

به نام خدا

مدلسازی جابجایی طبیعی نانوسیال  
به روش شبکه بولتزمن

## فهرست مطالب

۱- چکیده .....	۲
۲- راهنمای کاربری .....	۴
نمونه اجرا .....	۷
نتایج نمونه اجرا شده و مقایسه با مقالات معتبر .....	۱۳
۳- متن اصلی برنامه Main .....	Error! Bookmark not defined.
۴- سابروتین Pre_Solution .....	Error! Bookmark not defined.
۵- سابروتین Fluid_Flow .....	Error! Bookmark not defined.
۶- سابروتین Temperature_Distribution .....	Error! Bookmark not defined.
۷- سابروتین Residual .....	Error! Bookmark not defined.
۸- سابروتین Output .....	Error! Bookmark not defined.
۹- سابروتین After_Solution .....	Error! Bookmark not defined.
۱۰- منابع و مراجع .....	Error! Bookmark not defined.

## ۱- چکیده

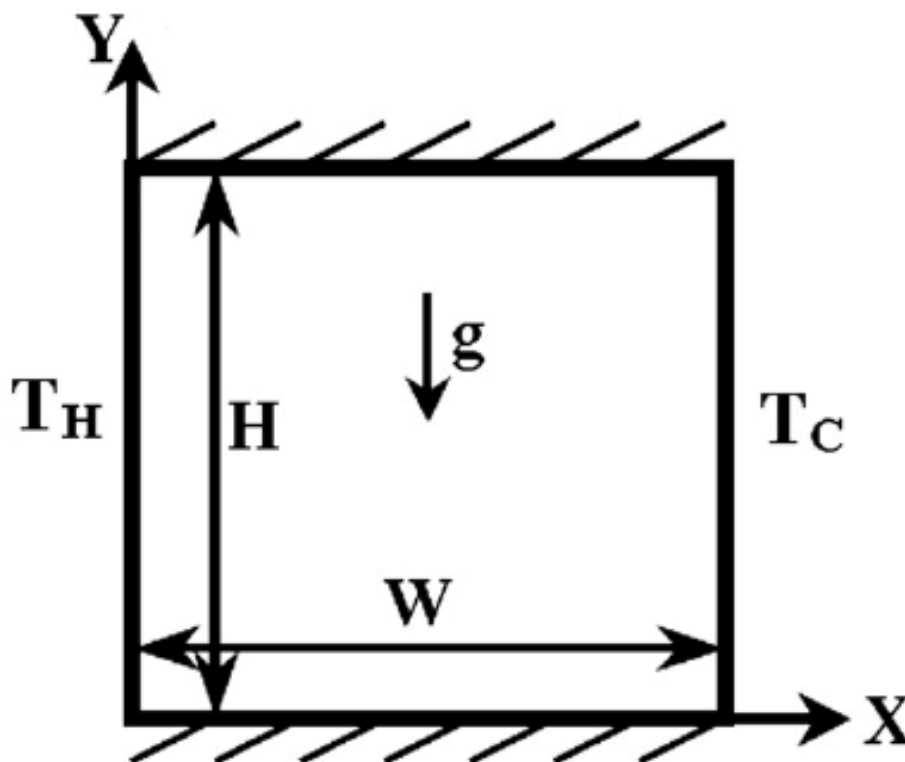
در این برنامه برای مدلسازی جابجایی طبیعی در محفظه‌ای مستطیلی از روش شبکه بولتزمن با مدل سرعتی D2Q9 برای توزیع دما و جریان سیال استفاده شده است. جهت مدلسازی رفتار نانوسیال از متداول‌ترین رابطه‌های تک-فازی نانوسیال و در هر چهار دیواره محفظه از شرط مرزی بازگشت به عقب استفاده شده است. گفتنی است که تمامی پارامترهای ورودی و خروجی برنامه بی‌بعد هستند.

**کلمات کلیدی:** جابجایی طبیعی، نانوسیال، روش شبکه بولتزمن

## ۲- راهنمای کاربری

لازمه اجرای برنامه آشنایی با نحوه وارد کردن اطلاعات ورودی به برنامه است لذا در این بخش به طور خلاصه به این موارد اشاره خواهد شد. گفتنی است که این قسمت مخصوص کاربرانی است که فقط می‌خواهند نرم‌افزار را اجرا نموده و استفاده نمایند. لذا هیچ اشاره‌ای به محتوای برنامه اعم از سابروتین‌ها و روش حل نشده است.

هندسه مورد بررسی کد حاضر در شکل ۱-۲ نشان داده شده است. دیواره عمودی سمت چپ با دمای  $T_H$  و دیواره سمت راست دارای دمای  $T_C$  بوده و دیواره‌های افقی عایق هستند. فرض بر این است که نانوسیال نیوتنی و جریان سیال آرام و تراکم‌ناپذیر باشد. همچنین فرض بر این است که دو فاز جامد و مایع در تعادل حرارتی باشند و نانوذرات سرعتی برابر با جریان داشته باشند.



شکل ۱-۲: هندسه مورد بررسی کد حاضر

برنامه حاضر به نحوی تهیه شده است که برای اجرای آن و وارد کردن ورودی‌های به ورود به متن اصلی برنامه نیست و تمام ورودی‌ها در دو فایل Input\_Parameters و Input\_NanoParticle\_Property

با فرمت Input وارد می‌شوند. در ابتدای این بخش مقادیر فیزیکی ورودی فایل‌های مذکور معرفی می‌شوند. این مقادیر در جدول ۱-۲ و جدول ۲-۲ تعریف شده است.

جدول ۱-۲: تعریف متغیرهای فیزیکی ورودی فایل Input\_Parameters.input

متغیر داخل فایل	تعریف متغیر
Prandtl Number (Pr)	عدد پراتل
Rayleigh Number (Ra)	عدد رایلی
Temperature Of Hot Boundary ( $T_h$ )	دمای دیوار گرم (برای بی‌بعد بودن باید برابر یک باشد)
Temperature Of Cold Boundary ( $T_c$ )	دمای دیوار سرد (برای بی‌بعد بودن باید برابر صفر باشد)
Initial Temperature ( $T_0$ )	دمای اولیه نانوسیال (برای بی‌بعد بودن باید نسبتی از دمای دیواره گرم باشد)
Nano Particle Concentration ( $\phi$ )	غلظت نانوسیال
Relaxation Time Of Temperatuer ( $\tau_T$ )	زمان آرامش دما (این پارامتر بهتر است تا حد امکان به یک نزدیک باشد به این صورت که در پرانتل‌های بالاتر از یک کمی کمتر و برای پرانتل‌های کوچکتر از یک کمی بزرگتر از یک باشد.)

جدول ۲-۲: تعریف ورودی‌های فایل Input\_NanoParticle\_Property.input

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر
Density Of Particles To Base Fluid Ratio ( $\rho_{np} / \rho_{bf}$ )	نسبت چگالی نانوذرات به چگالی سیال پایه
Thermal Conductivity Of Particles To Base Fluid Ratio ( $k_{np} / k_{bf}$ )	نسبت ضریب رسانش نانوذرات به ضریب رسانش سیال پایه
Specific Heat Of Particles To Base Fluid Ratio ( $Cp_{np} / Cp_{bf}$ )	نسبت ظرفیت حرارتی نانوذرات به ظرفیت حرارتی سیال پایه
Thermal Expansion Coefficient Of Particles To Base Fluid Ratio ( $\beta_{np} / \beta_{bf}$ )	نسبت ضریب انبساط حرارتی نانوذرات به ضریب انبساط حرارتی سیال پایه

برای واضح تر شدن متغیرهای ورودی فایل Input\_NanoParticle\_Property.input در جدول ۳-۲ خواص نانوسیال water/SiO2 آورده شده و در جدول ۳-۲ ورودی‌های این فایل آورده شده است.

جدول ۳-۲: خواص برای نانوسیال water/SiO2

خاصیت	سیال پایه (آب)	نانوذره (water/SiO2)
$\rho (\text{kg/m}^2)$	۹۹۷/۱	۳۹۷۰
$k (\text{W/mK})$	۰/۶	۳۶
$Cp (\text{J/kgK})$	۴۱۷۹	۷۶۵
$\beta \times 10^5 (\text{K}^{-1})$	۲۱	۰/۶۳

جدول ۴-۲: ورودی‌های فایل Input\_NanoParticle\_Property.input برای نانوسیال water/SiO2

مقدار ورودی	متغیر
۳/۹۸	Density Of Particles To Base Fluid Ratio ( $\rho_{np} / \rho_{bf}$ )
۶۰	Thermal Conductivity Of Particles To Base Fluid Ratio ( $k_{np} / k_{bf}$ )
۰/۱۸	Specific Heat Of Particles To Base Fluid Ratio ( $Cp_{np} / Cp_{bf}$ )
۰/۰۳	Thermal Expansion Coefficient Of Particles To Base Fluid Ratio ( $\beta_{np} / \beta_{bf}$ )

پارامترهای هندسی که شامل تعداد شبکه در راستای افقی  $n$  و تعداد شبکه در راستای عمودی  $m$  هستند، در حین اجرای برنامه در کاربر خواسته می‌شوند. نکته قابل توجه این است که این مقادیر هرچه بیشتر باشند دقت پاسخ‌های مسئله بیشتر می‌شود ولی به همان میزان زمان همگرایی و هزینه محاسباتی افزایش می‌یابد. در ضمن نسبت طول به عرض محفظه باید در وارد کردن پارامترهای  $n$  و  $m$  لحاظ شود.

گفتنی است که در حقیقت پارامترهای بیشتری مثل معیار همگرایی و ... هستند که می‌توانند بر پاسخ‌ها اثر بگذارند ولی با توجه به اینکه وارد کردن آنها نیاز به تجربه کافی در روش شبکه بولتزمن دارد، برای اجتناب از پیچیدگی کار با کد مناسب‌ترین آنها در داخل کد ثابت شده و در خود برنامه توضیح داده خواهد شد.

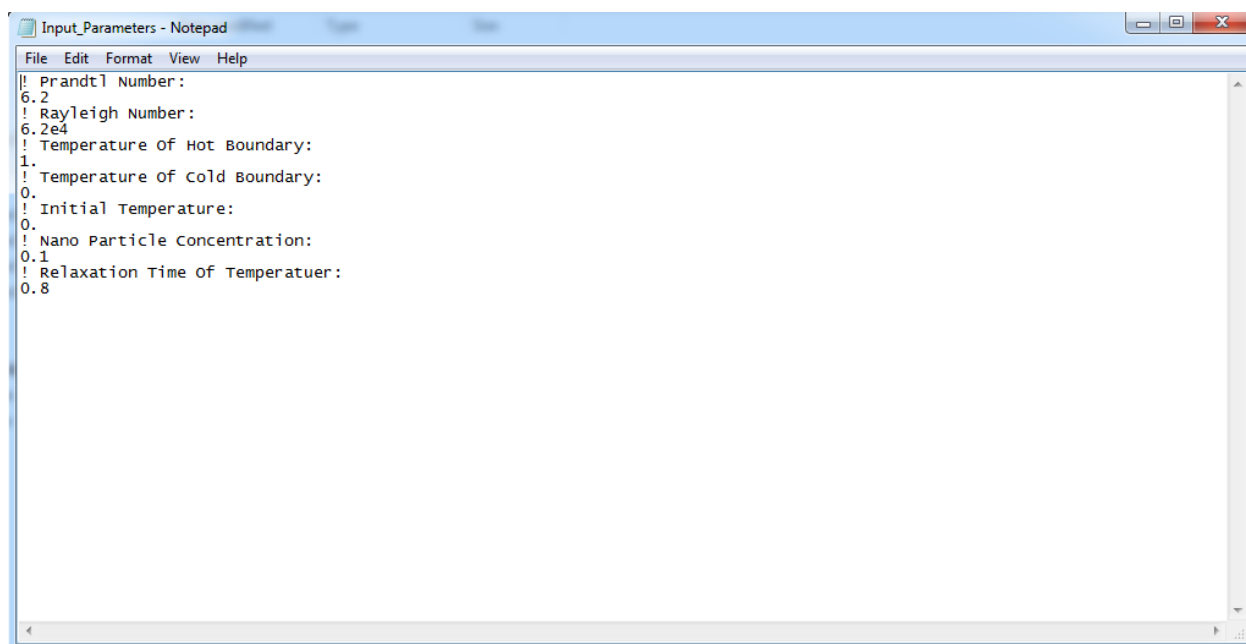
توضیحات فوق برای اجرای برنامه کافی است. پس از اجرا و همگرایی برنامه چندین فایل خروجی تشکیل می‌گردد. این فایل‌ها شامل کانتورهای دما، فشار، سرعت‌ها و خطوط جریان و همینطور نمودار سرعت و دما خطوط مرکزی محفظه هستند که در نمونه اجرا نمایش داده خواهد شد.

### نمونه اجرا

در این بخش به منظور تمرین عملی موارد بالا به یک مثال اشاره کرده و جهت اعتبارسنجی با مقالات معتبر مقایسه خواهیم نمود.

گام اول:

باید فایل Input\_Parameters.input را با نرم افزار Notepad باز کرده و پارامترهای فیزیکی را وارد نمود.



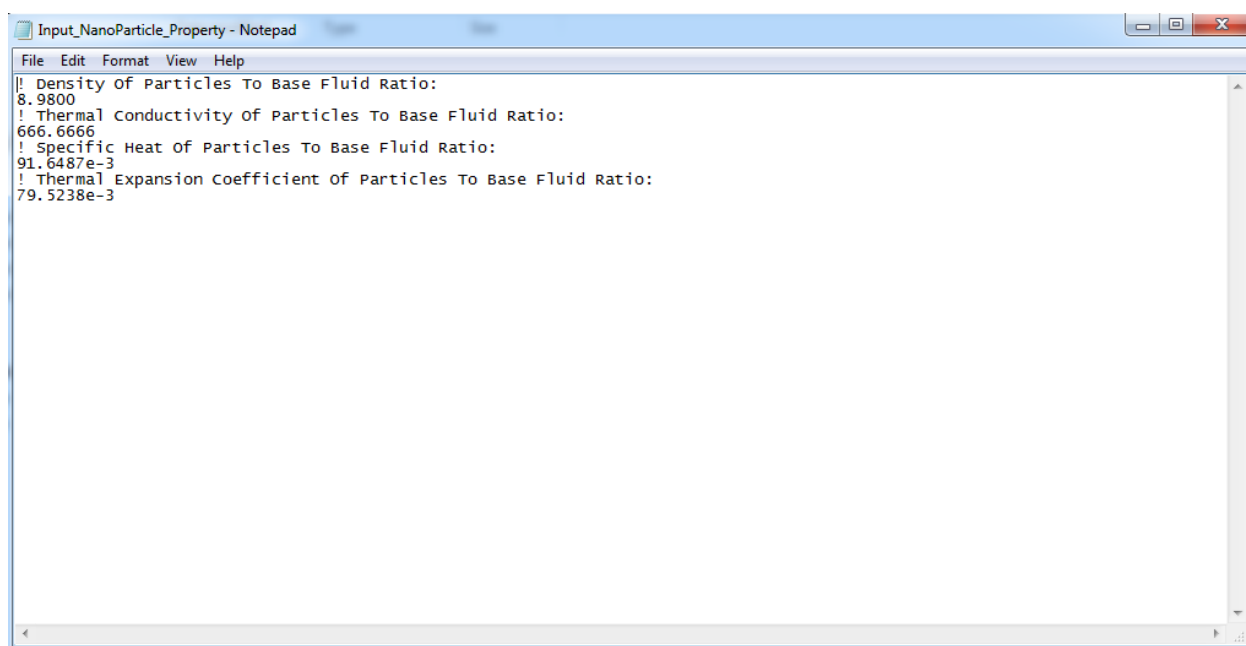
شکل ۲-۲: وارد کردن پارامترهای فیزیکی

در اینجا برای امکان اعتبارسنجی پرانتل 6.2 و رایلی  $6.2 \times 10^4$  و غلظت نانوذرات را 0.1 قرار داده شده است.

گام دوم:

در قدم بعدی باید خواص نانوسیال را مطابق دستورالعملی که در بخش قبلی گفته شد، در فایل Input\_NanoParticle\_Property.input وارد نمود.



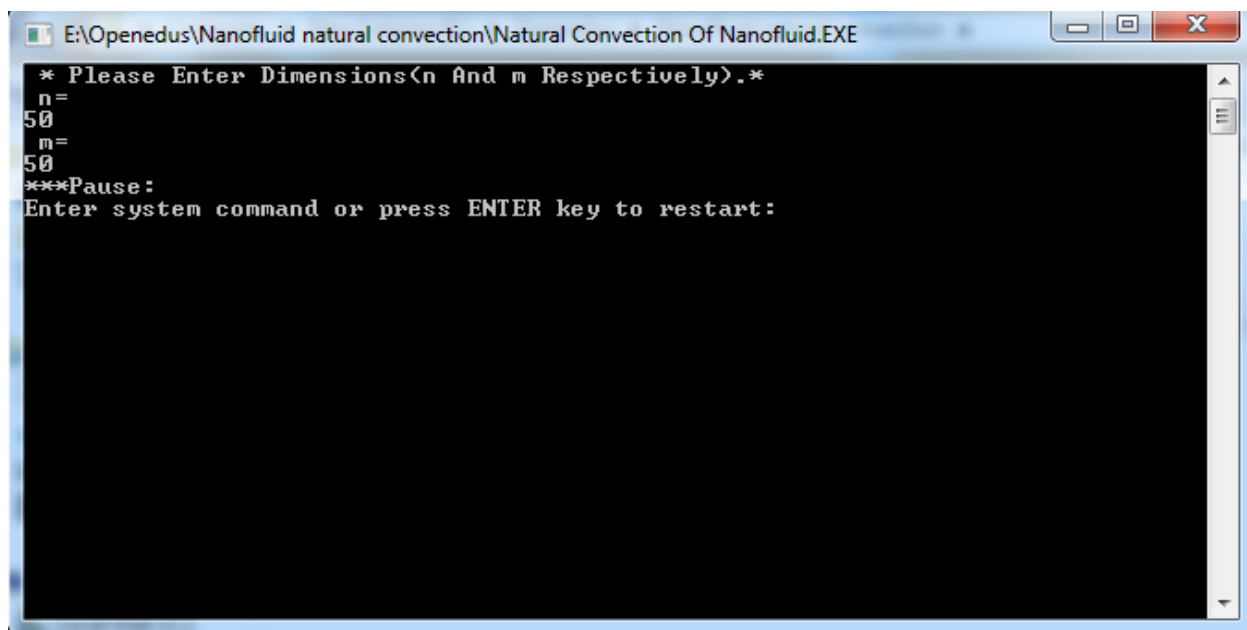


شکل ۲-۳: وارد کردن خواص نانوسیال

در اینجا خواص نانوسیال Cu/Water وارد شده است.

گام سوم:

در مرحله آخر روی فایل Natural Convection Of Nanofluid.EXE راست کلیک کرده و گزینه Run as administrator را انتخاب می‌نماییم. سپس نرم‌افزار اجرا شده و تعداد شبکه را می‌خواهد، پس از وارد کردن به ترتیب هر کدام از مقادیر  $n$  و  $m$ ، کلید Enter را فشار می‌دهیم.



```
* Please Enter Dimensions<n And m Respectively>.*
n=
50
m=
50
***Pause:
Enter system command or press ENTER key to restart:
```

شکل ۲-۴: وارد کردن ابعاد شبکه

در اینجا ابعاد  $50 \times 50$  انتخاب شده است.

گام چهارم:

در این مرحله پس از فشار دوباره کلید Enter، فرایند اجرای برنامه شروع شده و گزارشاتی شامل از روند حل نمایش داده می شود که توضیحات آن در جدول ۲-۵ آورده شده است.

جدول ۲-۵: توضیح گزارشات حین اجرای برنامه

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر
Step	شمارنده گام زمانی است
Nu on Hot Wall	عدد ناسلت روی دیواره گرم است
Residual Of Th	معیار همگرایی توزیع دما است و کوچک شدن آن نشانه پیشروی به سمت همگرایی است.
Residual Of Flow	معیار همگرایی جریان است و کوچک شدن آن نشانه پیشروی به سمت همگرایی است.

نمایش گزارشات اجرای برنامه در شکل زیر نشان داده شده است.

```

Step==      6      Nu On Hot Wall==      6.94339
Residual of Th== 3.646911E-04      Residual of Flow== 4.827527E-04
*****
Step==      7      Nu On Hot Wall==      6.28338
Residual of Th== 1.235576E-04      Residual of Flow== 7.049123E-04
*****
Step==      8      Nu On Hot Wall==      6.82670
Residual of Th== 1.239280E-04      Residual of Flow== 2.880252E-04
*****
Step==      9      Nu On Hot Wall==      6.92008
Residual of Th== 9.179368E-05      Residual of Flow== 4.282144E-04
*****
Step==     10      Nu On Hot Wall==      6.32949
Residual of Th== 6.661003E-05      Residual of Flow== 2.999598E-04
*****
Step==     11      Nu On Hot Wall==      6.18478
Residual of Th== 6.249132E-05      Residual of Flow== 1.851446E-04
*****
Step==     12      Nu On Hot Wall==      6.44726
Residual of Th== 5.008376E-05      Residual of Flow== 2.021156E-04
*****
Step==     13      Nu On Hot Wall==      6.18886
Residual of Th== 4.860565E-05      Residual of Flow== 1.101692E-04
*****

```

شکل ۲-۵: نمایش گزارشات حین اجرای برنامه

گام پنجم:

پس از ارضا شدن شرایط همگرایی، پنجره اجرا خود به خود بسته شده و یا در صورت اجرا برنامه در نرم افزار Fortran گزارشی به صورت زیر به نمایش در خواهد آمد:

Solution Has Finished!

Thanks For Using This Code.

اجرا برنامه توسط یک رایانه (Laptop) با پردازشگر Intel(R) Core(TM) i5-2430M CPU @ 2.40GHz انجام شده و در حدود ۶۵ ثانیه به طول انجامید.

گام ششم:

در نهایت فایل های نتایج آماده خواهد شد که در جدول ۶-۲ توضیحات آنها بیان شده است:

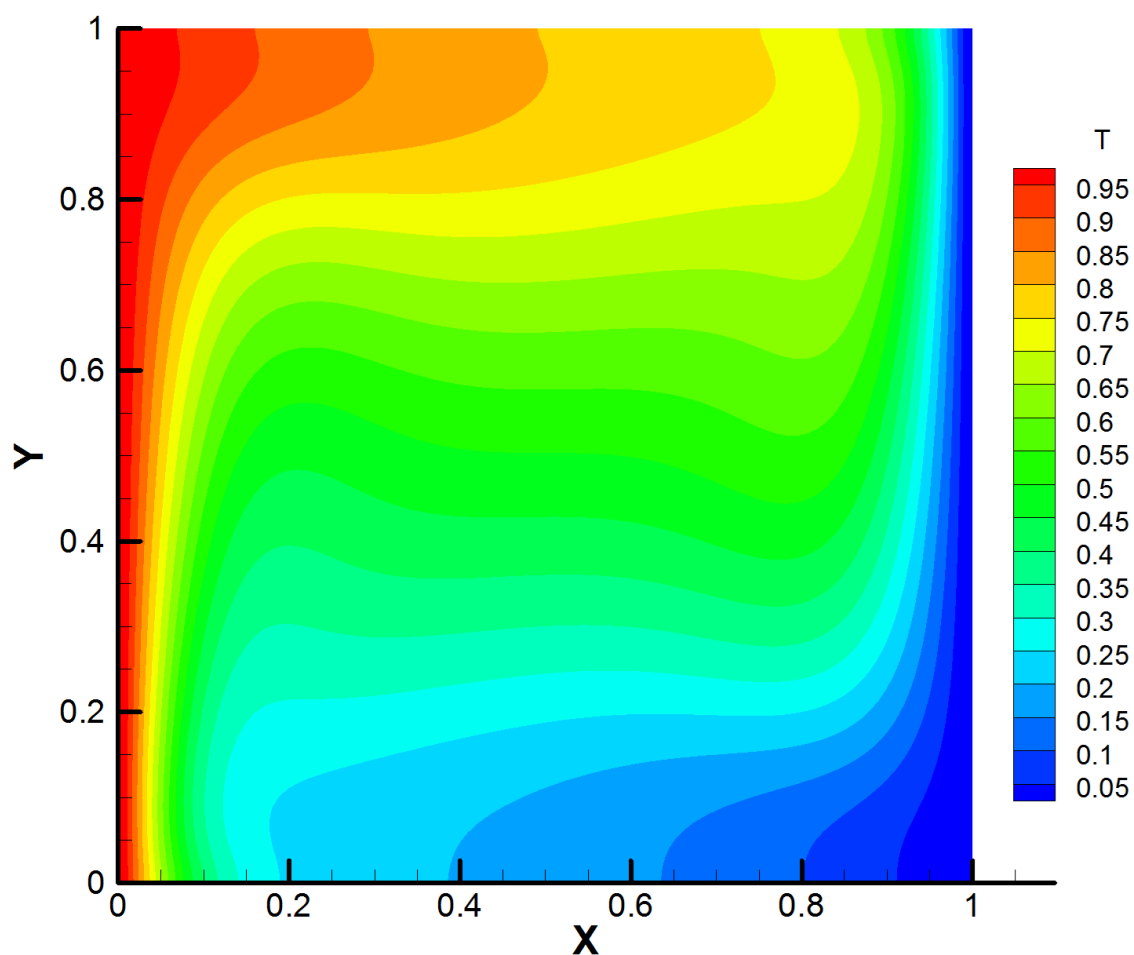
جدول ۶-۲: توضیح فایل های خروجی برنامه

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر
Result.dat	این فایل شامل کانتورهای سرعت عمودی، سرعت افقی، فشار، دما و خطوط جریان است.
TEMPERATURE_MidLine.dat	این فایل دما را در امتداد خط مرکزی افقی نمایش می دهد.
U_Velocity_MidLine.dat	این فایل سرعت عمودی را در امتداد خط مرکزی افقی نمایش می دهد.
V_Velocity_Vertical_MidLine.dat	این فایل سرعت افقی را در امتداد خط مرکزی عمودی نمایش می دهد.
Nu.dat	این فایل عدد ناسلت نهایی روی دیواره گرم را نمایش می دهد.

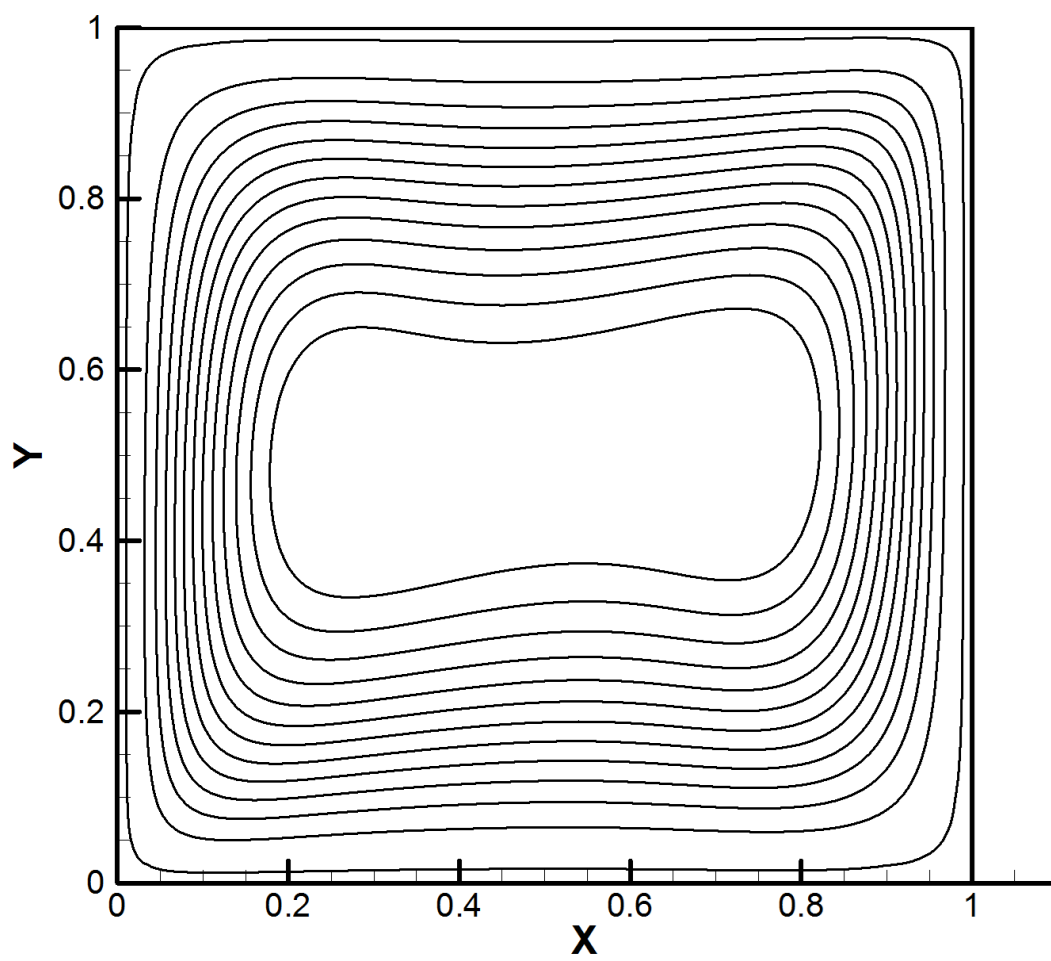
در انتها کانتورها و نمودارهای نمونه اجرا شده نشان داده شده و نمودارهای سرعت و دما با مقاله‌ای معتبر مقایسه شده است.

### نتایج نمونه اجرا شده و مقایسه با مقالات معتبر

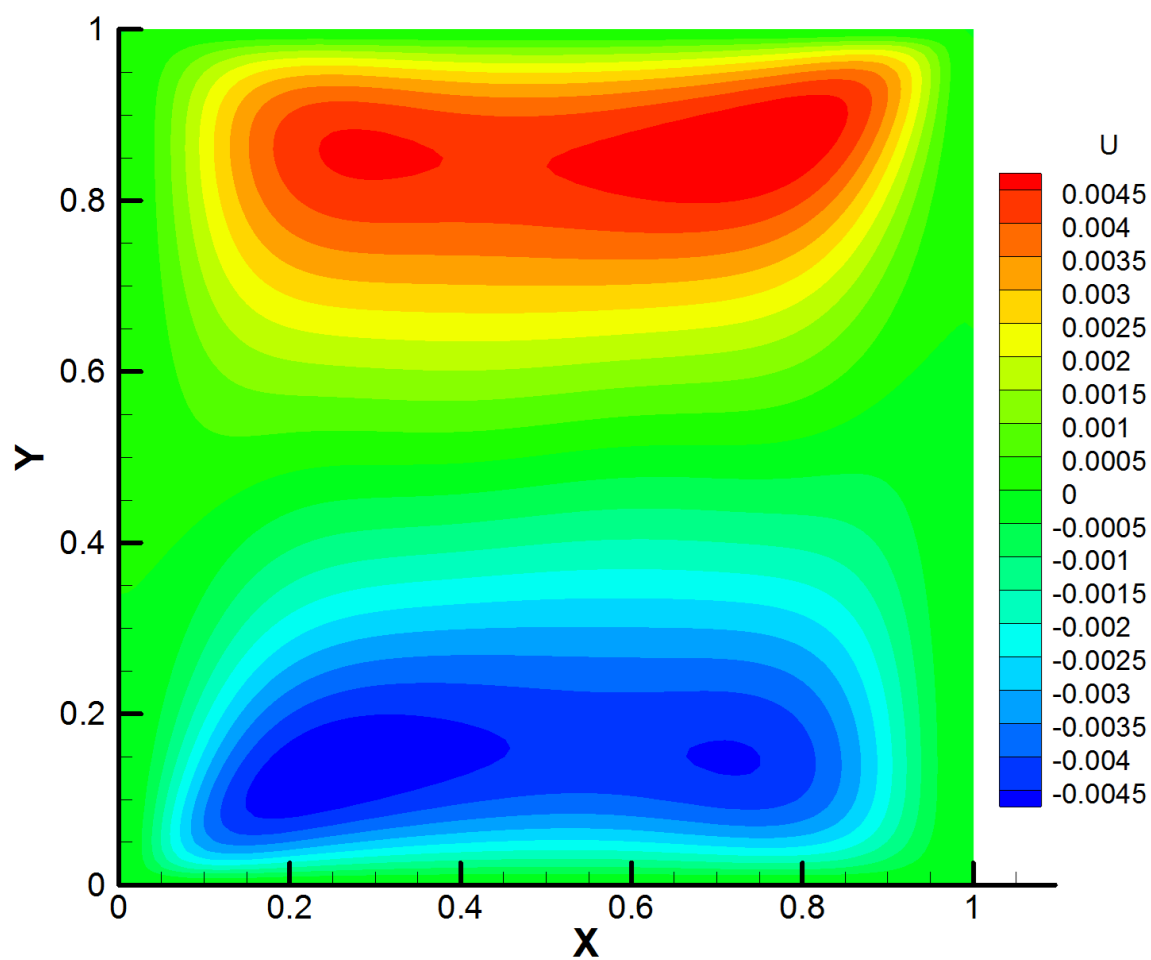
در این قسمت کانتورها و نمودارهای نمونه اجرا شده نشان داده شده و نمودارهای سرعت و دما با مقاله‌ای معتبر مقایسه شده است.



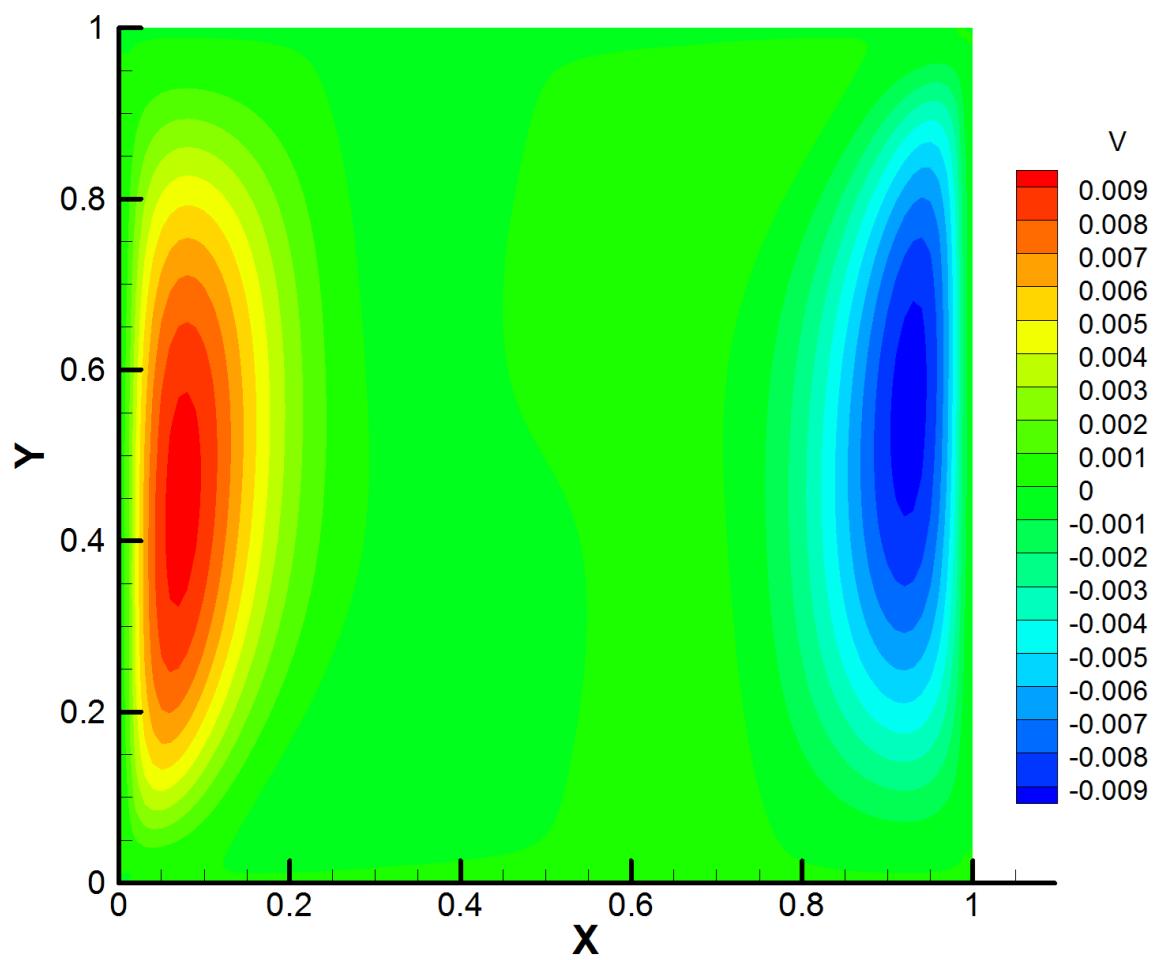
شکل ۲-۶: کانتور دما نمونه اجرا شده ( $Ra = 6.2 \times 10^6, Pr = 6.2, \phi = 10\%$ )



شکل ۲-۷: خطوط جریان نمونه اجرا شده ( $Ra = 6.2 \times 10^6, Pr = 6.2, \varphi = 10\%$ )

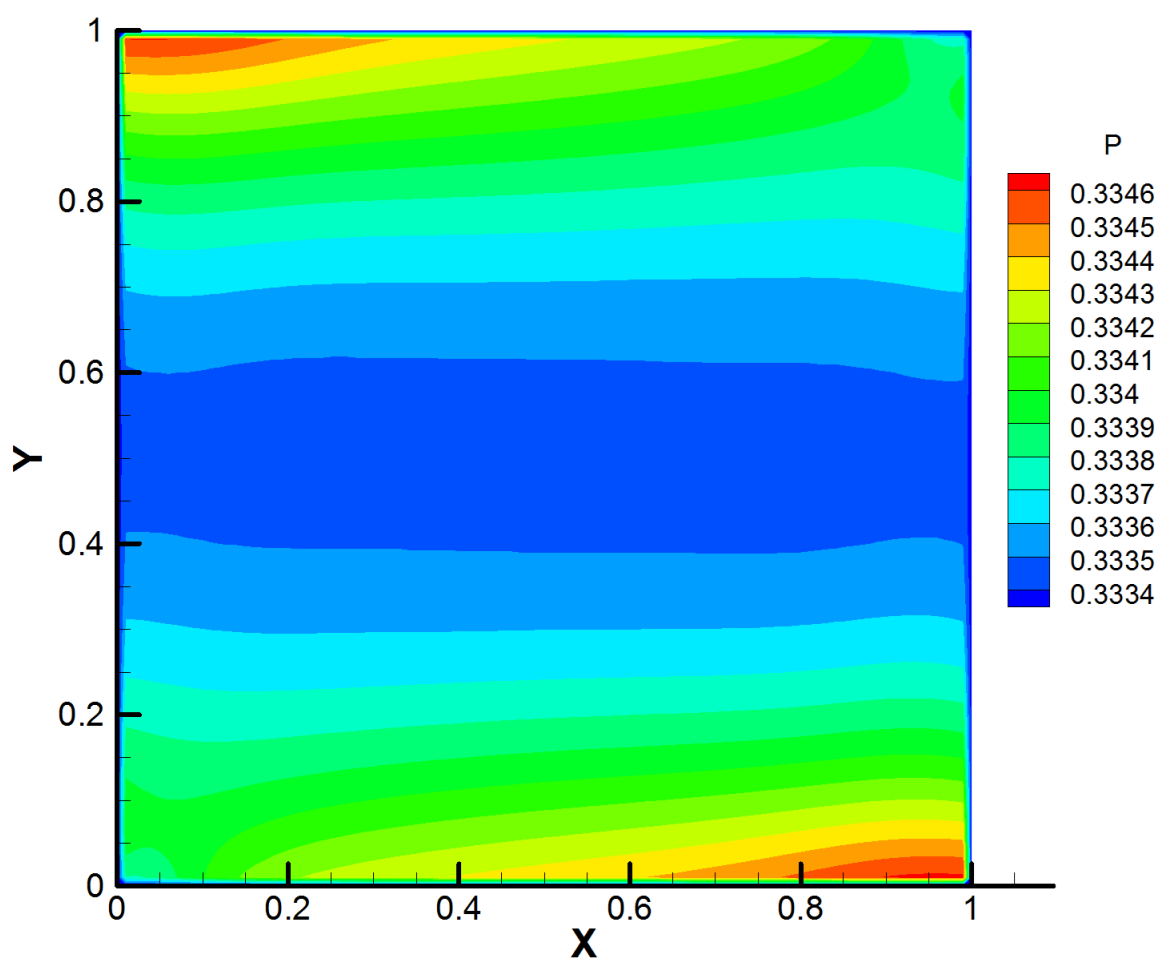


شکل ۲-۸: کانتور سرعت افقی نمونه اجرا شده ( $Ra = 6.2 \times 10^6, Pr = 6.2, \phi = 10\%$ )



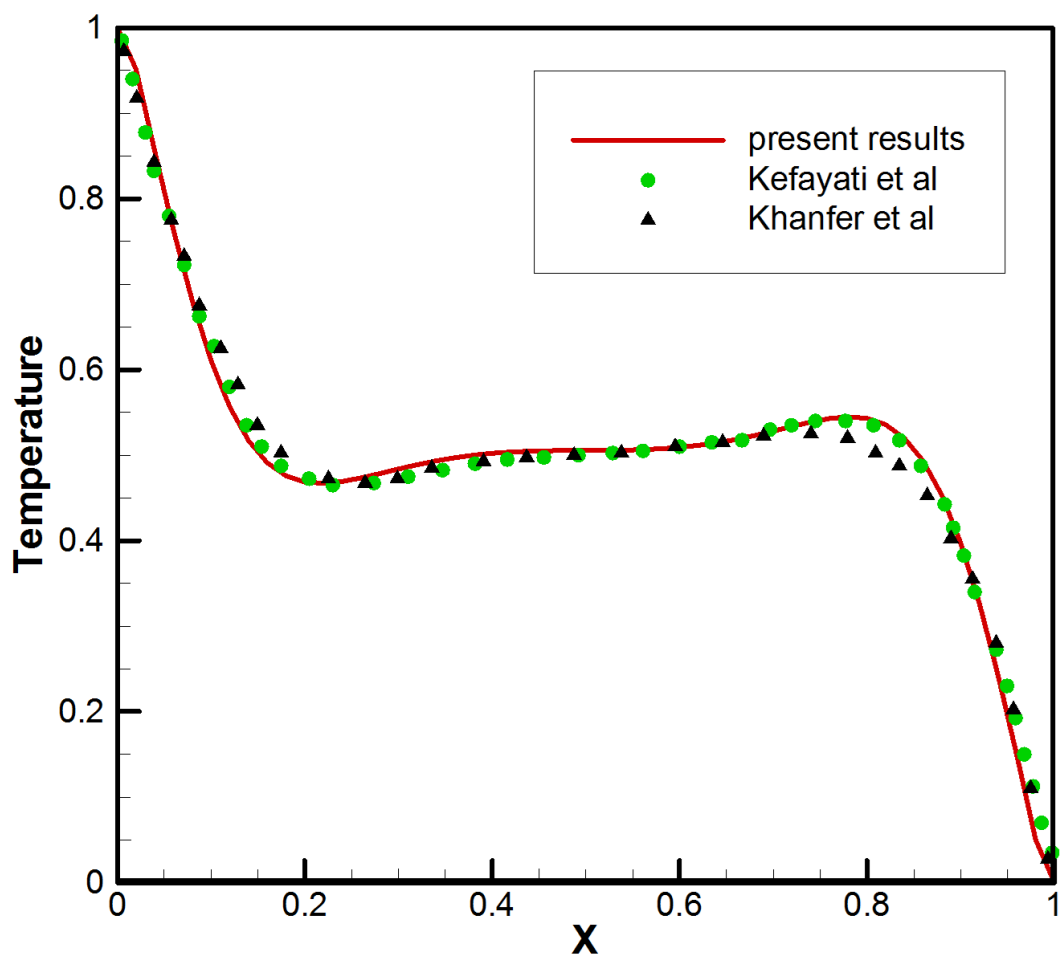
شکل ۲-۹: کانتور سرعت قائم نمونه اجرا شده ( $Ra = 6.2 \times 10^6, Pr = 6.2, \varphi = 10\%$ )



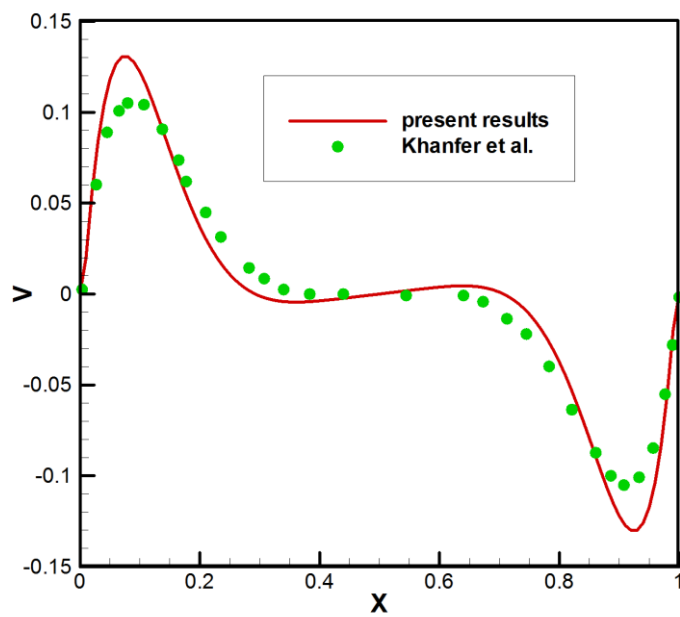
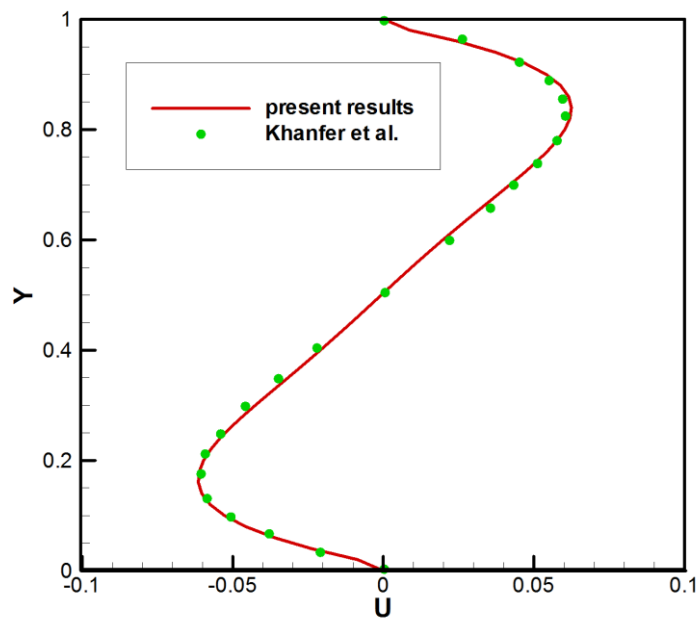


شکل ۲-۱۰: کانتور فشار نمونه اجرا شده ( $Ra = 6.2 \times 10^6, Pr = 6.2, \phi = 10\%$ )

در شکل‌های ۲-۱۰ و ۲-۱۱ نمودارهای دما و سرعت عمودی در امتداد خط مرکزی افقی و همچنین نمودار سرعت افقی در امتداد خط مرکزی عمودی با مقاله معروف خنافر و همکاران مقایسه شده است.



شکل ۲-۱۰: مقایسه نمودار دما در امتداد خط مرکزی افقی با مقاله خانفر و همکاران  
 $(Ra = 6.2 \times 10^6, Pr = 6.2, \phi = 10\%)$



شکل ۱۱-۲: مقایسه نمودار پروفیل سرعت در امتداد محورهای مرکزی  
 $(Ra = 6.2 \times 10^6, Pr = 6.2, \phi = 10\%)$

نکته‌ی مهم شکل ۱۱-۲ این است که به علت متفاوت بودن روابط مدل‌سازی نانوسیال بکار رفته در کد حاضر و مقاله خنفر و همکاران، در مورد سرعت عمودی کمی اختلاف با مقاله مذکور مشاهده می‌شود.

ادامه مستندات در ورژن رایگان حذف شده است.