (دو بعدی)	E. Tric et al. [۱۶] (سه بعدی)
۱۰۳	۱/۰۹	۱/۱۰	۱/۱۱	۱/۱۲	۱/۰۷
۱۰۴	۲/۰۸	۲/۲۶	۲/۲۵	۲/۲۴	۲/۰۶
۱۰۵	۴/۳۶	۴/۵۴	۴/۵۲	۴/۵۱	۴/۳۳

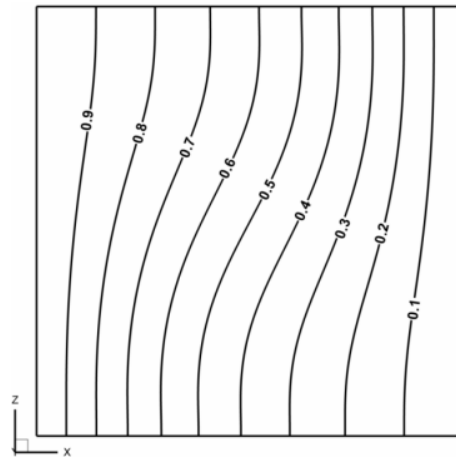
۳-۲ تاثیر عدد رایلی

میدان‌های دما و جریان در جابجایی آزاد داخل حفره بسیار مهم می‌باشند به همین دلیل این میدان‌ها در شکل‌های ۶ تا ۹ به ترتیب برای اعداد رایلی ۱۰۳ و ۱۰۴ نشان داده شده‌اند. شکل ۶-الف صفحات همدم را برای عدد رایلی ۱۰۳ نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد تغییرات دما در جهت Y ناچیز می‌باشد و با توجه به شکل‌های ۶-ج و ۶-د می‌توان گفت که جریان در واقع دو بعدی می‌باشد و مقایسه شکل ۶-ب با نتایج دو بعدی گذشته [۱۶ و ۱۷] نیز تایید کننده این موضوع می‌باشد. شکل‌های ۷-الف تا ۷-ج خطوط جریان در موقعیت‌های مختلف را نشان می‌دهد که تقارن موجود در راستاهای X و Z بخوبی قابل مشاهده می‌باشد. به منظور مشاهده میدان‌های جریان و دما برای عدد رایلی ۱۰۴، همانند شکل‌های ۶ و ۷

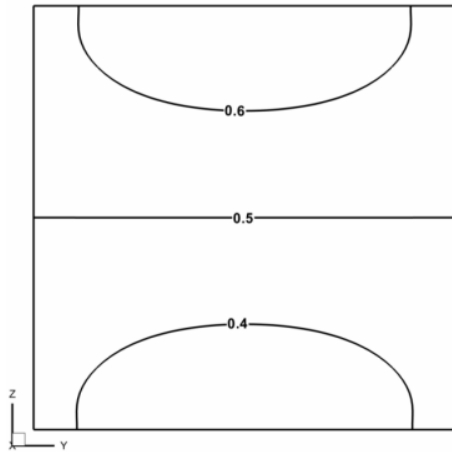
خطوط و صفحات دما و جریان برای عدد رایلی 10^4 در شکل های ۸ و ۹ نشان داده شده است. با توجه به نتایج تقارن موجود در عدد رایلی 10^3 در اینجا نیز قابل مشاهده می باشد.



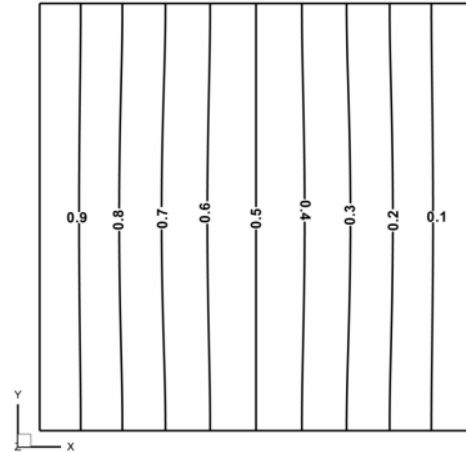
الف) صفحات همدمای



ب) $Y=0.5$

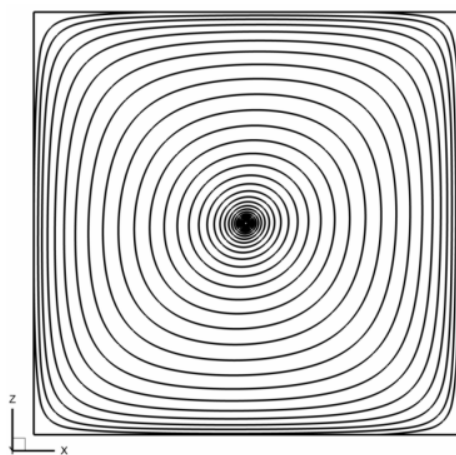


ج) $X=0.5$

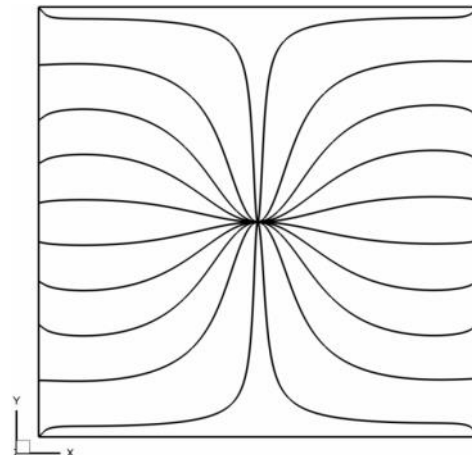


د) $Z=0.5$

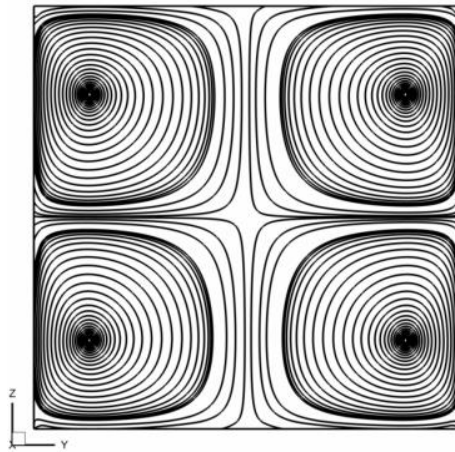
شکل ۶: نتایج میدان دما در موقعیت های مختلف برای عدد رایلی 10^3



الف) $Y=0.5$

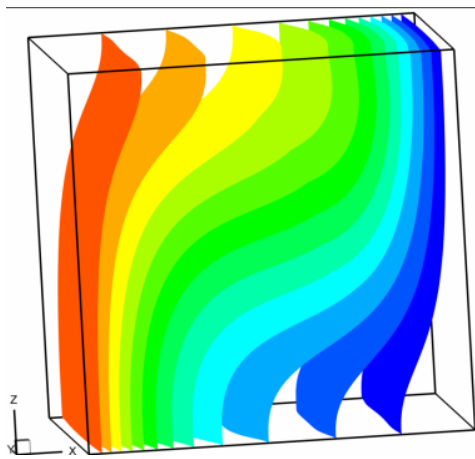


ب) $Z=0.5$

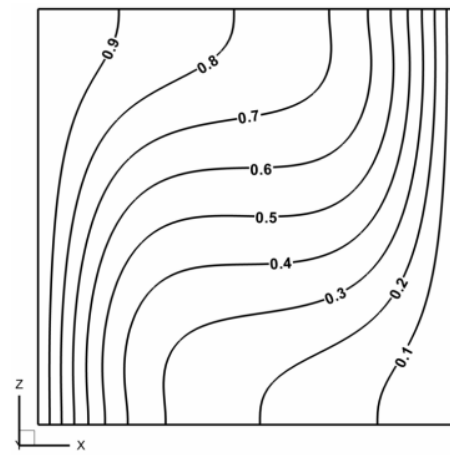


ج) $X=0.5$

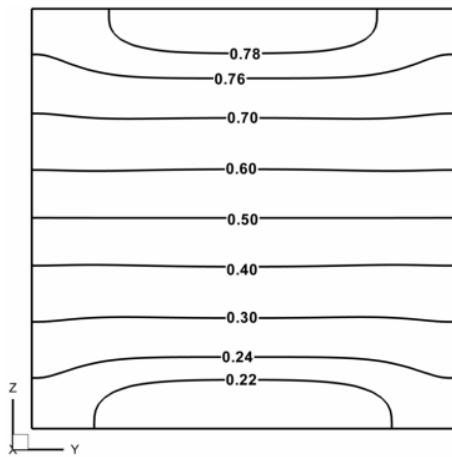
شکل ۷: نتایج میدان جریان در موقعیت‌های مختلف برای عدد رایلی 10^3



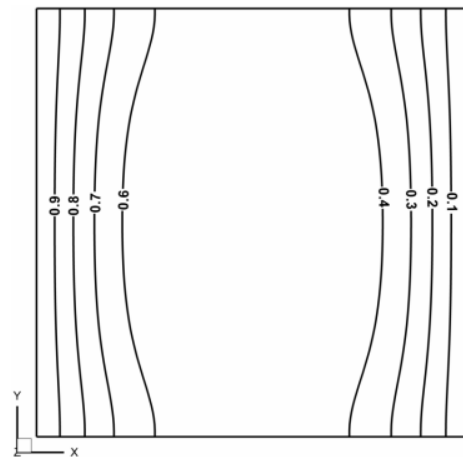
الف) صفحات هم‌دما



ب) $Y=0.5$

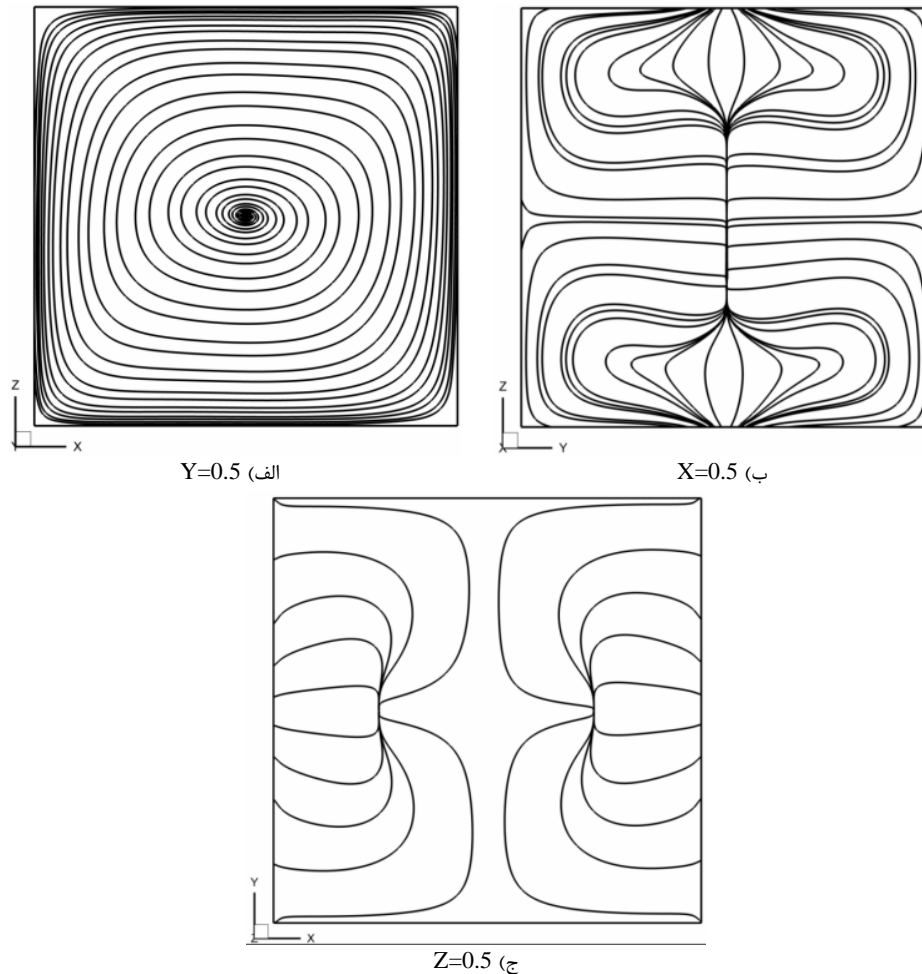


ج) $X=0.5$



د) $Z=0.5$

شکل ۸: نتایج میدان دما در موقعیت‌های مختلف برای عدد رایلی 10^4



شکل ۹: نتایج میدان جریان در موقعیت های مختلف برای عدد رایلی 10^4

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش روش شبکه بولتزمن بر پایه مدل زمان آرامش چندگانه دوتایی برای شبیه سازی جریان جابجایی آزاد سه بعدی داخل حفره مورد استفاده قرار گرفت. نتایج برای عدد پرانتل 0.71 و اعداد رایلی 10^3 ، 10^4 و 10^5 گزارش شد. با توجه به نتایج بدست آمده نشان داده شد که این مدل با دقت بالا و همچنین پایداری بیشتر نسبت به مدل زمان آرامش ثابت، قادر به پیش بینی جریان های داخلی می باشد.

تشکر و قدردانی

از بنیاد ملی نخبگان جهت حمایت مالی از این پژوهش قدردانی می شود.

مراجع

- [1] Rey, F.J., Velasco, E., 2000, Experimental study of indoor air quality, energy saving and analysis of ventilation norms in acclimatised areas, Energy and Buildings, vol. 33, pp. 57-67.
- [2] . Jiang, J.B, Wang, X.L., Sun, Y.Z., Zhang, Y.H., 2009, Experimental and numerical study of airflows in a full-scale room, ASHRAE Transactions, vol. 115, pp. 867-886.

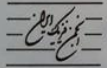
- [3] Chen, Q., 2009, Ventilation performance prediction for buildings: A method overview and recent applications, *Building and Environment*, vol. 44, pp. 848–858.
- [4] Chen, Q., Lee, K., Mazumdar, K., Poussou, S., Wang, L., Wang, M., Zhang, Z., 2010, Ventilation performance prediction for buildings: Model assessment, *Building and Environment*, vol. 45, pp. 295–303.
- [5] Li, Q., Hiroshi, Y., Akashi, M., Lei, B., Meng, Q., Zhao, L., 2009, CFD study of the thermal environment in an air-conditioned train station building, *Building and Environment*, vol. 44, pp. 1452–1465.
- [6] Abdilghanie, A.M., Collins, L.R., David, A., Caughey, D.A., 2009, Comparison of turbulence modelling strategies for Indoor flows, *Journal of Fluids Engineering*, vol. 131, pp. 051402-1–18.
- [7] Yan, W., Zhang, Y., Sun, Y., Li, D., 2009, Experimental and CFD study of unsteady airborne pollutant transport within an aircraft cabin mock-up, *Building and Environment*, vol. 44, pp. 34–43.
- [8] Trias, F. X., Soria, M., Oliva, A., Perez-Segarra, C. D., 2007, Direct Numerical Simulations of Two- and Three-Dimensional Turbulent Natural Convection Flows in a Differentially Heated Cavity of Aspect Ratio 4, *Journal of Fluid Mechanics*, vol. 586, pp. 259–293.
- [9] Aidun, C. K., Clausen, J. R., 2010, Lattice-Boltzmann Method for Complex Flows, *Annual Review of Fluid Mechanics*, vol. 42, pp. 439–72.
- [10] Reasor Jr, D. A., Clausen, J. R., Aidun, C. K., 2012, Coupling the lattice-Boltzmann and spectrin-link methods for the direct numerical simulation of cellular blood flow, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 68, pp. 767-781.
- [11] Liu, H., Zou, C., Shi, B., Tian, Z., Zhang, L., Zheng, C., 2006, Thermal lattice-BGK model based on large-eddy simulation of turbulent natural convection due to internal heat generation, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 49, pp. 4672–4680.
- [12] Mohamad, A.A., Kuzmin, A., 2010, A critical evaluation of force term in Lattice Boltzmann Method, natural convection problem, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 53, pp. 990–996.
- [13] Sajjadi, H., Gorji, M., Kefayati, G. H. R., Ganji, D. D., 2012, Lattice Boltzmann Simulation of Turbulent Natural Convection in Tall Enclosures Using Cu/Water Nanofluid, *Numerical Heat Transfer Part A*, vol. 62, pp. 512–530.
- [14] Sajjadi, H., Salmanzadeh, M., Ahmadi, G., Jafari, S., 2016, LES and RANS Model Based on LBM for Simulation of Indoor Airflow and Particle Dispersion and Deposition, *Building and Environment*, vol. 102, pp. 1-12.
- [15] Sajjadi, H., Salmanzadeh, M., Ahmadi, G., Jafari, S., 2017, Combination of Lattice Boltzmann Method and RANS Approach for Simulation of Turbulent Flows and Particle Transport and Deposition, *Particuology*, vol. 30, pp. 62-72.
- [16] Tric, E., Labrosse, G., Betrouni, M., 2000, A first incursion into the 3D structure of natural convection of air in a differentially heated cubic cavity, from accurate numerical solutions, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 43, pp. 4043-4056.
- [17] De Vahl Davis, G., 1983, Natural convection of air in a square cavity: A benchmark numerical solution”, *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, vol. 3, pp. 249-264.

17 Seventeenth
Fluid Dynamics Conference
Shahrood University of Technology - Mechanical Engineering Department
August 27 - 29, 2017



هفدهمین کنفرانس
دینامیک شاره‌ها
دانشگاه صنعتی شاهرود - دانشکده مهندسی مکانیک
۵ الی ۷ شهریور ۱۳۹۶

برگزار کنندگان



«کواهی ارائه مقاله»

بدینوسیله کواهی می‌شود؛ سرکار خانم اجتاب آقای
حسن سجادی و حمید نیازمند

در هفدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها که از تاریخ ۵ تا ۷ شهریور ماه ۱۳۹۶ در
دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید، حضور داشته و مقاله خود را با عنوان

شبیه‌سازی جریان جابجایی طبیعی سه‌بعدی با روش شبکه بولتزمن بر پایه مدل زمان آرامش چندگانه دوتایی

ارائه نموده‌اند.

دکتر محمد حسن کیهانی
دبیر علمی کنفرانس