

به نام خدا

آموزش شبیه سازی انجماد در نرم افزار فلوئنت

Modeling solidification in fluent

عرفان برزگر

کارشناس ارشد مهندسی مکانیک-دانشگاه صنعتی شریف

DO NOT COPY (www.novin-eng.ir)

فهرست

۱	.....	مقدمه
۱	.....	پیش نیازها
۱	.....	تعریف مسئله
۲	.....	تنظیمات و راه حل
۲	.....	آماده سازی
۲	.....	گام ۱ : Grid
۳	.....	گام ۲: Models
۵	.....	گام ۳ : Materials
۷	.....	گام ۴ : Boundary Conditions
۱۳	.....	گام ۵: Steady Condition
۱۹	.....	گام ۶ : حل ناپایا جریان و انتقال حرارت
۲۶	.....	خلاصه:

DO NOT COPY (www.novin-eng.ir)

مقدمه

در این بخش نحوه تنظیم و حل یک مسئله شامل انجماد شرح داده می‌شود. این آموزش طریقه انجام موارد زیر را

بیان می‌کند:

- تعریف یک مسئله انجماد
- بدست آوردن سرعت خروج برای شبیه سازی ریخته‌گری پیوسته
- بدست آوردن گردایان تنش سطحی برای جابجایی مارانگونی^۱
- حل مسئله انجماد

پیش‌نیازها

در این آموزش فرض می‌شود که خواننده با سازوکار فلوئنت آشنایی دارد و اینکه آموزش ۱ را کامل کرده باشد. برخی از گام‌ها در اعمال تنظیمات و روند حل کردن به طور مبسوط شرح داده نمی‌شود.

تعریف مسئله

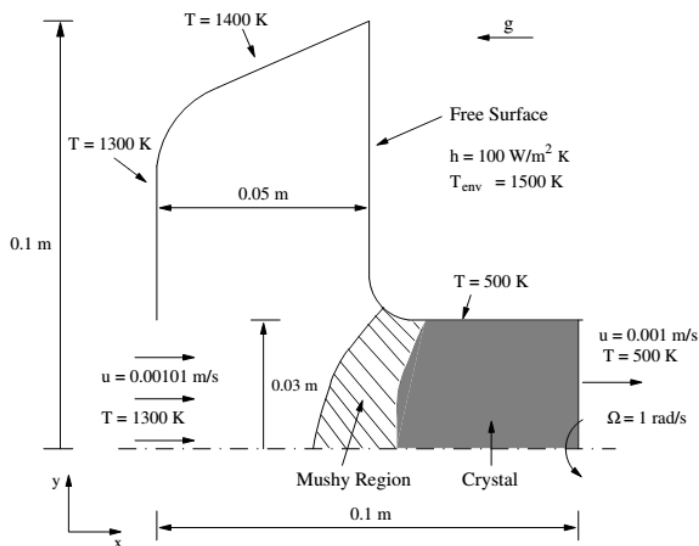
تنظیمات و رویه حل برای جریان سیال و مسئله انتقال حرارت شامل انجماد که به اصطلاح پروسه رشد چکرالسکی^۲ نامیده می‌شود، در این آموزش را بیان می‌گردد. شکل مدنظر قرار گرفته یک ظرف متقارن محوری دو بعدی شامل فلز مذاب است (که در شکل ۱ نشان داده شده است). زیر، کناره‌های ظرف و سطح آزاد مذاب در دمای بالاتر از دمای لیکویدوس حرارت می‌بیند. مذاب با از دست دادن حرارت از کریستال منجمد می‌شود و جامد با نرخ 0.001m/s و دمای 500K خارج می‌شود. مذاب بطور پایا از زیر ظرف با سرعت $1.01 \times 10^{-3}\text{m/s}$ و دمای 1300K تزریق می‌شود. مشخصات مواد در شکل نشان داده شده است.

با یک مش دوبعدی که از پیش موجود است آغاز می‌کنیم، جزئیات تنظیمات و رویه حل برای مسئله انجماد ارائه شده است. حل پایا رسانش برای این مسئله بعنوان شرایط اولیه محاسبه می‌گردد. سپس می‌توان هدایت طبیعی و مارانگونی جریان سیال را به صورت غیرپایا مورد بررسی قرار داد.

$$\begin{aligned} \rho &= 8000 - 0.1 \times T \text{ kg/m}^3 \\ \mu &= 5.53 \times 10^{-3} \text{ kg/m-s} \\ k &= 30 \text{ W/m-K} \\ C_p &= 680 \text{ J/kg-K} \\ \partial\sigma/\partial T &= -3.6 \times 10^{-4} \text{ N/m-K} \\ T_{\text{solidus}} &= 1100 \text{ K} \\ T_{\text{liquidus}} &= 1200 \text{ K} \\ L &= 1 \times 10^5 \text{ J/kg} \\ A_{\text{mush}} &= 1 \times 10^5 \text{ kg/m}^3\text{-s} \end{aligned}$$

^۱ Marangoni convection

^۲ Czochralski



شکل ۱: انجماد در مدل چکرالسیکی

تنظیمات و راه حل

آماده سازی

۱. فایل solidification.zip همراه فایل های دانلودی از سایت وجود دارد.
۲. باز کردن solidification.zip
- فایل solid.mesh در پوشه solidification یافت می گردد.
۳. ورژن دوبعدی (2D) فلوننت را اجرا کنید.

گام ۱: Grid

۱. اجرای فایل mesh از طریق solid.msh.

File → Read → Case

با اجرای فایل mesh توسط فلوننت، پیام هایی به منزله گزارش پیشرفت خواندن فایل ظاهر می شود.

اخطاری در مورد استفاده شرایط مرزی محوری در کنسول نمایش داده می شود، که بدین منظور باید یا نوع Zone را تغییر داد یا مسئله را به حالت متقارن محوری^۳ تعریف کرد. در گام بعدی مسئله را بحالت چرخش متقارن محوری^۴ در می آوریم.

۲. چک کردن Grid

Grid → Check

فلوننت چندین بررسی بر روی مش انجام می دهد و پیشرفت را بر روی کنسول به نمایش می گذارد. اطمینان حاصل

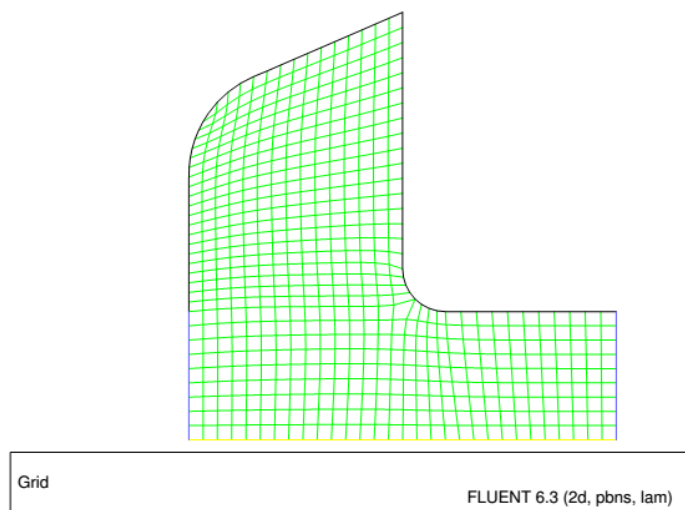
^۳ Axisymmetric

^۴ Axisymmetric swirl

کنید که کمترین حجم عدد مثبت باشد.

۳. نمایش grid با تنظیمات پیشفرض (شکل ۲)

Display → Grid...

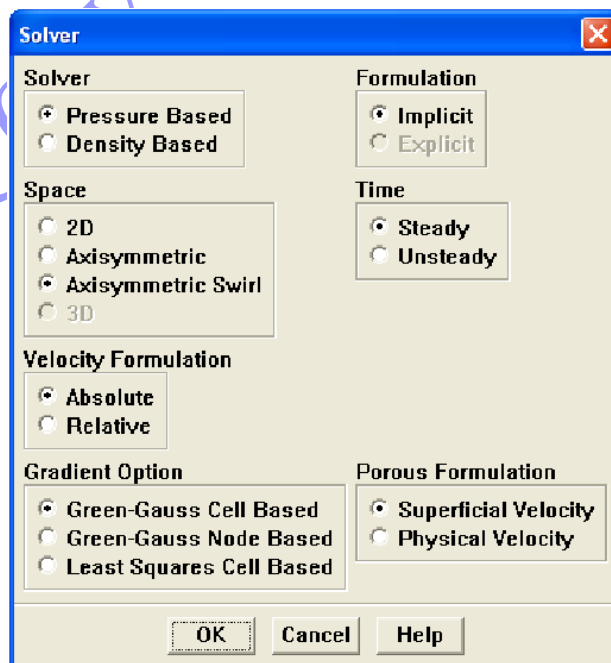


شکل ۲ نمایش Grid

گام ۲: Models

۱. نوع حلگر مدل سازی را axisymmetric swirl قرار دهید.

Define → Models → Solver...



i. در قسمت Space گزینه Axisymmetric Swirl را انتخاب می کنیم.

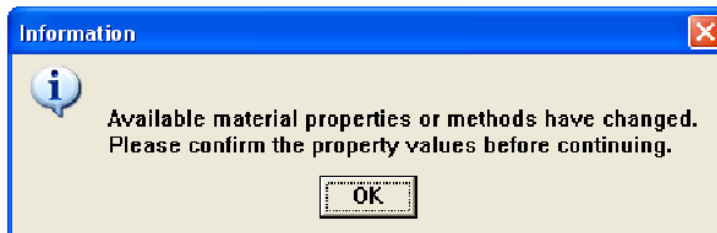
هندسه شامل یک ظرف متقارن محوری است. بعلاوه، جریان های چرخشی نیز در این مسئله در نظر گرفته می شود.

- با این اوصاف انتخاب Axisymmetric Swirl بهترین گزینه برای کیس ماست.
- همچنین توجه گردد که محور چرخش ما محور X می‌باشد. بنابراین جهت X جهت محوری و جهت Y جهت شعاعی می‌باشد. هنگام مدل سازی چرخش تقارن محوری، جهت چرخش‌ها جهت مماسی است.
- ii. سایر پارامترها را بحال خود باقی می‌گذاریم.
 - iii. بروی OK کلیک کرده تا پنجره Solver بسته شود.
۲. تعریف مدل انجماد.

Define → Models → Solidification & Melting...



- i. در قسمت Model گزینه Solidification/Melting را فعال می‌کنیم.
 - ii. عدد ۱۰۰۰۰۰ در قسمت Mushy Zone Constant بدون تغییر می‌گذاریم. در بسیاری از موارد عدد پیشفرض مورد قبول است.
 - iii. گزینه Include Pull Velocities را فعال کنید.
- با فعال سازی این گزینه، حرکت ماده جامد در پروسه پیوسته ریخته‌گری در نظر گرفته می‌شود. با انتخاب این ویژگی، پنل Solidification and Melting گسترده شده و Compute Pull Velocities نمایان می‌شود. در صورت تمایل به فعال سازی این گزینه اضافی، فلوننت سرعت کشش را در طول محاسبات بدست می‌آورد. این رویکرد از لحاظ محاسباتی زمان بر می‌باشد و فقط در جاهایی که سرعت کشش به شدت وابسته به موقعیت سطح مشترک مایع-جامد است، توصیه می‌گردد.
- در این آموزش بجای محاسبه سرعت توسط فلوننت، خود کاربر آن را وارد می‌کند. برای اطلاعات بیشتر به بخش ۱،۳،۲۴ راهنمای کاربر مراجعه کنید.
- iv. بروی Ok کلیک کرده تا پنل Solidification and Melting بسته شود.
- یک پنجره اطلاع‌رسانی با مضموم تغییر مشخصات مواد در دسترس برای مدل انجماد، ظاهر می‌شود. بروی Ok کلیک می‌کنیم زیرا بعدا مشخصات مواد را وارد می‌کنیم.
- توجه: با فعال سازی مدل انجماد، فلوننت محاسبات مربوط به انرژی را انجام می‌دهد و نیازی به بررسی پنل Energy نیست.



۳. اعمال تاثیرات گرانشی در مدل سازی

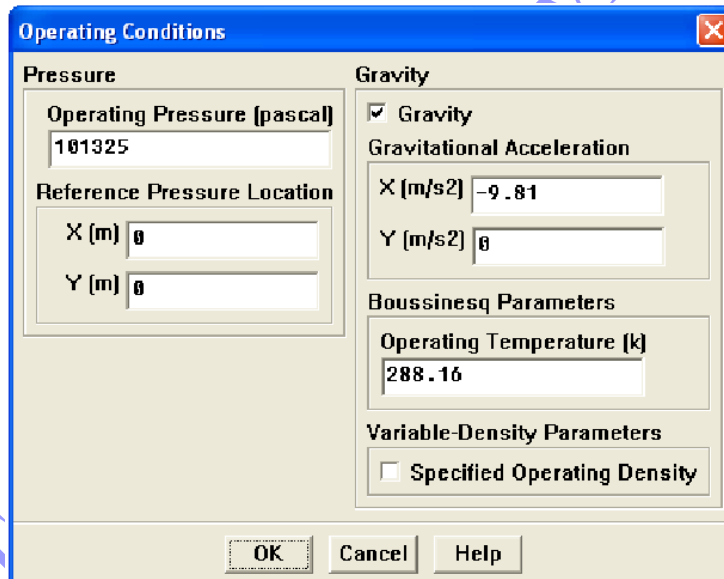
Define → Operating Condition...

i Gravity را فعال کنید

پنل Operating Conditions باز می شود.

ii در قسمت Gravitational Acceleration برای جهت X مقدار -9.81 m/s^2 وارد کنید.

iii بر روی OK کلیک کنید تا پنجره بسته شود.



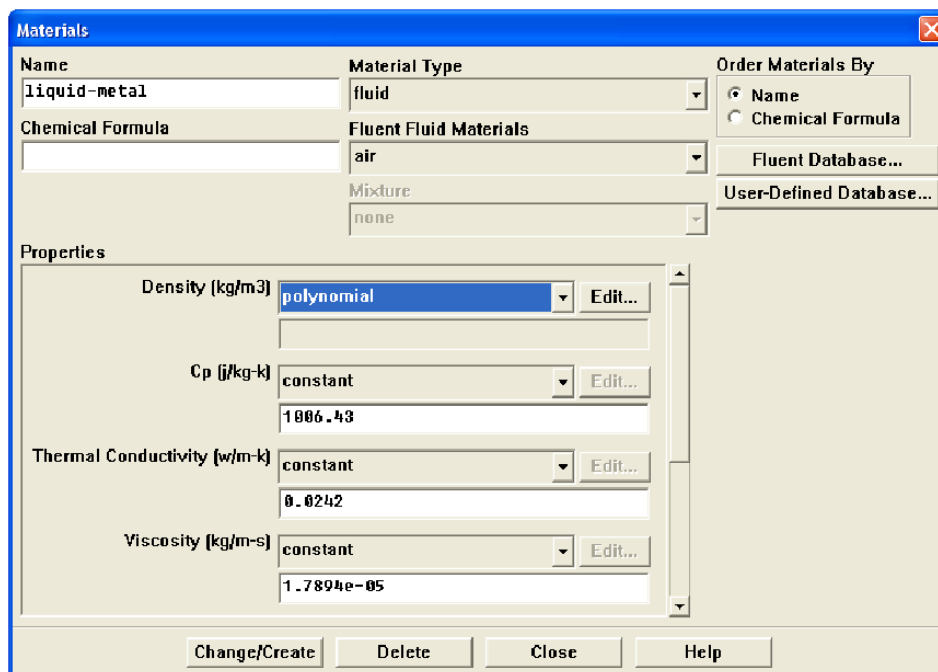
گام ۳ : Materials

در این گام، یک ماده جدید تعریف می کنیم و مشخصات آن از جمله گرمای ذوب، دمای سالییدیوس و لیکوییدیوس را به آن می دهیم.

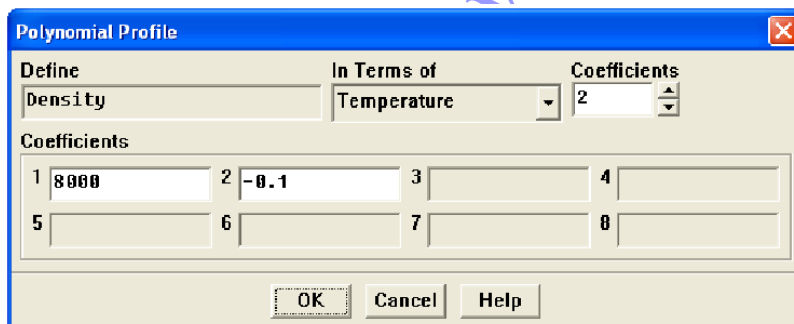
۱. تعریف یک ماده جدید

Define → Materials...

i در قسمت Name عبارت Liquid-metal را وارد کنید.



ii. از منو موجود در قسمت Density مورد Polynomial را انتخاب کنید تا پنجره مربوط به آن باز شود.



a. مقدار Coefficient را ۲ قرار دهید

b. برای اولین مقدار در Coefficients مقدار 8000 را وارد کنید.

در ابتدای متن، رابطه چگالی بصورت $\rho = 8000 - 0.1T$ تعریف شده بود.

c. بر روی Ok کلیک کنید تا پنجره بسته شود.

یک پنجره سوال ظاهر می‌شود، با کلیک بر روی No مشخصات air را دست نخورده باقی می‌گذاریم و یک ماده جدید (Liquid-metal) به مواد سیال فلونت می‌افزاییم.

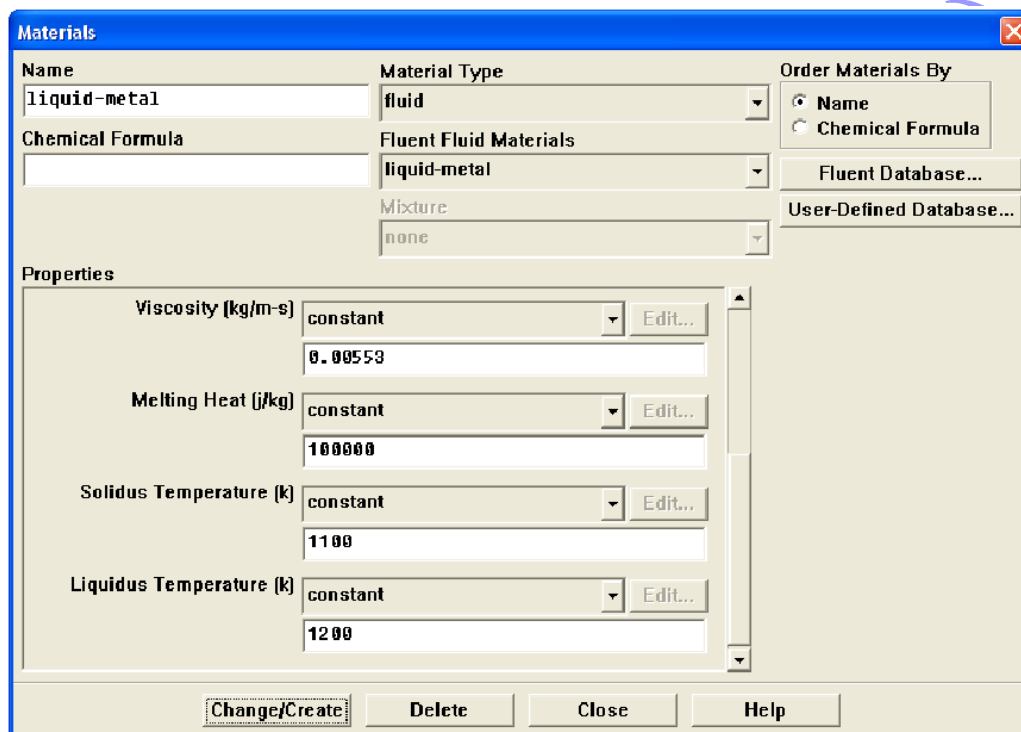
iii. Liquid-metal را از قسمت Fluid Materials انتخاب کنید تا سایر مشخصات آن را وارد کنیم.

d. در قسمت Cp مقدار 680 J/kg را وارد کنید.

e. در قسمت Thermal Conductivity مقدار 30W/m-K را وارد کنید.

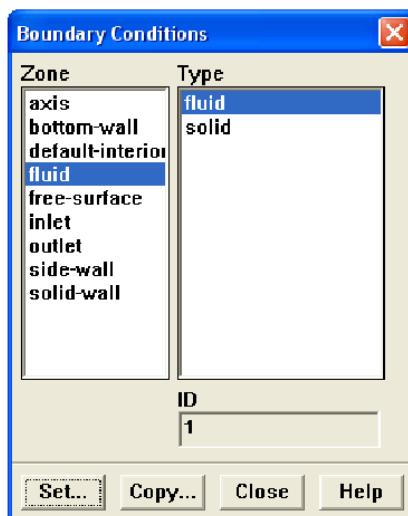
f. در قسمت Viscosity مقدار 0.00553 kgm-s را وارد کنید.

- g. در قسمت Melting Heat مقدار 100000 J/kg را وارد کنید.
 نوار کناری را به پایین بکشید تا Melting Heat و مشخصات زیر را پیدا کنید.
 h. در قسمت Solidus Temperature مقدار 1100 K را وارد کنید.
 i. در قسمت Liquidus Temperature مقدار 1200 K را وارد کنید.
 j. بر روی Change/Create کلیک کنید تا پنل Materials بسته شود.

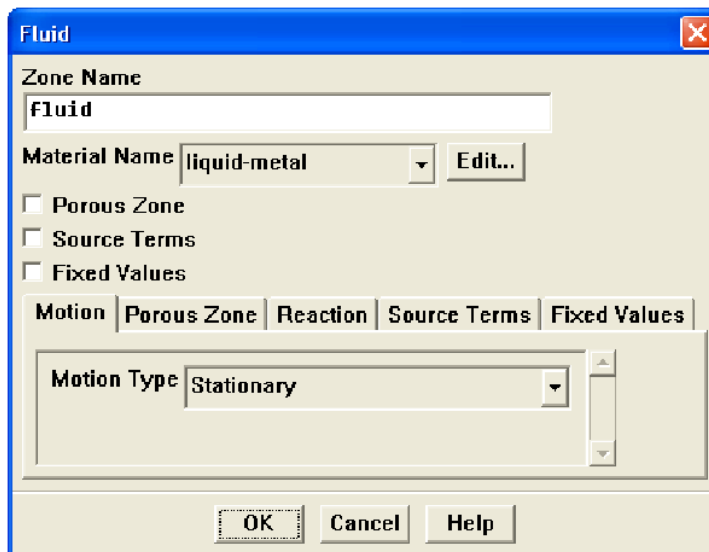


گام ۴ : Boundary Conditions

Define → Boundary Conditions...



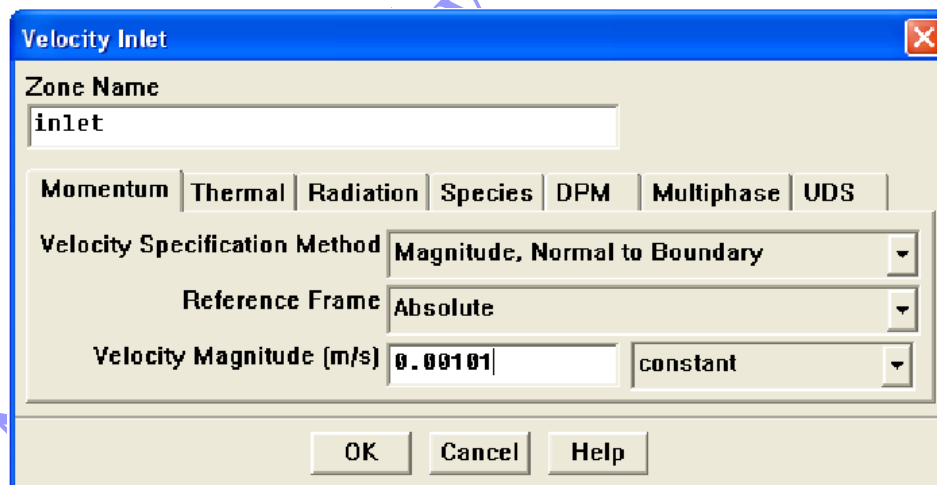
۱. تنظیم شرایط مرزی fluid



a. در لیست کشویی Material Name گزینه liquid-metal را انتخاب کنید.

b. بروی Ok کلیک کنید تا پنجره fluid بسته شود.

۲. تعیین شرط مرزی ورودی inlet



a. برای Velocity Magnitude مقدار 0.00101 را وارد کنید.

b. با کلیک بروی تب Thermal مقدار 1300K را برای Temperature وارد می‌کنیم.