



بسم الله الرحمن الرحيم

آموزش عملی و استفاده از نرم افزار

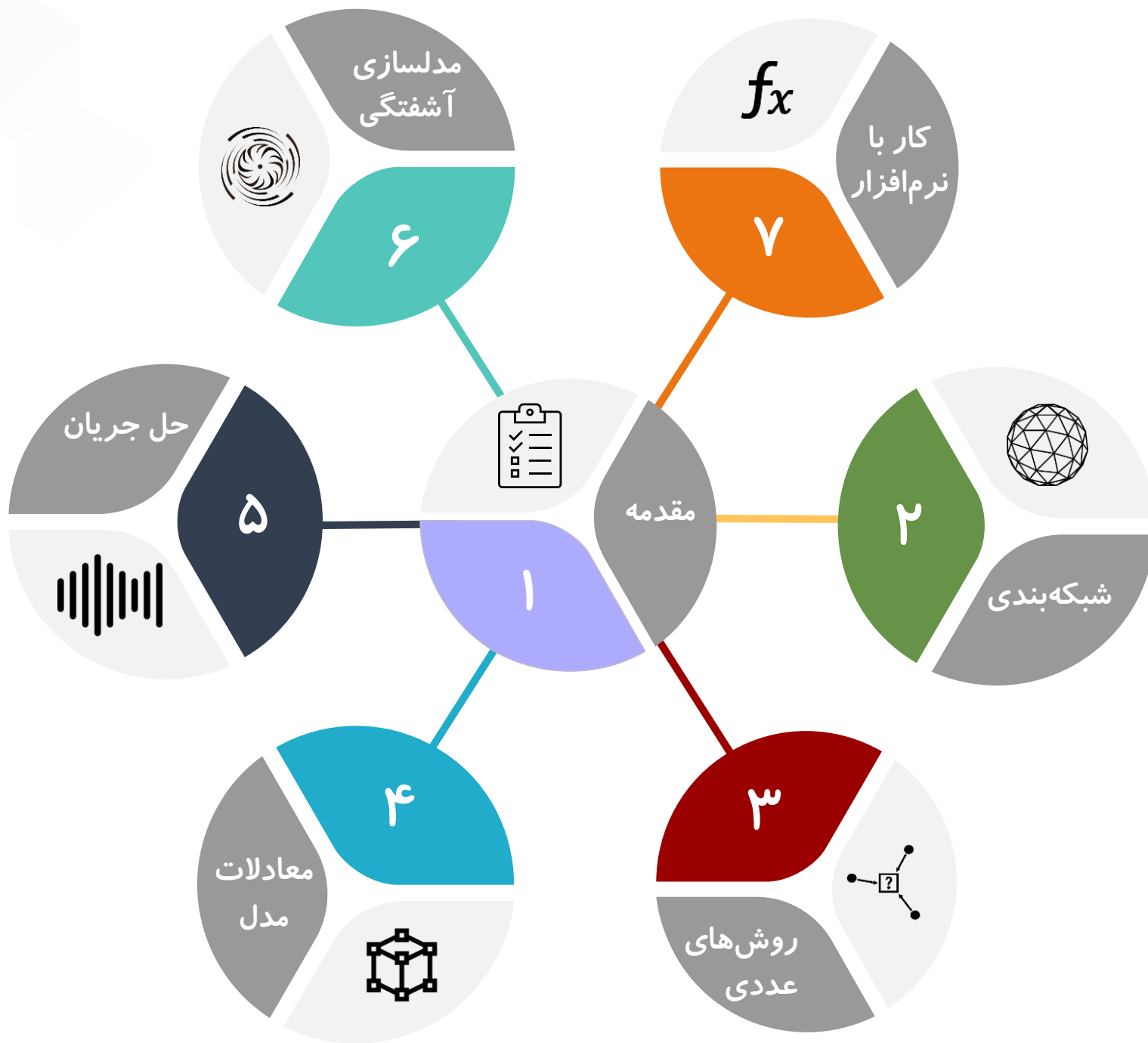
دینامیک سیالات محاسباتی



محمدصادق کریمی

دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

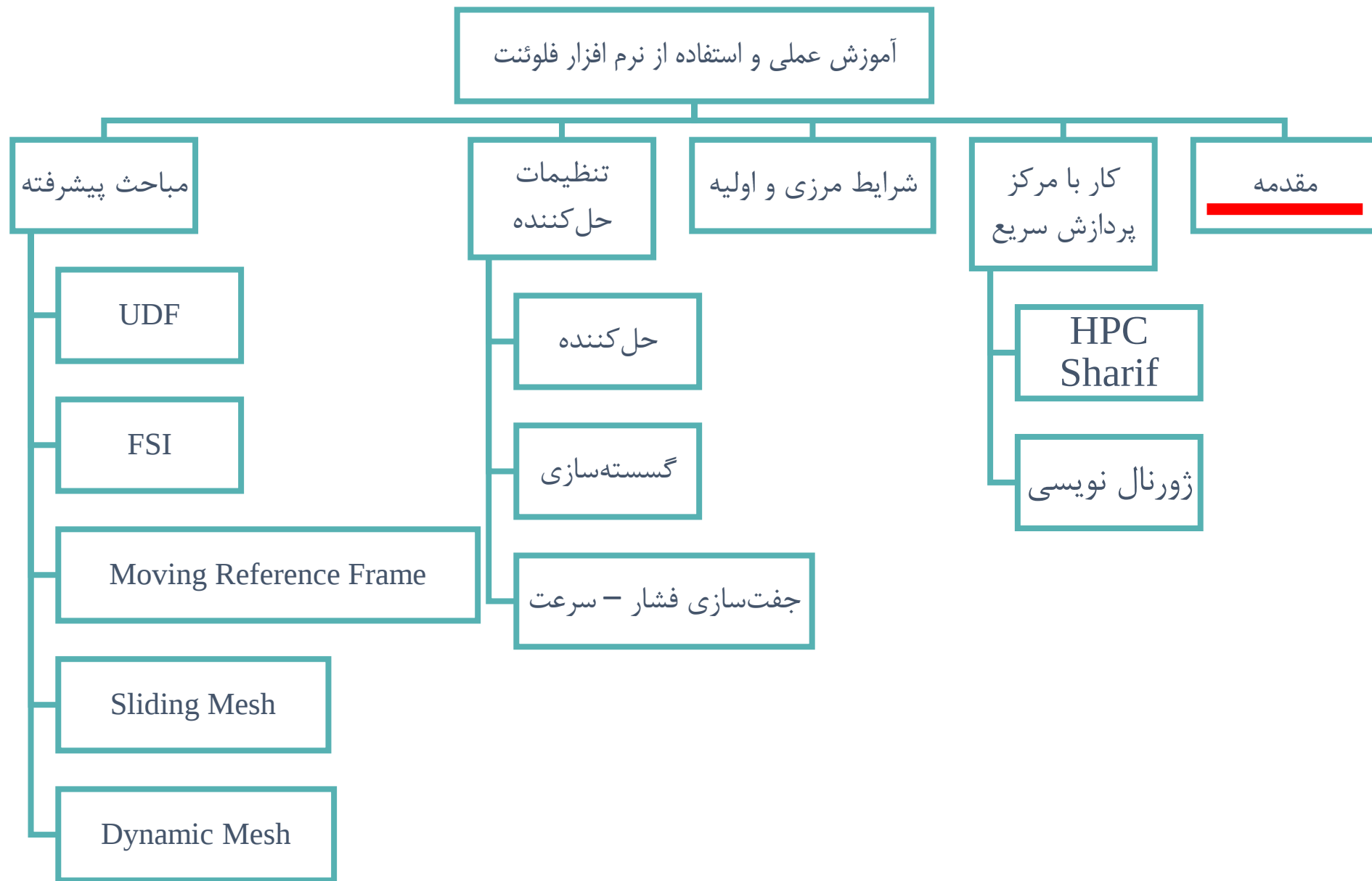
دانشگاه صنعتی شریف پاییز ۱۴۰۱





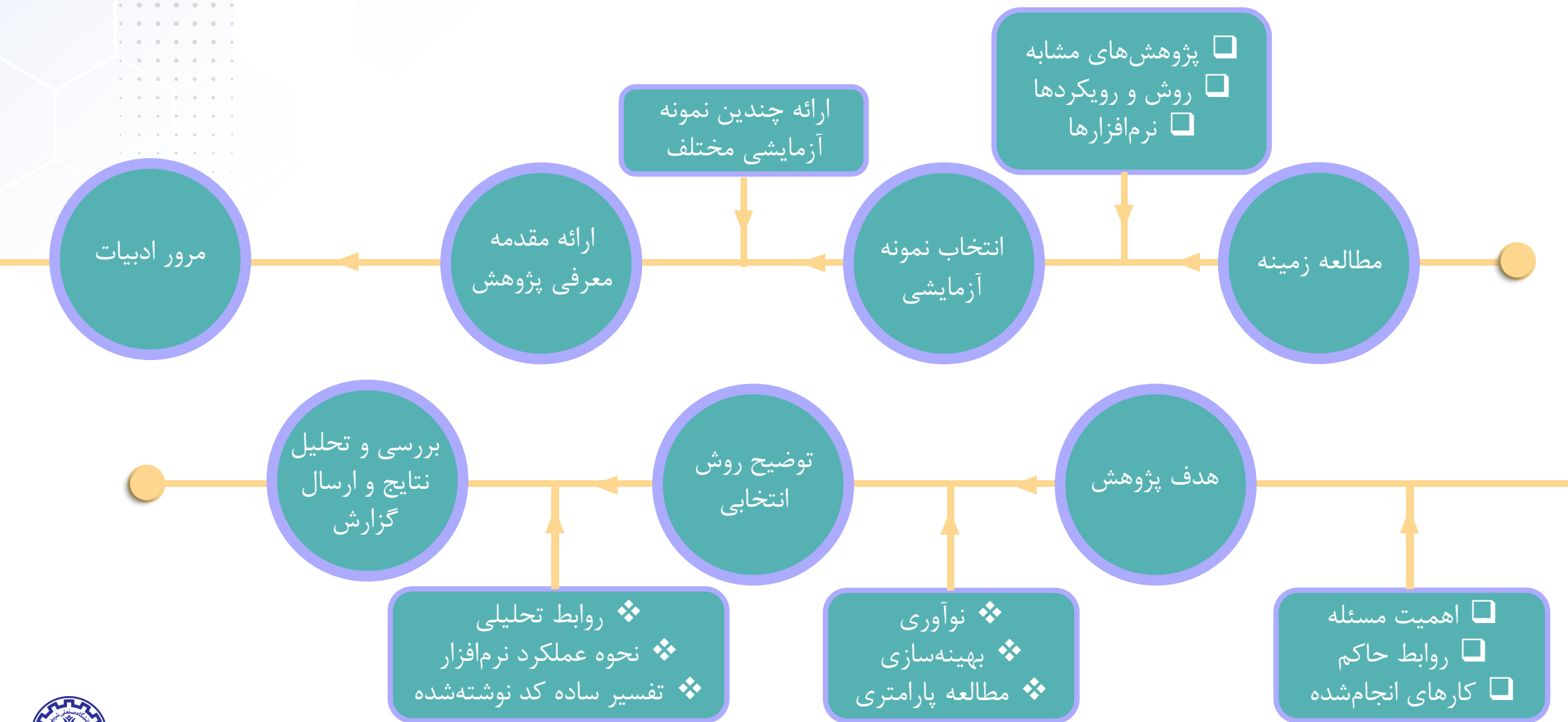
۷ آموزش عملی و استفاده از نرم افزار







مولفه‌های پروژه و تحقیق





شبیه سازی یک جریان آشفته

۱. شناسایی فیزیک جریان

- ☐ Adverse pressure gradient
- ☐ Separation
- ☐ Recirculation
- ☐ Transition
- ☐ Swirling
- ☐ ...

۲. جستجو در مقالات

- ❖ بررسی پژوهش های پیشین بر اساس فیزیک مسئله
- ❖ جهت انتخاب مدل های توربولانسی
- ❖ تخمین میزان خطای حل عددی
- ❖ بررسی دقیق تر فیزیک مسئله

۳. آزمایش مدل های مختلف

☐ اگر در مرحله ۲ به نتیجه قطعی نرسیدید.

☐ بررسی دقت مدل های مختلف

۴. مدلسازی و صحه گذاری

❖ دقت در اعمال شرایط مرزی

❖ شرایط مرزی در هر مدل توربولانسی متفاوت است.

❖ اگر شرط مرزی در دسترس نبود:

۱. مطالعه پارامتری (نتیجه تجربی در دسترس) : شرط مرزی مناسب را پیدا کنید.

۲. حدود شرایط مرزی را بر اساس پژوهش های پیشین پیدا کنید.

شرایط تعریف مسئله

- ☐ شناسایی معادلات حاکم بر مسئله
- ☐ شناسایی نیروهای خارجی وارد بر دامنه محاسباتی
- ☐ خواص ذاتی سیال
- ☐ شرایط مرزی و اولیه
- ☐ هندسه و نوع شبکه



شبیه سازی اولیه

بنچمارک

- ❑ تعیین بنچمارک مناسب برای شبیه سازی اولیه
- ❑ بررسی قابلیت اعتبارسنجی کیس در نظر گرفته شده
- ❖ انتخاب یک مسئله ساده تر برای آزمون و تست اولیه الگوریتم بهینه سازی: تست الگوریتم در محیطی کنترل شده قبل از استفاده در مسائل پیچیده تر.
- ❖ انتخاب یک مسئله بنچمارک: این مسائل برای آزمون و تست الگوریتم ها و تطبیق آن ها با نتایج منتشر شده توسط دیگران مفید است.
- ❖ انتخاب یک مسئله با جزئیات کم تر: مانند یک هواپیمای ساده شکل به جای یک هواپیمای واقعی برای آزمون اولیه.

- بیان علت در نظر گرفتن این کیس
- تعیین ناحیه محاسباتی، نوع شبکه بندی و ساده سازی اعمال شده
- بیان فیزیک مسئله و شرایط مرزی
- بررسی قابلیت در نظر گرفتن این کیس به عنوان کیس اولیه

صحت‌سنجی و اعتبار‌سنجی

اعتبار‌سنجی

- ✓ شبیه‌سازی کیس در نظر گرفته شده و مقایسه آن با نتایج تجربی با کیفیت بالا
- ✓ اعتبار‌سنجی حل انجام‌شده با روابط و نتایج تحلیلی (در صورت موجود)
- ✓ آنالیز عدم قطعیت

صحت‌سنجی

- ✓ خطای گرد کردن: مقایسه حل در دو شرایط Single precision و Double precision
- ✓ خطای گسسته‌سازی معادلات: در صورت برخورداری از حجم بالا و سیستم محاسبات قوی می‌توان برای کم‌تر کردن خطا از دقت‌های مرتبه ۲ گسسته‌سازی در مکان و زمان استفاده کرد.
- ❖ مطالعه شبکه بر اساس پارامترهای مهم برای کیس نهایی با استفاده از معیار Roach
- ✓ خطاهای همگرایی تکراری : یک یا چند متغیر در نظر گرفته و همگرایی آنها همراه با همگرایی باقیمانده‌های معادلات پس از k تکرار بررسی کنید.
- جهت حل روابط تیلور دامنه ناپیوستگی نداشته باشد.
- همگرایی باید یکنواخت باشد.



خطاها و عدم قطعیت

عواقب نتایج بی دقت CFD اتلاف پول، زمان، تلاش و در بدترین حالت نابودی اجزا و ماشین ها است.

هزینه ها در CFD

- هزینه اصلی ابزار محاسباتی
- هزینه مستقیم عملیاتی: خرید لایسنس و حقوق متخصص CFD
- هزینه غیرمستقیم عملیاتی: نگهداری ابزار محاسباتی و تهیه منابع اطلاعاتی برای فعالیت CFD

خطاها

- نقص قابل تشخیص در یک مدل که به دلیل کمبود دانش نیست.
- ❑ **خطای عددی:** خطای گرد کردن، خطای همگرایی تکرارشونده، خطای گسسته سازی
- ❑ **خطای کد:** اشتباهات و باگ ها در نرم افزار
- ❑ **خطای کاربر:** خطای انسانی در استفاده از نرم افزار

عدم قطعیت

- نقص بالقوه در یک مدل که به دلیل کمبود دانش است.
- **عدم قطعیت ورودی:** بی دقتی به دلیل اطلاعات محدود یا تخمین زدن هندسه، شرایط مرزی و مشخصات مواد
- **عدم قطعیت مدل فیزیکی:** مغایرت های میان جریان واقعی و CFD ناشی از ارائه ناکافی فرایندهای فیزیکی و شیمیایی یا به دلیل فرض های ساده سازی در فرایند مدلسازی



صحت‌سنجی و اعتبار‌سنجی

Validation: Solving the right equations || Verification: Solving the equations right

صحت‌سنجی

این فرایند خطاها را کمی می‌کند.

- **خطای گرد کردن:** استفاده از دقت‌های مختلف ماشینی single precision تا ۸ رقم اعشار و double precision تا ۱۶ رقم اعشار.
- **خطای همگرایی تکرارشونده:** بررسی کردن روند همگرایی حداقل یک پارامتر در تکرارها مانند افت فشار، دبی جرمی جریان، نیروی سطحی وارد شده و یا سرعت، فشار و دما در یک نقطه.
- **خطای گسسته‌سازی:** اصلاح کردن سیستماتیک شبکه‌ها و گام‌های زمانی. در کار CFD با کیفیت بالا باید کاهش یکنواخت خطای گسسته‌سازی برای مقادیر هدف مورد نظر و میدان جریان به‌عنوان کل، در دو یا سه سطح متوالی اصلاح مش نشان داده شود. استفاده از معیار همگرایی Roach برای بررسی کمی نیز پیشنهاد می‌شود.

اعتبار‌سنجی

نقص بالقوه در یک مدل که به‌دلیل کمبود دانش است.

- **عدم قطعیت ورودی:** بررسی روند نتایج با تغییر ورودی‌ها در یک بازه مشخص
- **مقایسه نتایج CFD با نتایج آزمایش تجربی** کیفیت بالا



پیاده سازی شبکه عصبی همراه با تئوری (در صورت نیاز)

- ✓ مشخص کردن پارامترهای متغیر (Feature) و خروجی مدل
- ✓ تولید تعداد داده کافی برای کمینه کردن خطای مدل بر اساس توضیح مطالعات پیشین
- ✓ پیاده سازی شبکه عصبی به صورت صحیح بر روی داده ها (تعیین صحیح پارامترها)
- ✓ ارائه نمودارهای لازم برای بررسی عملکرد شبکه عصبی مانند RSME
- ✓ بررسی و تحلیل خطای پیش بینی
- ✓ ارزیابی عملکرد شبکه عصبی





گزارش و ارائه نتایج تجزیه و تحلیل

ساختار گزارش

- ❖ صفحه عنوان
- ❖ چکیده
- ❖ مقدمه
- ❖ تعریف مسئله / Methodology
- ❖ نتایج
- ❖ بحث
- ❖ نتیجه گیری
- ❖ منابع

نبایدها

- بارگذاری بیش از حد گزارشها با داده‌های بیش از حد یا متن متراکم.
- حذف اطلاعات مهم مانند شرایط مرزی یا تنظیمات حل کننده.
- ارائه نتایج خام بدون تجزیه و تحلیل یا تفسیر.
- استفاده از ارقام با برچسب بی کیفیت یا با وضوح پایین.

ارائه نتایج

- ✓ استفاده بهینه از ابزار ترسیم
- ❖ نمودارها و کانتورهای دو بعدی و سه بعدی
- ❖ نمودارهای مقایسه‌ای
- ❖ انیمیشن پدیده گذرا
- ✓ وضوح در ارائه
- ❖ از طرح‌های رنگی ساده و ثابت استفاده کنید.
- ❖ برای تأکید، مناطق کلیدی را در تصاویر مشخص کنید.
- ❖ در تمام نمودارها محورها، مقیاس‌ها و Legend را تعیین کنید.
- ✓ یافته‌های کلیدی را برجسته کنید.
- ❖ از نقاط bullet برای تأکید بر نتایج اصلی استفاده کنید.
- ❖ نتایج را به اهداف بیان شده در مقدمه مرتبط کنید.



آموزش عملی و استفاده از نرم افزار فلوئنت

مباحث پیشرفته

UDF

FSI

Moving Reference Frame

Sliding Mesh

Dynamic Mesh

تنظیمات
حل کننده

حل کننده

گسسته سازی

جفت سازی فشار - سرعت

شرایط مرزی و اولیه

کار با مرکز
پردازش سریع

HPC
Sharif

ژورنال نویسی

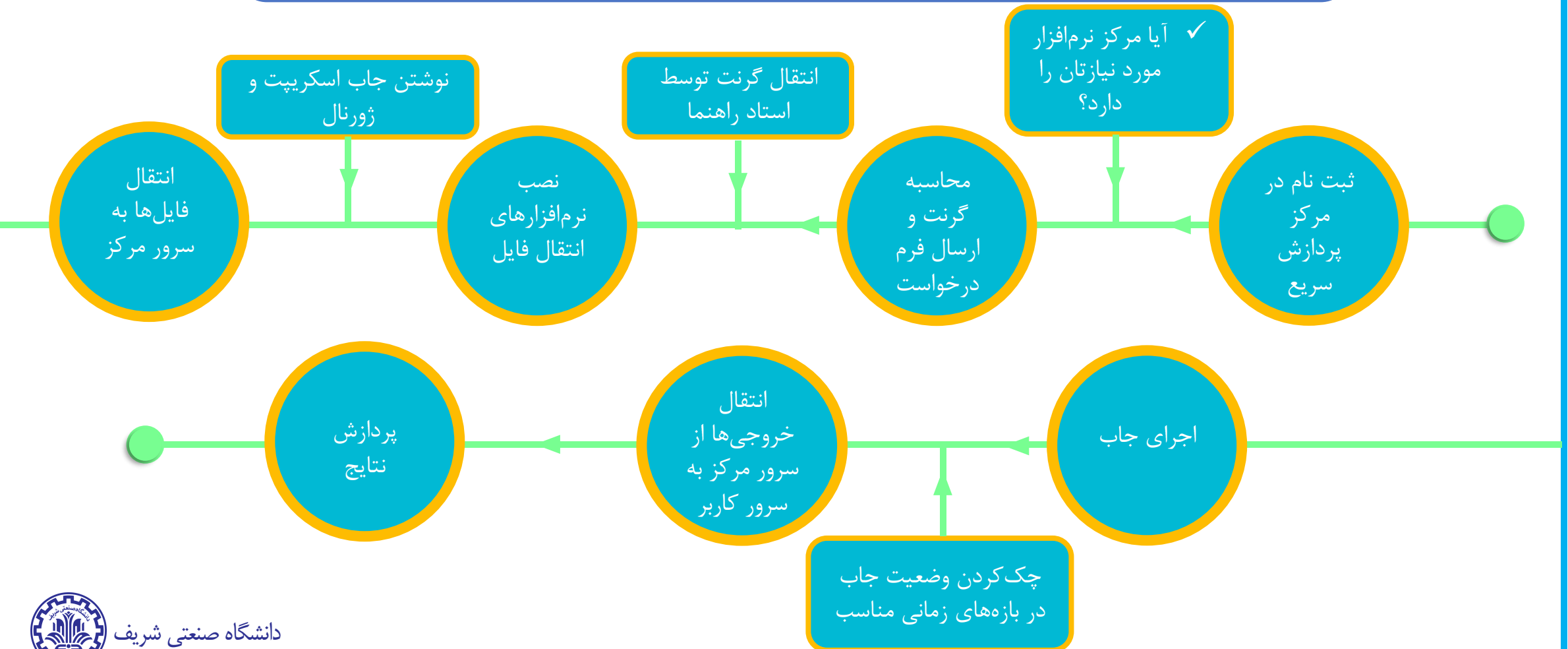
مقدمه





مقدمه HPC

- ❖ استفاده از ابر رایانه‌ها و تکنیک‌های پردازش موازی برای حل مسائل پیچیده محاسباتی با سرعت بالا.
- ❖ اهداف : انجام وظایف بزرگ و پر حجم داده یا شبیه‌سازی‌های بسیار پیچیده
- ❖ مزایا : نسبت هزینه بر محاسبات کم، حل موازی ، سرعت بخشیدن به کارهای پیچیده مانند شبیه‌سازی و یادگیری ماشین





سایت ثبت نام: HPC Panel | Signup



Sharif High Performance Computing Center

Log In

Sign Up

Email address

E-mail address

Password

Password

Confirm Password

Password (again)

First Name

Last Name

Phone Number

Student number

Department(s):

You can select multiple departments by holding ctrl key

Aerospace Engineering
Chemical and Petroleum Engineering
Chemistry
Civil Engineering
Computer Engineering

Contact Email Address

Leave Empty to use your main email

Have an account? Sign in

Sign up



Sharif High Performance Computing Center

Verify Your E-mail Address

We have sent an e-mail to you for verification. Follow the link provided to finalize the signup process. Please contact us if you do not receive it within a few minutes.

[Login](#) | [Signup](#)



دانشگاه صنعتی شریف



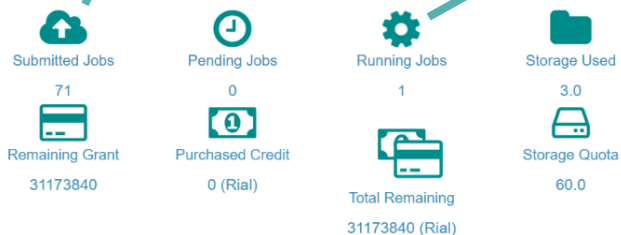
قبل از استفاده از HPC مطمئن شوید که این مرکز نرم افزار (یا ورژن) مورد نیاز شما را دارد.
نرم افزارهای نصب شده - HPC

کل کارها

کارهای در حال انجام

High Performance Computing Center

sharif.edu



نمونه صفحه اول خدمات مبتنی بر زمان

مقدار گرنت باقی مانده

نمونه صفحه Submitted Jobs

ID	Job Name	Submitted	Started	Finished	Status	Wall Time	Memory Used	Cost
815991	myjob		1403-04-22 19:34:13	1403-05-02 19:23:38	Finished	10 days, 19:19:25	8089068.0kb	14003476.3500088
815989	myjob		1403-04-22 17:14:45	1403-04-27 04:32:12	Finished	4 days, 6:47:27	5056868.0kb	5550705.84395588
815988	myjob		1403-04-22 16:44:24	1403-04-22 21:29:34	Finished	0:15:10	1996760.0kb	13650.3332452698
815889	myjob		1403-04-22 05:42:31	1403-04-22 11:55:01	Finished	1:42:30	4913660.0kb	92250.820055466
814822	myjob		1403-04-21 11:10:41	1403-04-21 17:33:10	Finished	1:52:29	7906108.0kb	101236.319474095
814780	myjob		1403-04-21 08:34:12	1403-04-21 14:22:05	Finished	1:17:53	8279460.0kb	70096.3817839307
813958	myjob		1403-04-18 08:01:47	1403-04-19 23:25:47	Finished	1 day, 10:54:00	5099384.0kb	1884600.8510515
813925	myjob		1403-04-18 04:15:06	1403-04-18 21:47:50	Finished	13:02:44	26866300.0kb	704464.483797448
813924					Deleted			
808508	myjob		1403-04-07 04:43:25	1403-04-18 07:18:07	Finished	10 days, 22:04:42	5003584.0kb	14152230.8350632

۱. محاسبه گرنت

اعتبارات و گرنت HPC

۲. درخواست گرنت

فرم درخواست گرنت تحصیلات تکمیلی

گرنت به حساب استاد واریز می شود.
استاد باید گرنت را به حساب دانشجو انتقال دهند.

۳. انتقال گرنت به حساب دانشجو

انتقال گرنت پژوهشی





نرم افزارهای مورد نیاز

FileZilla

- یک نرم افزار مدیریت انتقال فایل از یک هاست به هاست دیگر و آپلود و دانلود فایل می باشد.
- امکان آپلود چندین فایل به صورت همزمان با سرعت بالا
- کاربری آسان
- دانلود: [Download FileZilla Client for Windows \(64bit x86\)](#)

PuTTY

- امکان اجرای چندین جاب (کار / شبیه سازی) به طور همزمان
- برای دسترسی از راه دور به سرورها و سایر دستگاه ها
- رایگان و منبع باز
- دانلود: [Download PuTTY: latest release \(0.81\)](#)

کدهای متداول

- ❑ ls : لیست کردن فایل های موجود در دایرکتوری
- ❑ cd [filepath] : باز کردن دایرکتوری - اگر مسیر وارد نشود، به صفحه قبل باز می گردد.
- ❑ qsub [Job_name].sh : اجرای جاب
- ❑ qstat : وضعیت اجرا
- ❑ qdel [Job_ID] : حذف جاب
- ❑ Q : در صف R : آماده اجرا E : اجرا C : پایان

hpc.ce.sharif.edu:

Job ID	Username	Queue	Jobname	SessID	NDS	TSK	Req'd Memory	Req'd Time	Elap S	Time
463930.hpc.ce.sh	sinatakl373	short	first matlab	88489	1	1	10gb	--	R	--

آماده اجرا

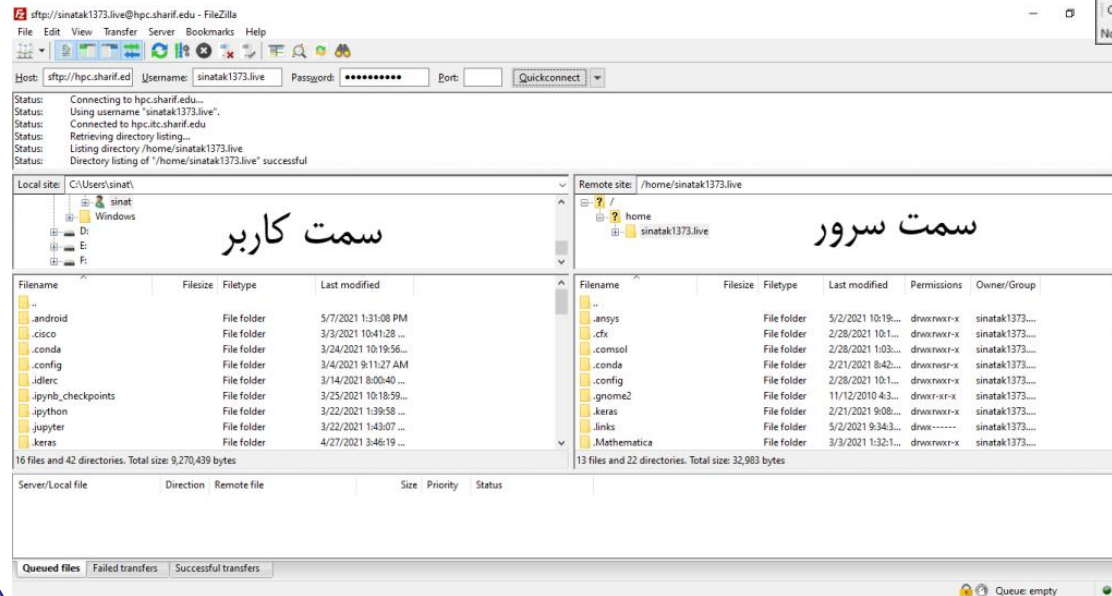
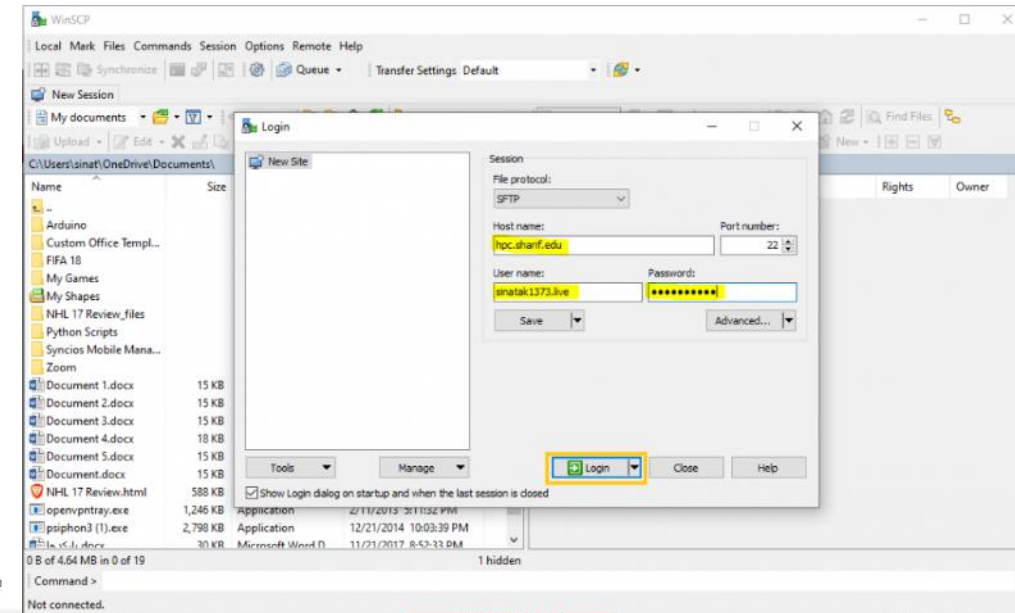
Job ID	Username	Queue	Jobname	SessID	NDS	TSK	Req'd Memory	Req'd Time	Elap S	Time
463930.hpc.ce.sh	sinatakl373	short	first_matlab	88489	1	1	10gb	--	C 00:00	

اتمام جاب





قسمت ورود
Host : hpc.sharif.edu
User : User HPC
Pass : Pass HPC



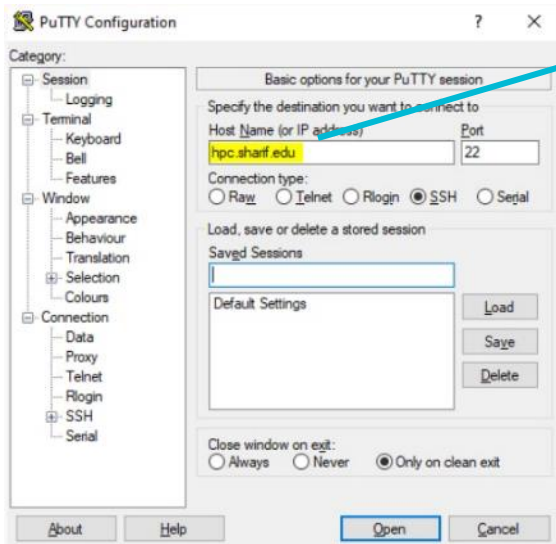
❖ انتقال فایل های run مورد نیاز به سمت سرور
❖ فایل ها با توجه به قوانین مرکز تا مدت زمان محدودی (چندین ماه) در قسمت سرور ذخیره می شوند.





اجرای جاب با PuTTY

هاست HPC



نمونه اسکریپت اجرای ژورنال فلوئنت

```
#PBS -N Name of Your job
#PBS -m abe
#PBS -M User name
#PBS -l nodes=1:ppn=Number of Processors
cd $PBS_O_WORKDIR
```

```
/share/apps/ANSYS/Ansys2019R3/ansys_inc/v195/fluent/bin/f
luent 3ddp -t10 -g -i inputfile.jou >& outputfile
```



❑ دقت دو برابر و سه بعدی : 3ddp

❑ تعداد هسته : -t10

❑ اجرای فلوئنت بدون رابط گرافیکی : -g

❑ اجرا دستورات از یک فایل ژورنال : -i inputfile.jou

❑ ضبط تمام خروجی‌های کنسول (اعم از خروجی استاندارد و خطاها) در فایل

خروجی برای اشکال‌زدایی یا نگهداری سوابق (باقی‌مانده‌ها) : >& outputfile





ایجاد و خواندن فایل‌های Journal

- ❖ حاوی دنباله‌ای از دستورات انسیس فلوئنت که به صورت تعاملی در برنامه تایپ می‌شوند.
- ❖ از طریق رابط کاربری گرافیکی GUI یا TUI وارد می‌شوند.
- ❖ کدها را می‌توان به روش Scheme ضبط کرد و یا دستی با Text editor نوشت.
- ❖ جهت اضافه کردن کامنت به فایل متن حتما باید در ابتدای خط علامت نقطه ویرگول ; بکار رود.
- ❖ هدف : ۱. خودکار کردن یک سری دستورات به جای وارد کردن مکرر آنها در Command line است.
- ۲. ضبط فرایندهای انجام شده و استفاده از آنها به عنوان مرجع در آینده

- ❑ دقت کنید اگر در دستورات ژورنال قصد ذخیره‌ی فایل دارید، هیچ فایلی با آن اسم نباید در پوشه باشد وگرنه نرم‌افزار پیام Overwrite را می‌دهد که در این صورت باید در انتهای کد دستور Yes نیز نوشته شود.
- ❑ اگر در حال نوشتن یک فایل ژورنال در Text editor هستید، توصیه می‌شود کد `file/set-tuiversion "XX.X"` را در بالای فایل اضافه کنید. XX.X نسخه فلوئنت است که فایل ژورنال در حال حاضر در آن اجرا می‌شود. در این شرایط می‌توان از این کد برای نسخه‌های بالاتر نیز استفاده کرد. مثال $2024 R2 = 24.2$





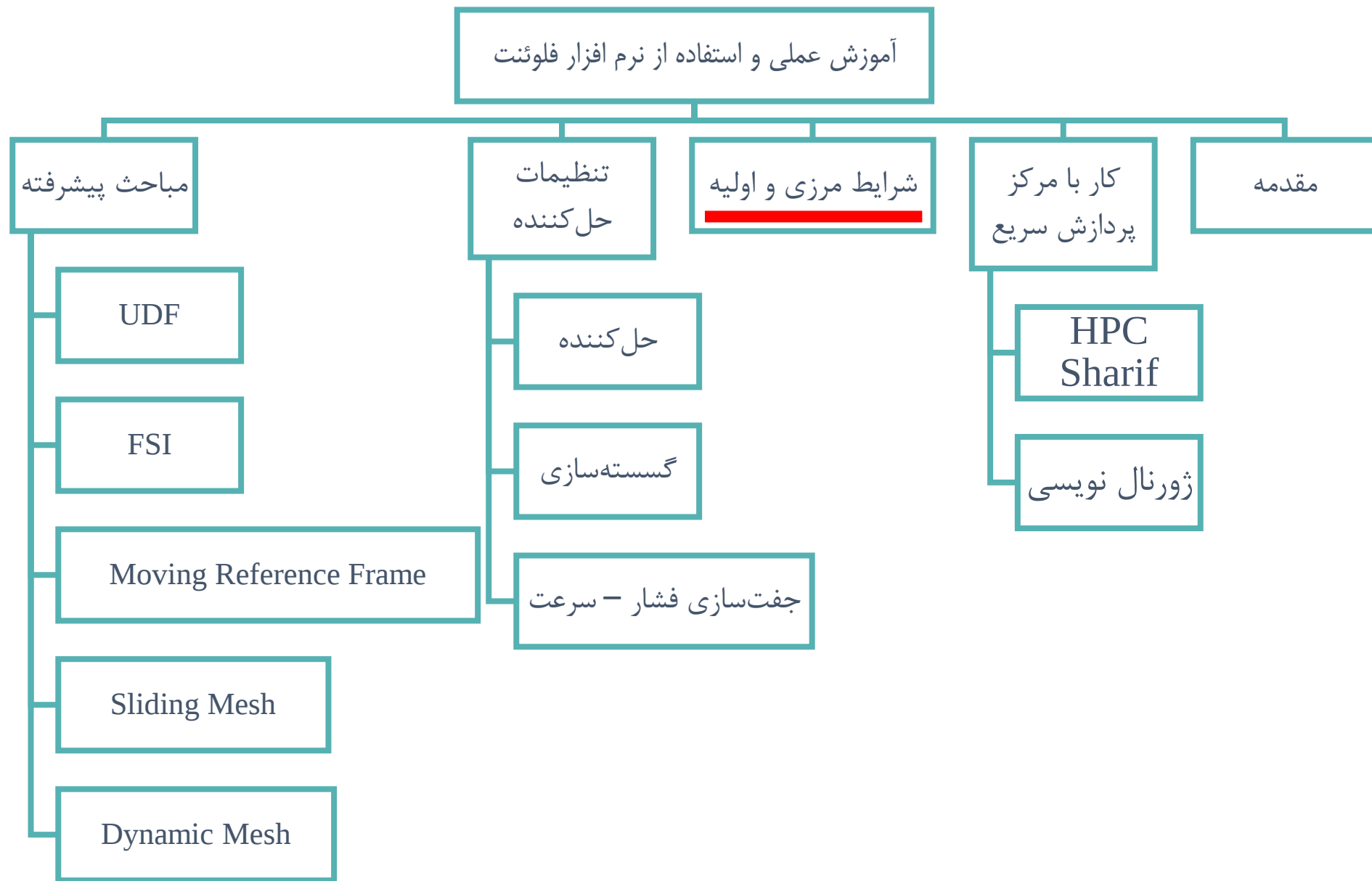
یک نمونه فایل Journal

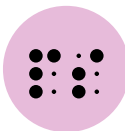
```
/file/set-batch-options yes ; Enable batch mode
/file/read-case pipe3D.cas ; Load the 3D case file
/mesh/scale 0.001 0.001 0.001 ; Scale the mesh to meters (from mm)
/define/models/energy yes ; Enable the energy equation
/define/models/viscous k-epsilon-realizable yes ; Enable Realizable k-epsilon turbulence model
/define/models/viscous/near-wall-treatment enhanced-wall-treatment yes ; Use enhanced wall treatment
/define/materials/change-create air yes ; Set air as the working fluid
material-property density no ; Use ideal gas for density
material-property cp 1005 ; Specific heat (J/kg-K)
/define/boundary-conditions velocity-inlet inlet1 ; Define inlet boundary
velocity-components 1 0 0 ; Set x-component velocity (1 m/s)
temperature 300 ; Set inlet temperature (K)
/define/boundary-conditions pressure-outlet outlet1 ; Define outlet boundary
/define/boundary-conditions wall wall1 ; Define pipe walls temperature 350 ; Wall temperature (K)
/solve/initialize/initialize-flow ; Initialize the solution
/solve/set/time-step 0.001 ; Set time step size (s)
/solve/dual-time-iterate 50 10 ; Run 50 time steps with 10 inner iterations each
/file/write-case-data pipe3D_final.cas ; Save the final case and data file
/plot/contour temperature ; Plot temperature contours
surface pipe-slice ; On a cross-section of the pipe
display yes ; Display the plot
/plot/profiles velocity-magnitude pipe-centerline ; Plot velocity along the pipe centerline
/file/export/ascii velocity_profile.txt velocity yes ; Export velocity data along the centerline to text
/exit yes ; Exit Fluent
```

جریان سه بعدی آشفته با انتقال حرارت

در صورتی که قصد اضافه کردن عملیاتی میان فرایندها دارید به راحتی می توان با اضافه کردن کد آن بین خطوط عملیات را اضافه کرد.



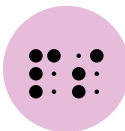




خلاصه شرایط مرزی و انواع منطقه‌ها در فلوئنت

دسته‌بندی	نوع منطقه
خارجی	axis, degassing, exhaust fan, inlet vent, intake fan, interface, mass-flow inlet, mass-flow outlet, outflow, outlet vent, overset, pressure far-field, external pressure inlet, pressure outlet, symmetry, velocity inlet, and wall (one-sided only)
داخلی	fan, interior, porous jump, radiator, RANS/LES interface, and wall (two-sided only)
متناوب	periodic
سلول‌ها	fluid, solid (porous media and 3D fans are a type of fluid cell)

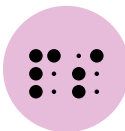




شرایط مرزی پارامترها

- ☐ **سرعت ورودی :** استفاده برای تعریف سرعت و خواص اسکالر جریان در مرزهای ورودی
- ☐ **فشار ورودی :** تعریف فشار کل و سایر مقادیر اسکالر در ورودی‌های جریان
- ☐ **دبی جرم ورودی :** کاربرد در جریان‌های تراکم‌پذیر (در جریان‌های تراکم‌ناپذیر به دلیل چگالی ثابت ضروری نیست).
- ☐ **فشار خروجی :** تعریف فشار استاتیک و سایر مقادیر اسکالر در صورت جریان برگشتی – استفاده از فشار خروجی در شرایط جریان برگشتی در همگرایی حل بهتر از شرط مرزی جریان خروجی عمل می‌کند.
- ☐ **میدان فشار دوردست (فقط برای جریان‌های تراکم‌پذیر) :** کاربرد برای مدل‌سازی یک جریان تراکم‌پذیر جریان آزاد در بی‌نهایت، با عدد ماخ جریان آزاد و شرایط استاتیک مشخص شده
- ☐ **جریان خروجی (نامناسب برای جریان تراکم‌پذیر) :** زمانی که اطلاعات سرعت و فشار خروجی قبل از حل در دسترس نباشد. به دلیل فرض گرادیان صفر برای تمام پارامترها به جز فشار در خروجی، در شرایط جریان خروجی کاملاً توسعه‌یافته مناسب است.
- ☐ **دریچه ورودی :** برای مدل‌سازی دریچه ورودی با ضریب تلفات مشخص، جهت جریان و فشار و دمای کل محیط (ورودی) استفاده می‌شود.
- ☐ **فن ورودی :** مدل‌سازی یک فن ورودی خارجی با جهش فشار مشخص، جهت جریان و فشار کل و دمای محیط
- ☐ **دریچه خروجی :** برای مدل‌سازی دریچه خروجی با ضریب تلفات مشخص، جهت جریان و فشار و دمای استاتیک محیط (تخلیه) استفاده می‌شود.
- ☐ **فن اگزوز :** مدل‌سازی فن اگزوز خارجی با جهش فشار مشخص و فشار استاتیک محیط (تخلیه)
- ☐ **گاززدایی (فقط برای جریان‌های گاز مایع دو فاز با استفاده از مدل چند فازي اویلری) :** مدل‌سازی سطح آزاد جهت خروج حباب‌های گاز پراکنده

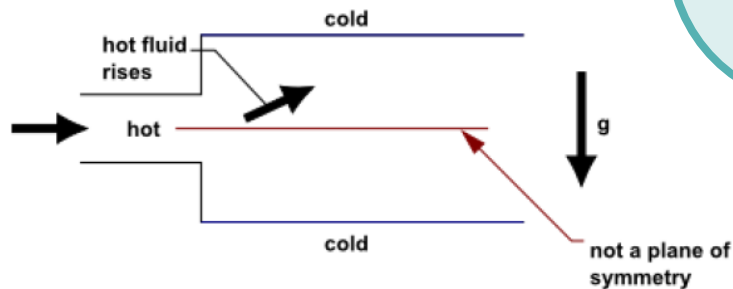
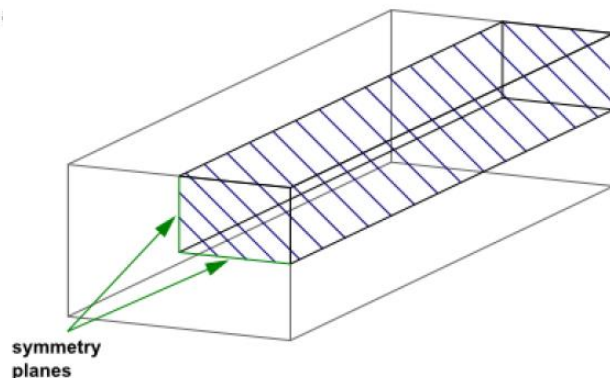
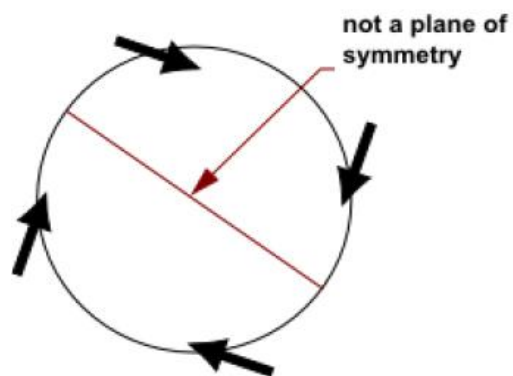
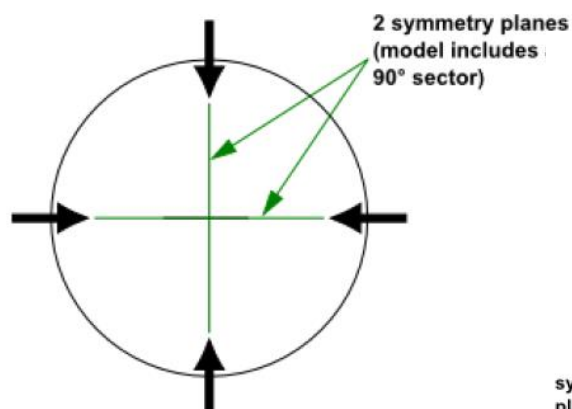




شرایط مرزی هندسی

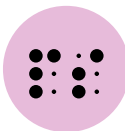
شرط مرزی تقارن

۱. تقارن هندسه
۲. تقارن نیروهای وارد بر بدنه
۳. تقارن پارامترهای سیال



- ❖ زبری دیوار : برای جریان‌های آشفته
- ❖ شرایط حرکت دیوار : برای دیوارهای متحرک یا چرخان
- ❖ شرایط برشی : برای دیوارهای لغزنده
- ❖ شرایط مرزی حرارتی : برای محاسبات انتقال حرارت
- ❖ شرایط مرزی گونه : برای محاسبات گونه (Specie)
- ❖ شرایط مرزی واکنش شیمیایی : برای واکنش‌های سطحی
- ❖ شرایط مرزی تشعشع
- ❖ شرایط مرزی فاز گسسته : برای محاسبات فاز گسسته
- ❖ زاویه تماس چسبندگی دیوار : برای محاسبات VOF
- ❖ شرط مرزی جابه‌جایی : برای تعامل سازه و سیال





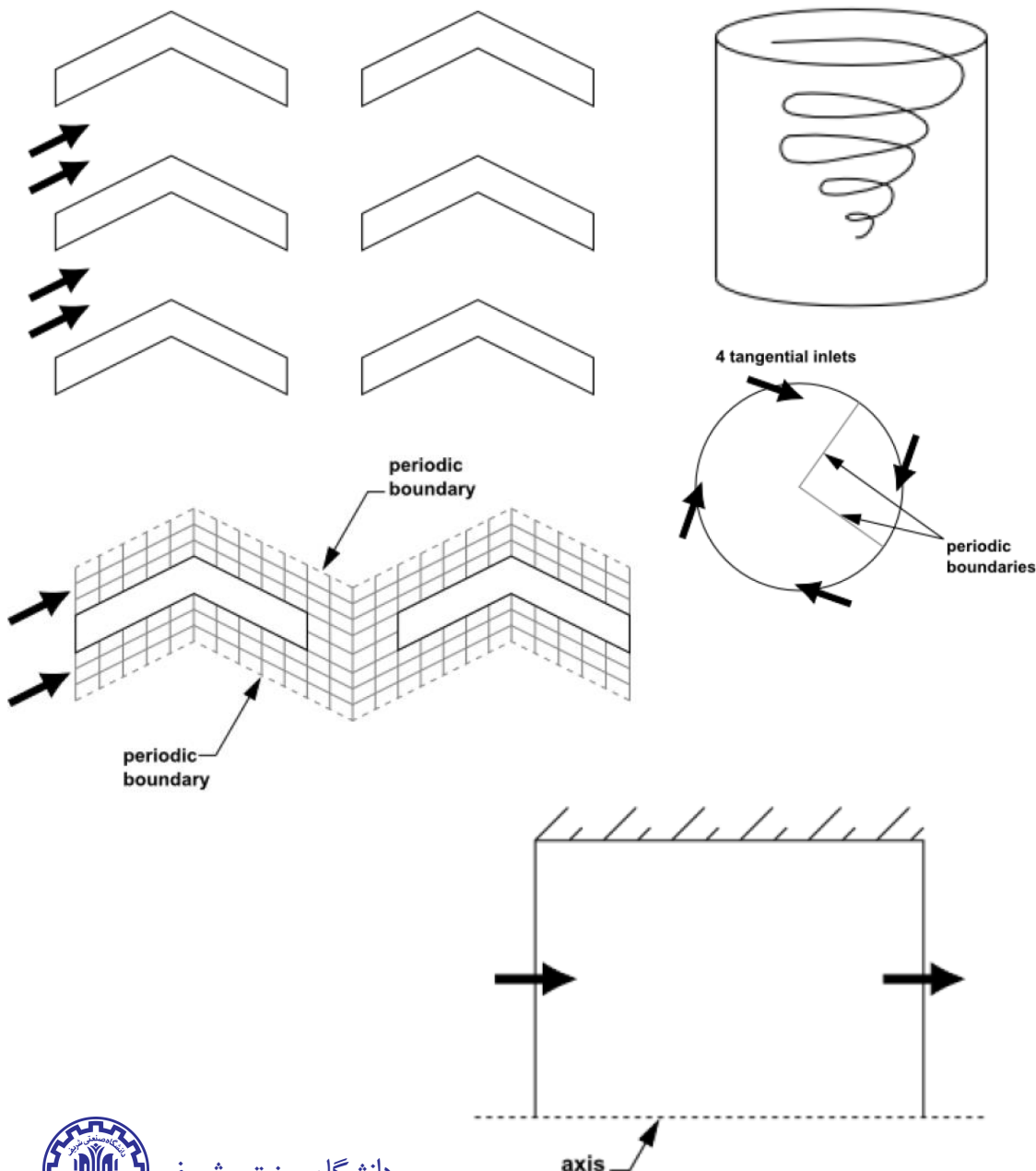
شرایط مرزی هندسی

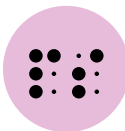
شرط مرزی تناوب

- ❖ شرایط مرزی تناوبی زمانی استفاده می‌شود که هندسه فیزیکی مورد نظر و الگوی مورد انتظار جریان/محللول حرارتی دارای ماهیت تکرار شونده باشند.
- ❖ برای یک مرز تناوبی بدون افت فشار، تنها یک ورودی وجود دارد که باید در نظر بگیرید: این که هندسه به صورت چرخشی یا انتقالی تناوبی است.
- ❖ برای یک جریان متناوب با افت فشار متناوب، ورودی‌های اضافی مورد نیاز است.

شرط مرزی محور

- ❖ نوع مرز محور باید به عنوان خط مرکزی یک هندسه متقارن محور استفاده شود.
- ❖ نیازی به تعیین شرط مرزی در مرز محور نیست.





شرایط مرزی خارجی

شرط مرزی فن

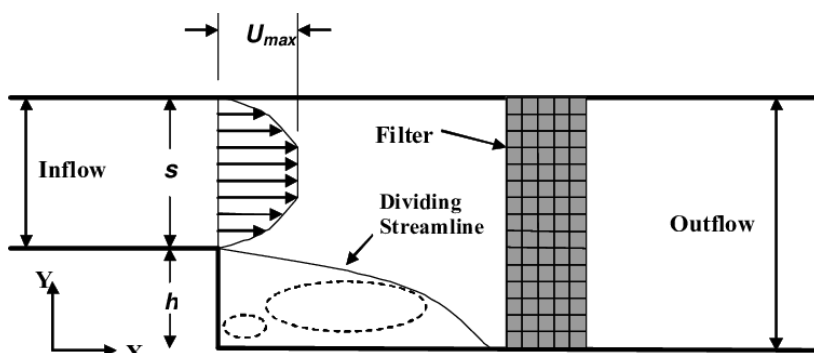
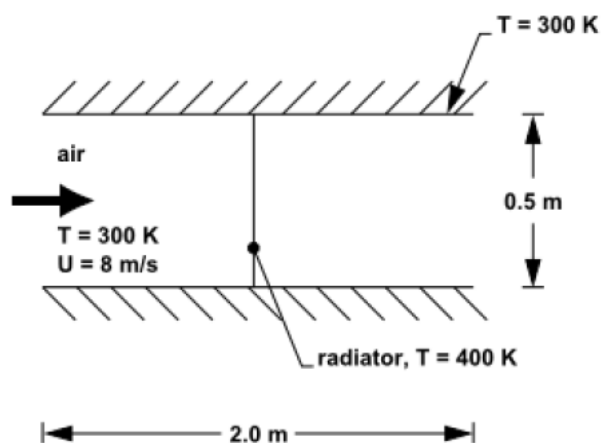
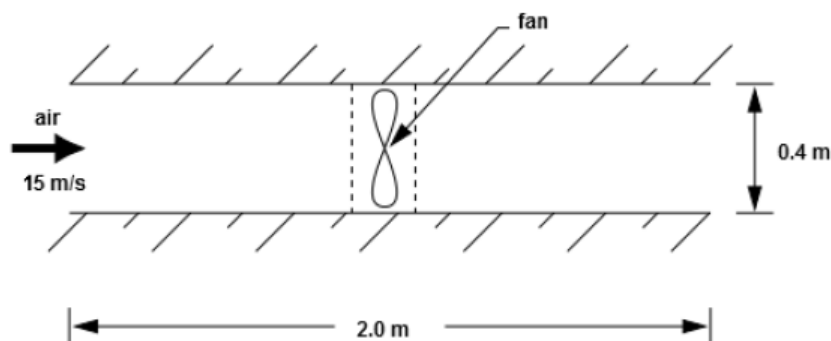
- ❖ امکان ورود منحنی تجربی فن که بر رابطه بین هد (افزایش فشار) و سرعت جریان (سرعت) در یک المان فن حاکم است.
- ❖ تغییر سرعت شعاعی و مماسی فن
- ❖ تخمین مقدار جریان عبوری از فن

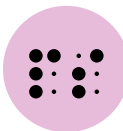
شرط مرزی تشعشع کننده

- ❖ امکان ورود افت فشار و ضریب انتقال حرارت به عنوان تابعی از سرعت عمود بر تشعشع کننده

شرط مرزی پرش متخلخل

- ❖ مدل یک "غشاء" نازک که مشخصات سرعت (افت فشار) دارد.
- ❖ یک ساده سازی یک بعدی با همگرایی بهتر از مدل محیط متخلخل
- ❖ برای مدلسازی افت فشار در فیلترها و صفحات





شرایط مرزی خارجی

شرط مرزی Interface

❖ توربوماشین : برای اتصال مناطق پره با مرزهای تناوبی یا غیر منطبق.

❑ Meshing Interface : میان فاصله لبه پره با Shroud

❑ General Turbo Interface : میان صفحات روتور و استاتور

➤ Mixing Plane Interface : با میانگین گیری محیطی فرض می کند

جریان پایا است.

➤ Pitch-scale : اعمال یک ضریب مقیاس را برای متغیرهای جریان.

➤ No Pitch-scale : هیچ ضریبی اعمال نمی شود.

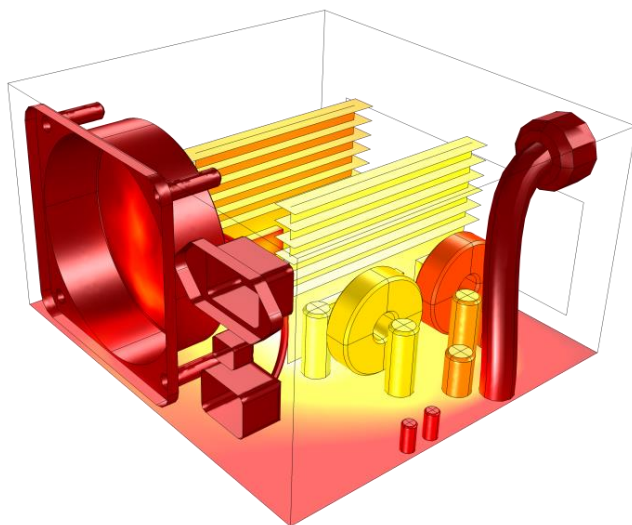
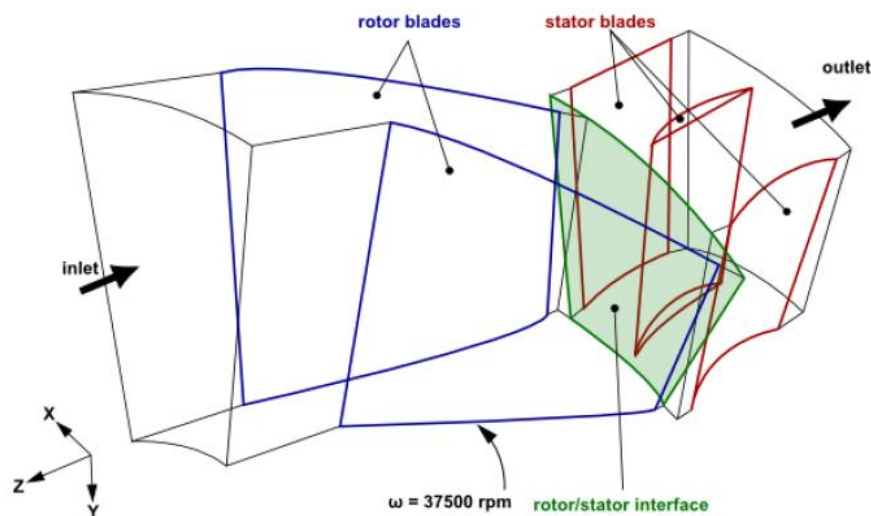
❖ Conjugate Heat Transfer : برای مدل سازی تبادل حرارت بین

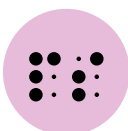
مناطق سیال و جامد.

❖ جریان چند فازی: برای ردیابی تعاملات بین فازهای مختلف.

❖ هندسه های پیچیده: برای سیستم هایی با وضوح شبکه های مختلف در

مناطق مختلف.





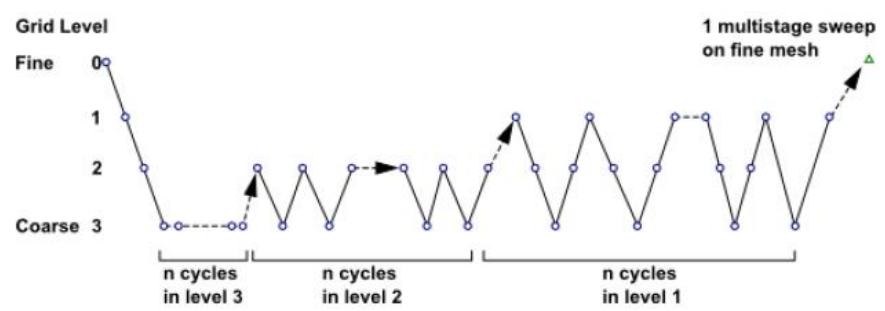
شرایط اولیه

Hybrid-initialization

- حل معادله لاپلاس جهت مطابقت یک میدان سرعت با دامنه هندسه‌های پیچیده
- و یک میدان فشار که مقادیر فشار بالا و پایین را در دامنه به هم متصل می‌کند.
- همه متغیرهای دیگر مانند دما، آشفتگی، VOF، گونه‌ها بر اساس مقادیر میانگین دامنه یا دستورالعمل از پیش تعیین شده اصلاح می‌شوند.

FMG*-initialization (Steady flow)

- درشت کردن شبکه‌بندی در چند مرحله و سپس شروع به حل از درشت‌ترین شبکه
- در هر مرحله پس از رسیدن به معیار دقت یا تعداد تکرار شبکه ریزتر می‌شود.
- حل هر مرحله به‌عنوان شرط اولیه مرحله بعد در نظر گرفته می‌شود.
- در نهایت شبکه اصلی حل می‌شود.
- برای جریان چندفازی استفاده نمی‌شود.
- متغیرهای میدان تلاطم یا دیگر معادلات انتقال را حل نمی‌کند.



Uniform

- اختصاص یک مقدار واحد برای تمام خصوصیات جریان در سراسر دامنه.
- کاربرد: شروع سریع برای مسائل ساده مانند جریان های تراکم ناپذیر حالت پایدار.

Patch-Based

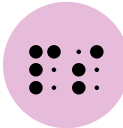
- مقادیر اولیه متفاوت برای مناطق مختلف.
- کاربرد: جریان های چند فازی یا پدیده های موضعی مانند شروع احتراق.

مبتنی بر حل‌های قبلی

- استفاده از حل‌های شبیه‌سازی قبلی به عنوان نقطه شروع
- کاربرد: افزایش سرعت همگرایی در مطالعات پارامتری یا گذرا.

*: FMG (Full Multigrid)

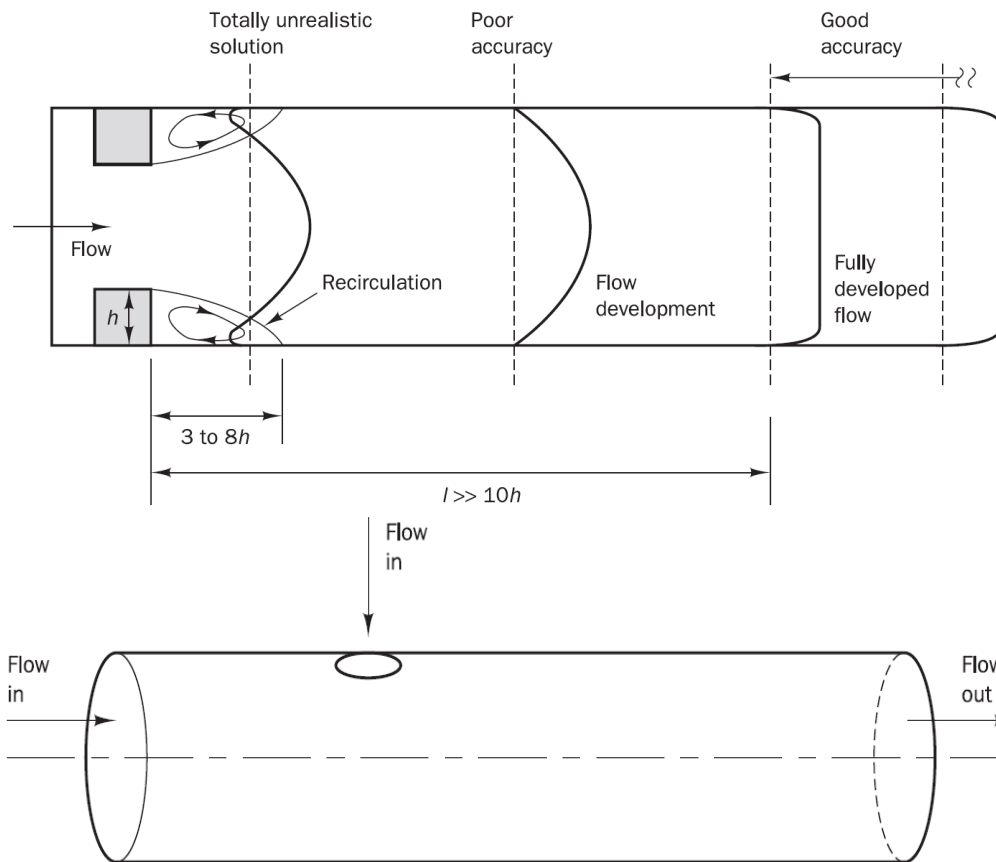




پیشنهادهات

➤ مرز فشار خروجی در ناحیه‌ای باید باشد که جریان برگشتی نباشد.

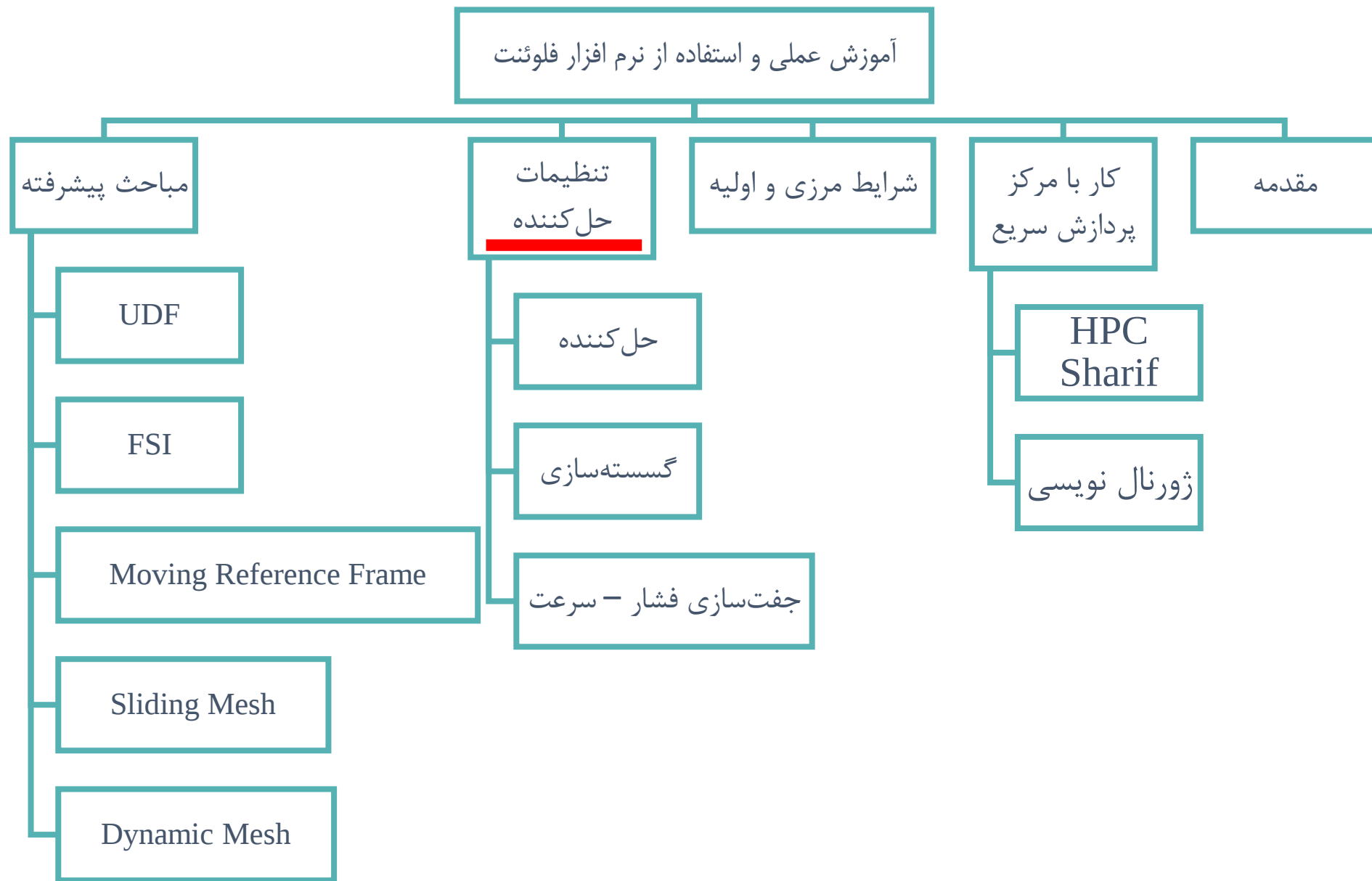
Pressure Outlet



❑ وضعیت جریان غیرمتقارن در یک هندسه استوانه‌ای
❑ نمی‌توان از شرط مرزی تقارن استفاده کرد.

- جریان‌های تراکم‌پذیر: ورودی جرم جریان و خروجی فشار
- ترکیب فشار ورودی و خروجی برای هر جریانی استفاده می‌شود.
- فشار ورودی و جریان خروجی امکان جواب یکتا ندارد.
- جرم ورودی و جریان خروجی تنها در جریان تراکم‌ناپذیر استفاده شود.
- سرعت در ورودی و خروجی همزمان استفاده نشود. اگر نرخ جریان‌ها ثابت نشود، سیستم امکان دارد به صورت عددی ناپایدار شود.







حل کننده فلوئنت

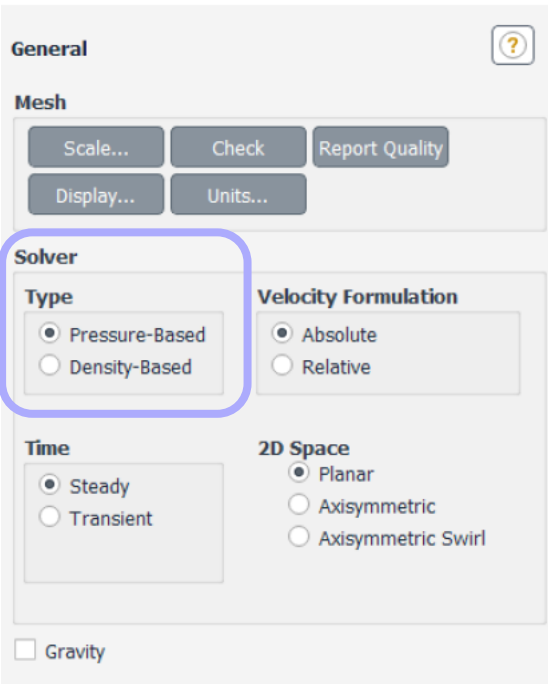
رویکردهای مبتنی بر فشار و چگالی در روش حل معادلات پیوستگی، تکانه و در صورت لزوم انرژی و گونه متفاوت است.

Pressure-based Solver

- ✓ برای جریان‌های تراکم‌ناپذیر و کم‌تراکم‌پذیر
- ✓ دارای دو الگوریتم Segregated و Coupled که تفاوت آنها در ترتیب حل معادلات است.
- ✓ در الگوریتم اول معادلات به‌طور متوالی حل شده و الگوریتم دوم معادلات با هم حل می‌شوند.
- ✓ روش دوم همگرایی سریع‌تر ولی نیاز به حافظه بیش‌تری دارد.

Density-based Solver

- ✓ برای جریان‌های تراکم‌پذیر با سرعت بالا
- ✓ دارای دو فرمول‌بندی صریح و ضمنی که تفاوت آنها در خطی‌سازی معادلات است.
- ✓ حل فرمول‌های صریح و ضمنی معادلات اسکالره‌ای اضافی مانند کمیت‌های تلاطم یا تشعشع را به‌طور متوالی
- ✓ حل ضمنی همگرایی سریع‌تر ولی نیاز به حافظه بیش‌تری دارد.





تنها با حل کننده مبتنی بر فشار

- ☐ Cavitation model
- ☐ Volume-of-fluid (VOF) model
- ☐ Multiphase mixture model
- ☐ Eulerian multiphase model
- ☐ Non-premixed combustion model
- ☐ Premixed combustion model
- ☐ Partially premixed combustion model
- ☐ Composition PDF transport model
- ☐ Soot model
- ☐ Rosseland radiation model
- ☐ Melting/solidification model
- ☐ Shell conduction model
- ☐ Floating operating pressure
- ☐ Fixed variable option
- ☐ Physical velocity formulation for porous media
- ☐ Specified mass flow rate for streamwise periodic flow

تنها با حل کننده مبتنی بر چگالی

- ❖ Wet steam multiphase model





گسسته سازی مکانی فلوئنت

- ☐ Green-Guass Cell Based
- ☐ Green-Guass Node Based
- ☐ Least Squares Cell Based

شبیه سازی جریان ساده

مانند جریان درون لوله یا داکت

۱. حل با دقت مرتبه ۱ نتایج خوبی ارائه می دهد.

شبیه سازی جریان پیچیده (با مشکل همگرایی)

مانند شبیه سازی جریان با عدد ماخ بالا

۱. حل با دقت مرتبه ۱ در تکرارهای اولیه به دلیل

همگرایی بالاتر

۲. پس از همگرایی مناسب، ادامه حل با دقت مرتبه

۲ برای نتایج با دقت بالاتر

۱. انسیس فلوئنت مقادیر گسسته اسکالر را در مرکز سلول ذخیره می کند.

۲. مقدار متغیر بر روی صفحات به دلیل ترم های جابه جایی باید مشخص باشد.

۳. مقادیر بر روی صفحات با روش پادبادسو (Upwind) میان یابی می شوند.

۴. از مقادیر سلول های بالادست جهت اصلی جریان استفاده می شود.

❖ ترم پخش با تفاضل مرکزی محاسبه شده و همیشه مقیاس دقت آن درجه ۲ است.

☐ فلوئنت گسسته سازی ترم هایی جابه جایی برای هر معادله را جداگانه مشخص می کند.

دقت مرتبه یک نسبت به دقت مرتبه ۲

☐ دقت مرتبه ۱ همگرایی راحت تری نسبت به مرتبه ۲ دارد.

☐ در شبکه هایی که جریان موازی شبکه ها است دقت مرتبه ۱ می تواند نتایج خوبی ارائه دهد.

☐ در شبکه های مثلثی یا هرمی دقت مرتبه ۱ عملکرد خوبی ندارد.

☐ در کل دقت مرتبه ۲ نتایج با دقت بهتری ارائه می دهد ولی مقداری مشکل همگرایی دارد.



گسسته سازی مکانی فلوئنت

ترکیب دقت مرتبه یک تا دقت مرتبه بالاتر

۱. دقت مرتبه بالا مشکل همگرایی و دقت مرتبه پایین مشکل دقت دارند.

۲. می توان از ترکیب هر دو جهت رسیدن به حالتی بهینه استفاده کرد.

۳. در قسمت (fluent) text command: numerics → set → solve

۴. وارد کردن مقداری بین ۰ تا ۱ (صفر دقت مرتبه ۱ و ۱ بالاترین دقت انتخابی در نرم افزار)

روش های دیگر

❖ QUICK و Third-order MUCSL : امکان ارائه دقت بالاتر نسبت به مرتبه ۲ در

جریان های چرخش حول محور

❖ QUICK : کاربردی برای شبکه های چهارضلعی یا شش وجهی

❖ MUCSL : کاربردی برای تمام شبکه ها

در گسسته سازی ضمنی برای حلگر مبتنی بر فشار تمام متغیرها در حالت جدید محاسبه می شوند.

$$\oint \rho^{n+1} \phi^{n+1} \vec{v}^{n+1} \cdot d\vec{A}$$

$$\oint \rho^n \phi^{n+1} \vec{v}^n \cdot d\vec{A}$$

در این حالت جرم در ترم همرفت از تکرار قبلی جایگذاری می شود.



میان یابی فشار در فلوئنت

همزمان نمی توان از NITA و HOTR استفاده کرد.

NITA : در حل عادی یک حلقه تکرار بیرونی از باقیمانده ها به اول مسئله وجود دارد.
در این حالت حلقه های تکرار درونی در هر مرحله مانند تکانه، فشار، آشفتگی وجود دارد که باعث افزایش سرعت حل می شود.

Pressure-based Solver

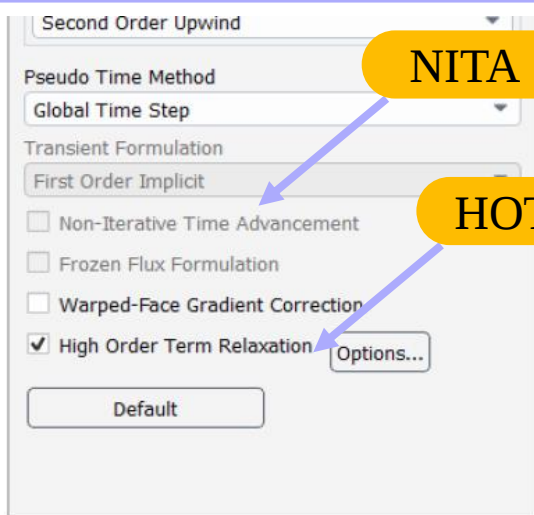
- ✓ Second-order: در اکثر مدل های تک فاز کاربردی است.
- ✓ PRESTO!: چرخش زیاد، عدد رایلی بالا در همرفت طبیعی، جریان با سرعت چرخش بالا، جریان در هندسه های بسیار منحنی
- ✓ Body Force Weighted: مسائل مربوط به نیروهای بزرگ بدنه

HOTR

- ❖ بهبود راه اندازی و رفتار راه حل کلی شبیه سازی های جریان زمانی که از گسسته سازی های مکانی مرتبه بالاتر (بالاتر از اول) استفاده می شود.
- ❖ می تواند از Convergence stalling جلوگیری کند.
- ❖ کاهش تعامل کاربرد با شبیه سازی
- ❖ جایگزین مؤثر برای شروع از دقت مرتبه اول و سپس تغییر به دقت مرتبه دوم گسسته سازی

NITA

HOTR



Convergence stalling : باقیمانده ها (خطاها در معادلات) یا سایر شاخص های پیشرفت حل دیگر آنطور که انتظار می رود کاهش نمی یابند.





Under-Relaxation

Under-Relaxation of Variables in NITA

Solution Controls ?

Flow Courant Number
200

Explicit Relaxation Factors

Momentum 0.75

Pressure 0.75

Under-Relaxation Factors

Density
1

Body Forces
1

در دو حلگر در شرایط non-Coupled

- ❖ جهت کنترل مقادیر محاسبه شده به روز شده در هر تکرار
- ❖ در فلوئنت مقادیر پیش فرض UR برای اکثر مسائل در حالت بهینه هستند.
- ❖ در مسائل پیچیده با همگرایی سخت بهتر هست مقادیر UR کاهش یابند.
- ❖ پیشنهاد: شروع با پیش فرض، اگر باقیمانده کاهش نیافت، مقادیر UR کم شوند.
- ❖ پیشنهاد: ذخیره کردن فایل داده ها در صورت تصمیم به تغییر مقادیر UR در حین شبیه سازی

$$\phi = \phi_{old} + \alpha \Delta \alpha$$

Under-Relaxation of Equations

- ❖ به عنوان implicit relaxation شناخته می شود.
- ❖ در حلگر مبتنی بر فشار برای پایداری رفتار همگرایی تکرارهای غیرخطی بیرونی با وارد کردن مقادیر انتخابی در سیستم معادلات گسسته استفاده می شود.

$$\frac{a_p \phi}{\alpha} = \sum_{nb} a_{nb} \phi_{nb} + b + \frac{1 - \alpha}{\alpha} a_p \phi_{old}$$

❖ معادل گام زمانی مخصوص مکانی است.

$$\frac{1 - \alpha}{\alpha} = \frac{1}{CFL}$$

- ❖ در الگوریتم Coupled ، CFL برابر است با:



روش‌های جفت‌سازی فشار – سرعت (حل کننده مبتنی بر فشار)

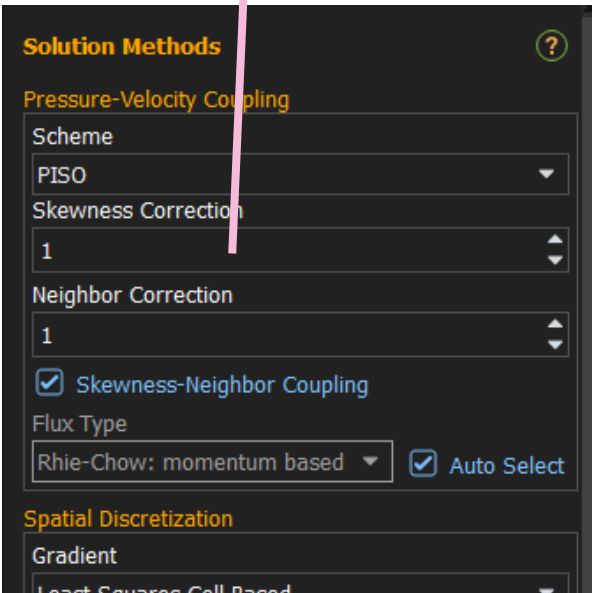
SIMPLE VS SIMPLEC

- ❖ در روش SIMPLEC ضریب UR فشار برابر ۱ قرار داده شده که باعث افزایش سرعت همگرایی می‌گردد.
- ❖ برای شبکه‌های با Skewness بالا ضریب ۱ باعث ناپایداری حل شده که بهتر است از SIMPLE و یا ضریب کم‌تر از ۱ برای فشار استفاده کرد.
- ❖ برای جریان‌های پیچیده در صورت وابستگی همگرایی حل به نحوه جفت‌سازی فشار – سرعت، روش SIMPLEC همگرایی بهتری دارد.
- ❖ اگر یک متغیر دیگر در مدلسازی همگرایی حل را محدود کرد، حل این دو روش تفاوتی با یکدیگر ندارد.

PISO

- ❖ کاربردی در حل‌های گذرا مخصوصاً هنگام استفاده از گام زمانی بزرگ
- ❖ محاسبات پایدار با در نظر گرفتن مقدار ۱ برای ضریب UR فشار و تکانه
- ❖ پیشنهاد: برای شبکه‌های با Skewness بالا بهتر است، Skewness Correction فعال شود.
- ❖ پیشنهاد: برای حل‌های گذرا بهتر است، Neighbor Correction فعال شود.
- ❖ Skewness-Neighbor Coupling: حل اقتصادی‌تر ولی در شبکه‌های کیفیت پایین امکان واگرایی بیش‌تر

مقدار صفر غیرفعال می‌شود.





روش‌های جفت‌سازی فشار – سرعت (حل کننده مبتنی بر فشار)

Fractional-Step Method

- ❖ معادلات تکانه از پیوستگی جدا شده‌اند.
- ❖ این روش در حالت NITA فعال است.
- ❖ مقداری نسبت به روش PISO هزینه محاسباتی کمتری دارد.
- ❖ در بعضی مسائل مانند VOF این روش نسبت به PISO ناپایدارتر است.

Coupled

- ❖ حل Robust است و کارکرد بهینه در مسائل تک فاز پایا دارد.
- ❖ حالت NITA غیرفعال است.
- ❖ جریان‌های فراصوت و هایپرسونیک
- ❖ جریان آشفته با رینولدز بالا
- ❖ موتور احتراق داخلی
- ❖ ماشین آلات دوار

Solution Methods ?

Pressure-Velocity Coupling

Scheme
Fractional Step

Flux Type
Rhie-Chow: momentum based ☒ Auto Select

Spatial Discretization

Gradient
Least Squares Cell Based

Pressure
Second Order

Momentum
Second Order Upwind

Pseudo Time Method
Off

Transient Formulation
First Order Implicit

☒ Non-Iterative Time Advancement

☐ Frozen Flux Formulation





حل کننده مبتنی بر چگالی

Courant number

Task Page

Solution Controls ?

Courant Number: 1 Multigrid Levels: 0

Residual Smoothing

Iterations: 0

Default

Equations... Limits... Advanced...

❖ مقدار گام زمانی بر اساس عدد کورانت محاسبه می شود. $\Delta t = \frac{2 CFL V}{\sum_f \lambda_f^{max} A_f}$

❖ V حجم سلول، A مساحت، λ_f^{max} بزرگترین مقدار ویژه

❖ برای حل پایا از روش Local time stepping استفاده می شود.

❖ طبق این روش، حل در هر حجم کنترلی با توجه به مرحله زمانی سلولی در زمان پیشرفت می کند.

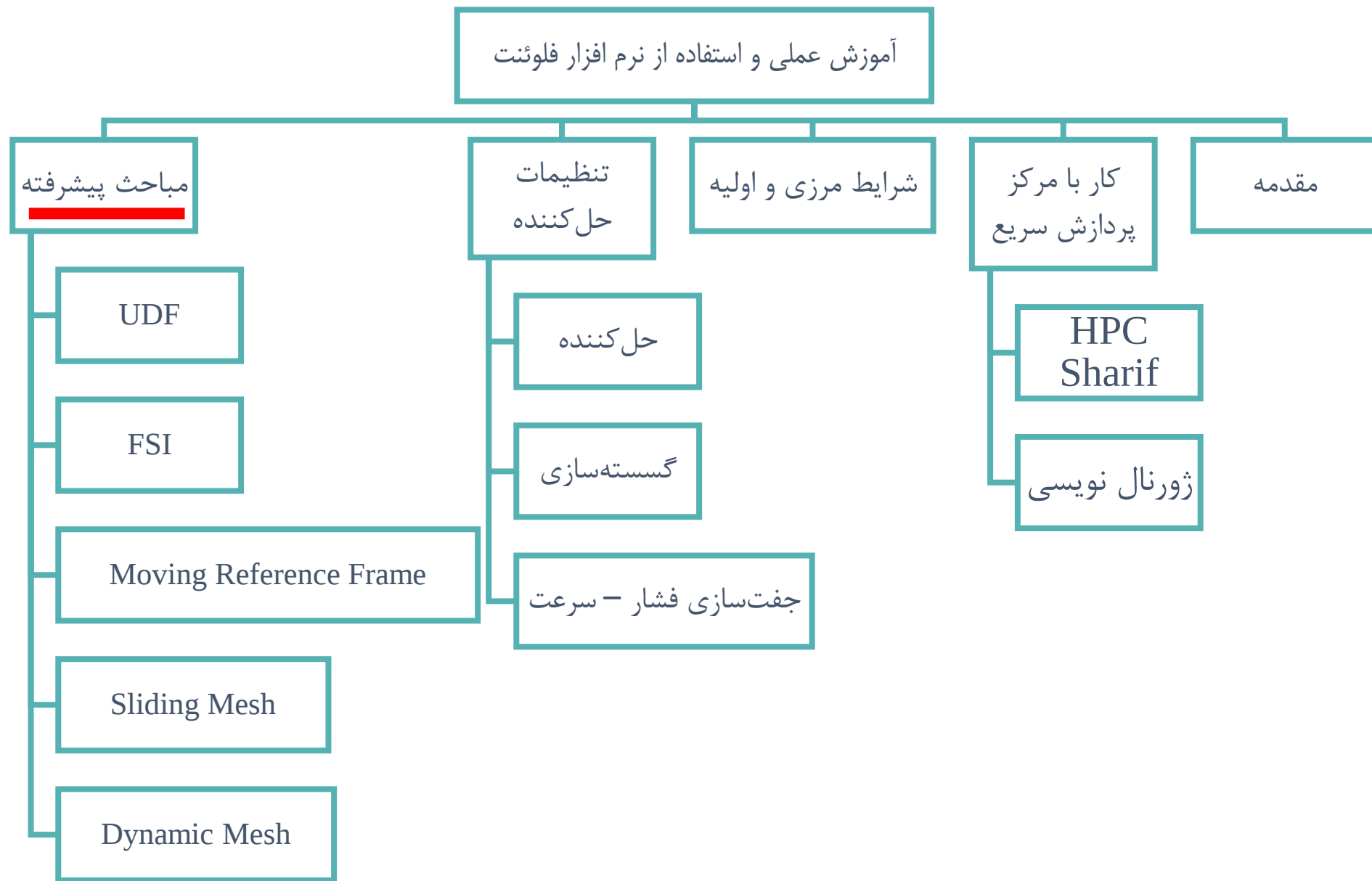
❖ Residual Smoothing : افزایش محدودیت های پایداری طرح time-stepping و امکان استفاده از یک مقدار CFL بزرگ تر برای دستیابی به همگرایی سریع

❖ برای حل صریح مقدار ۱ پیش فرض است. مقدار بیش تر از ۲ توصیه نمی شود.

❖ اگر باقیمانده ها به شدت واگرا می شدند، عدد کورانت را کاهش دهید.

❖ حل ضمنی بی قید و شرط پایدار است. عدد کورانت می تواند تا ۱۰۰ و یا بیش تر باشد ولی احتمال دارد جواب ها به شدت غیرخطی شوند.







توابع تعریف شده کاربر (UDF) در فلوئنت

UDF : یک تابع C یا C++ است که می تواند به صورت پویا با حل کننده Ansys Fluent بارگذاری شود تا قابلیت های آن را افزایش دهد.

Macro : یک قانون یا الگو است که مشخص می کند چگونه یک ورودی خاص باید به یک خروجی جایگزین نگاشت شود.
ماکرو مثل یک "میانبر هوشمند" است که به شما اجازه می دهد با یک دستور ساده، کارهای پیچیده یا طولانی را انجام دهید.

Compiler : یک برنامه کامپیوتری است که کدهای کامپیوتری نوشته شده در یک زبان برنامه نویسی (زبان مبدأ) را به زبان دیگر (زبان مقصد) ترجمه می کند.

Compiled

به یک کامپایلر C نیاز دارد // عملکرد بهتری ارائه می دهد //
ایجاد و کامپایل کتابخانه های UDF در فلوئنت

Interpreted

بدون نیاز به کامپایلر خارجی // بارگذاری مستقیم در
فلوئنت // اجرای کمی کندتر

برخی کاربردهای UDF

شرایط مرزی: پروفیل های سرعت سفارشی، توزیع دما یا شرایط فشار.

ترم های منبع: منابع گرما، جرم یا تکانه اضافی.

خواص مواد: خواص وابسته به دما یا فشار.

حرکت شبکه: شبکه پویا یا حرکت مشخص شده توسط کاربر.

پس پردازش: محاسبه پارامترهای خاص در طول شبیه سازی.





اصطلاحات شبکه و نوع داده‌ها

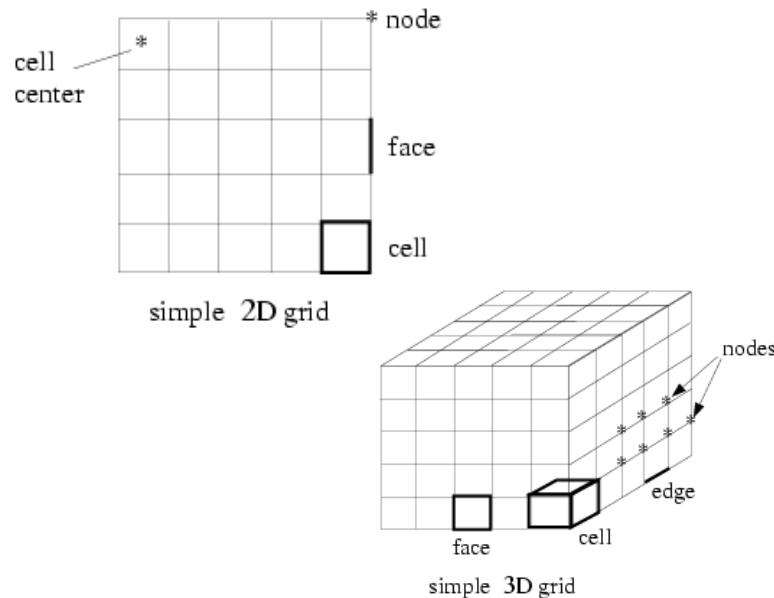
شبکه

۱. اکثر توابع UDF با Solver فلوئنت به داده‌ها دسترسی دارند.

۲. داده‌ها با توجه به جزئیات شبکه تعریف می‌شوند.

۳. شبکه به حجم کنترل یا سلول‌ها شکسته شده و هر سلول از تعدادی گره، مرکز سلول و صفحاتی که دور آن را در بر گرفته، تشکیل شده‌است.

۴. استفاده فلوئنت از Internal Data Structure جهت تعریف دامنه شبکه، ترتیب‌بندی سلول‌ها، صفحات و گره‌ها و برقراری ارتباط میان سلول‌های مجاور



نوع داده‌ها

❖ Node: یک نوع داده ساختاری که داده‌های مرتبط با یک نقطه شبکه را ذخیره می‌کند.

❖ Face_t: یک نوع داده عدد صحیح که یک Face خاص را در یک Face Thread مشخص می‌کند.

❖ Cell_t: یک نوع داده عدد صحیح که یک Cell خاص را در یک Cell Thread شناسایی می‌کند.

Thread

❑ Thread: یک ساختار داده در انسیس فلوئنت که برای ذخیره اطلاعات مربوط به یک مرز یا منطقه سلولی استفاده می‌شود.

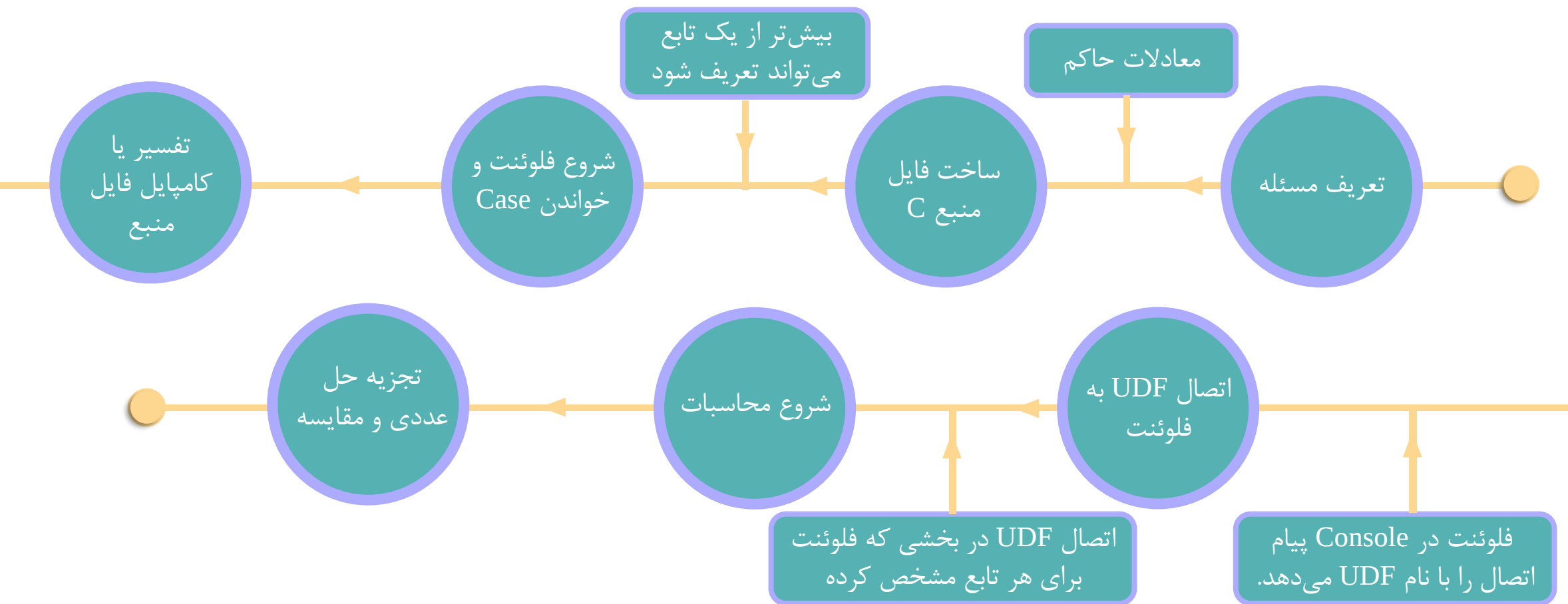
❑ هر مرز یا منطقه سلولی که در مدل انسیس فلوئنت خود در کادر شرایط مرزی تعریف می‌کنید، یک Zone ID عدد صحیح دارد که با داده‌های موجود در منطقه مرتبط است.

❑ در انسیس فلوئنت اصطلاح Thread را در یک کادر مشاهده نمی‌کنید، بنابراین می‌توانید یک Zone را مانند ساختار داده Thread در هنگام برنامه‌نویسی UDF در نظر بگیرید.





مراحل پیاده سازی UDF





```
/*
*****
udfexample.c
UDF for specifying steady-state velocity profile boundary condition
*****
#include "udf.h"

DEFINE_PROFILE(inlet_x_velocity, thread, position)
{
    real x[ND_ND]; /* this will hold the position vector */
    real y, h;
    face_t f;
    h = 0.016; /* inlet height in m */
    begin_f_loop(f, thread)
    {
        F_CENTROID(x, f, thread);
        y = 2.*(x[1]-0.5*h)/h; /* non-dimensional y coordinate */
        F_PROFILE(f, thread, position) = 0.1*(1.0-y*y);
    }
    end_f_loop(f, thread)
}
*/
```

نام UDF

در ابتدای نام عدد نباید باشد.

هنگامی که UDF را به یک مرز خاص در رابط کاربری گرافیکی فلوئنت متصل می‌کنید، Thread به طور خودکار تعریف می‌شود.

Macro

برای حلقه زدن تمام صفحات سلول در منطقه

مختصات مرکز صفحه

پروفیل سرعت





تعامل ساختار و سیال (یک طرفه)*

روش اعمال

1. Imported Loads in Mechanical
2. Coupling in Workbench
3. Intrinsic FSI within Fluent

- ❖ نتایج شبیه‌سازی CFD مانند ۱. فشار، نیرو، ۲. دما، ۳. بار (Load) همرفت و ۴. جریان گرمایی در ناحیه ارتباط سیال و ساختار به‌عنوان بار به مدل مکانیکی منتقل می‌شوند.
- ❖ نتایج جابجایی‌ها یا دماها به تحلیل CFD بازگردانده نمی‌شوند.
- ❖ این روش زمانی مفید است که ساختار مکانیکی تأثیر چندانی بر روی جریان نداشته باشد.

۲. دما

نتایج دما تحلیل انتقال حرارت CFD به‌عنوان ورودی بار بدنه در ساختار یا آنالیز LS-DYNA** برای تعیین جابجایی و تنش‌های ناشی از حرارت عمل می‌کنند.

۳. جریان گرمایی

نتایج جریان گرمایی تحلیل انتقال حرارت CFD به‌عنوان ورودی شرط مرزی جریان گرمایی یا دما در آنالیز حرارتی بر ساختار عمل می‌کنند.

۱. فشار، نیرو

نتایج فشار و نیرو تحلیل CFD به‌عنوان ورودی فشار عمودی و نیروی وارده بر ساختار عمل می‌کنند.

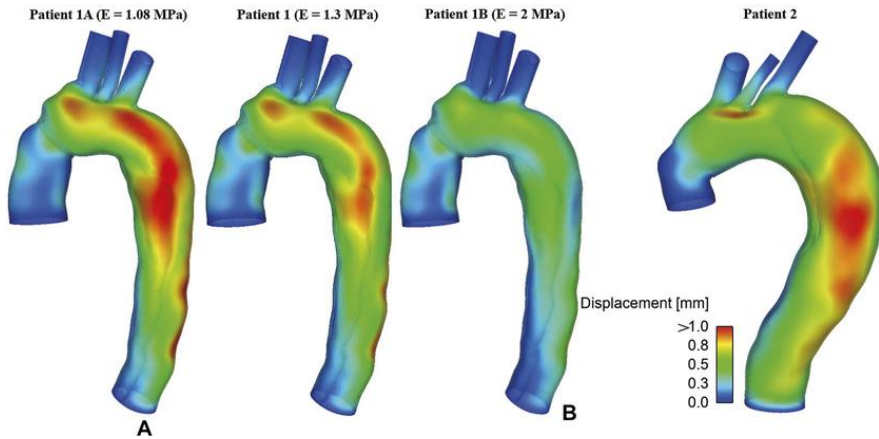
۳. بار همرفت

نتایج همرفت تحلیل انتقال حرارت CFD به‌عنوان ورودی شرط مرزی همرفت در آنالیز حرارتی بر ساختار عمل می‌کنند.

*:One-Way Fluid Structure Interaction
**: تحلیل دینامیکی و غیرخطی



تعامل ساختار و سیال (دو طرفه)



✓ نتایج جابجایی‌ها یا دماها به تحلیل CFD به‌عنوان بار (Load) بازگردانده می‌شوند.

✓ این روش زمانی مفید است که جابه‌جایی‌ها و اختلاف‌هایی دمایی ساختار مکانیکی تأثیر زیادی بر روی جریان داشته باشند.

✓ تحلیل‌ها به طور مکرر حلقه زده می‌شوند تا زمانی که تعادل کلی بین حل مکانیکی و حل CFD حاصل شود.

✓ جابه‌جایی مکانیکی باعث تغییر شبکه در تحلیل CFD می‌شود. به‌همین دلیل نیاز به Dynamic Meshing است.

Ansys

Fluent ↔ Mechanical Workbench System Coupling CFX ↔ Mechanical

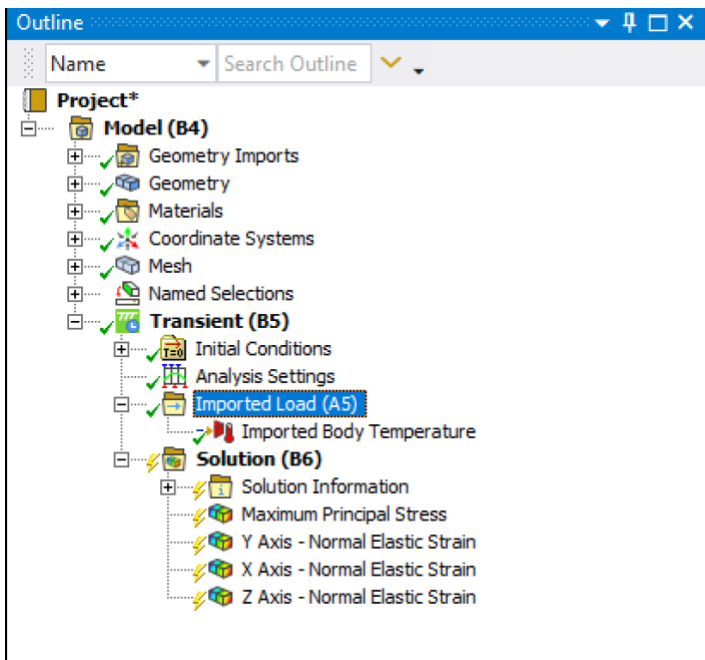
➤ در نرم‌افزار مکانیک مشخصات قسمتی از ساختار که ثابت یا گذرا است و محل interface با سیال تعیین می‌شود.

➤ انجام شبیه‌سازی CFD

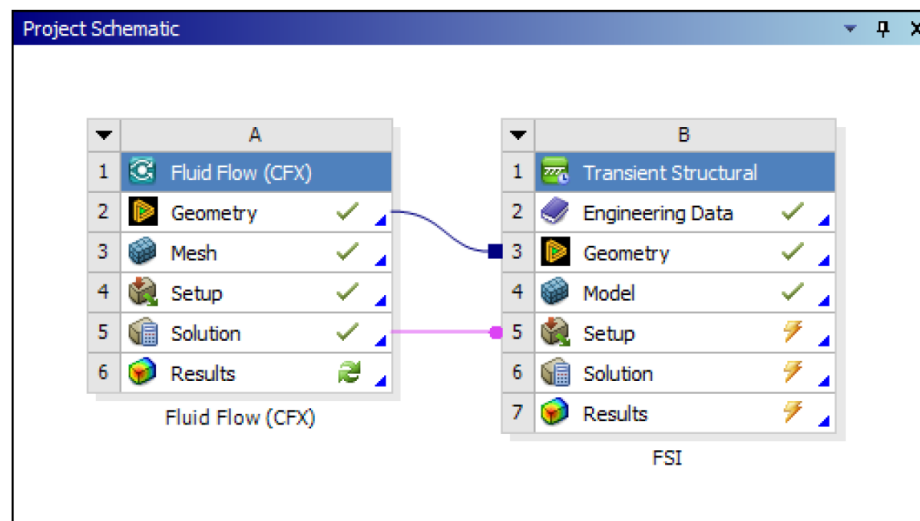
➤ مشاهده نتایج ساختار در نرم‌افزار مکانیک



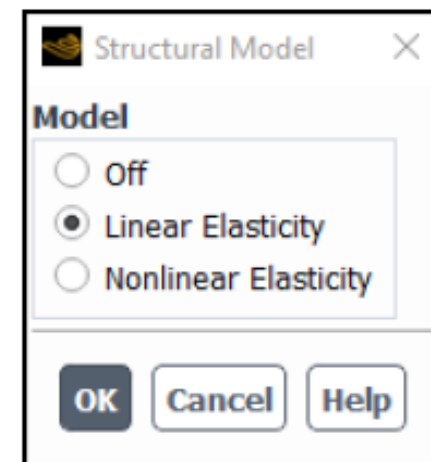
تعامل ساختار و سیال (Workbench)



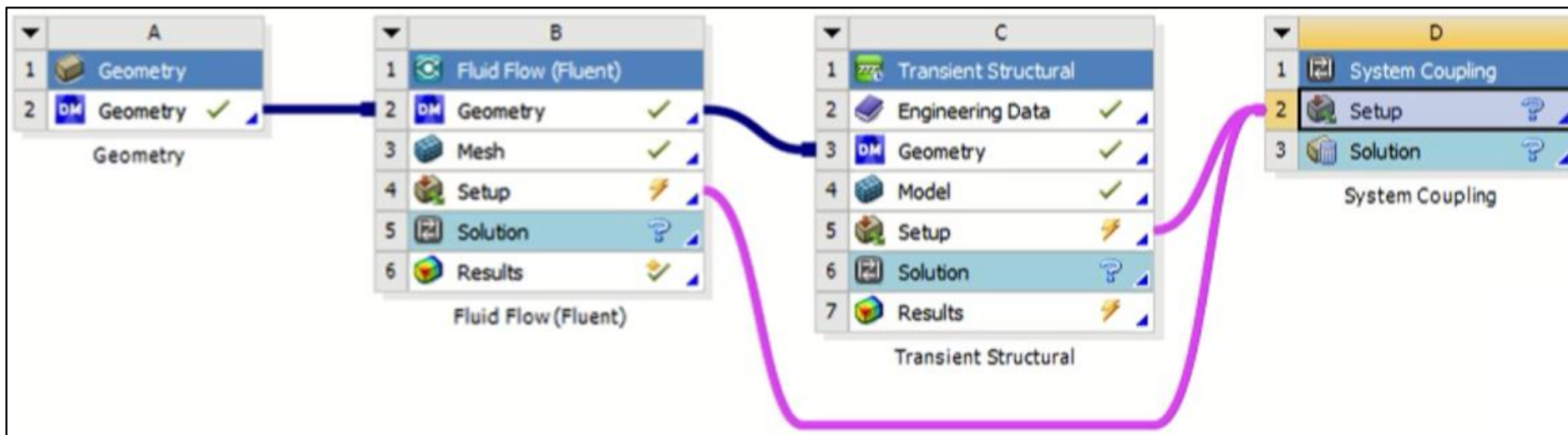
One-Way FSI (Imported Loads)



One-Way FSI (Coupling)



Intrinsic FSI (Within Fluent)



Two-Way FSI (Coupling)



چارچوب مرجع متحرک

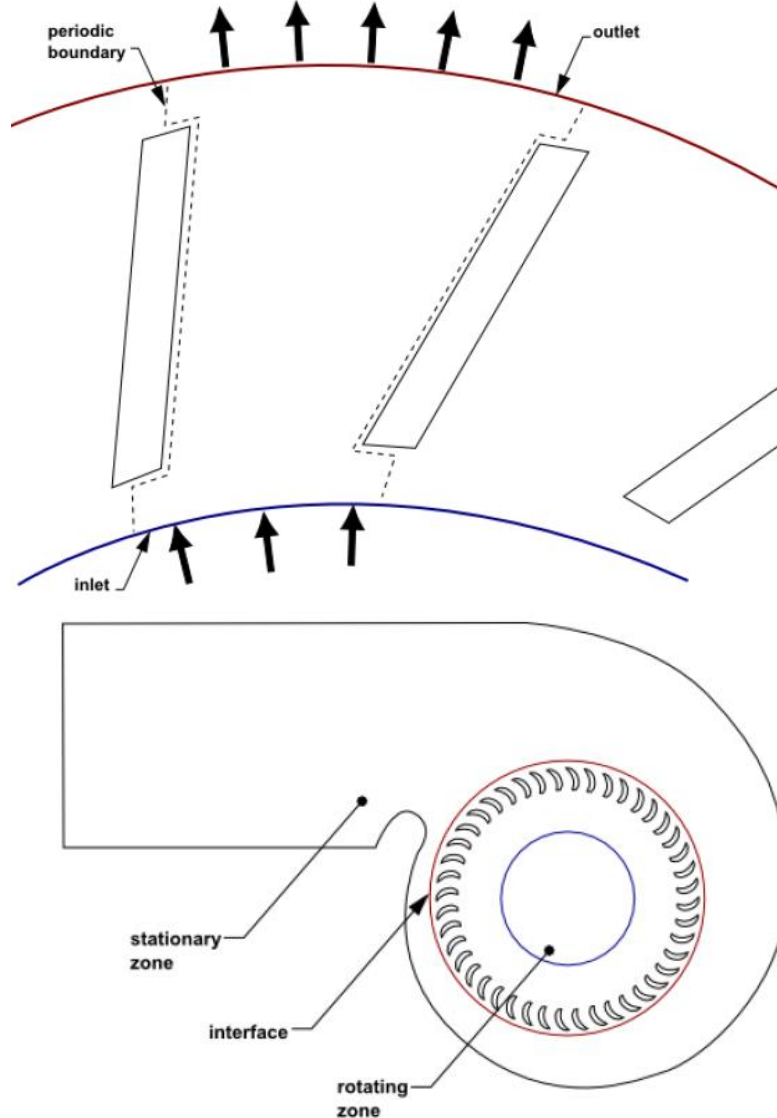
- ❑ مسائل زیادی وجود دارد که در آنها حل معادلات در یک چارچوب مرجع متحرک (یا غیر اینرسی) بهینه است.
- ❑ این مسائل معمولاً شامل قطعات متحرک مانند تیغه‌های چرخان، پروانه‌ها و انواع مشابه سطوح متحرک می‌باشند.
- ❑ هدف تحلیل جریان حول قطعات متحرک است.
- ❑ با تغییر مرجع می‌توان مسئله گذرا را به مسئله پایا تبدیل کرد.

✓ با فعال کردن moving reference frame در ناحیه هدف ترم‌های شتاب به دلیل انتقال از مرجع ثابت به متحرک به معادله حرکت اضافه می‌شوند.

✓ مسئله دارای یک ناحیه SRF یا در شرایط پیچیده تقسیم به چند ناحیه ثابت و متحرک MRF

✓ اگر تعامل گذرا میان قسمت ثابت و متحرک مهم است، می‌توان از Sliding mesh جهت تحلیل رفتار گذرا جریان استفاده کرد.

SRF (Single Reference Frame)



MRF (Multiple Reference Frame)

دانشگاه صنعتی شریف



چارچوب مرجع متحرک

قوانین فلوئنت

- ☐ دوبعدی : محور چرخان Z
- ☐ دوبعدی تقارن محوری: محور چرخان X
- ☐ سه بعدی : محدودیتی ندارد.

- ☐ در شرایط چرخش چارچوب متحرک با سرعت ثابت نیز می توان شرایط گذرا داشت.
- ☐ به عنوان مثال ریزش گردابه (Vortex shedding) از تیغه چرخان یک فن که این پدیده به دلیل بی ثباتی طبیعی است و نه به دلیل تعامل با یک ناحیه ثابت.

SRF

✓ دیوارها در SRF هر هندسه ای می توانند داشته باشند.

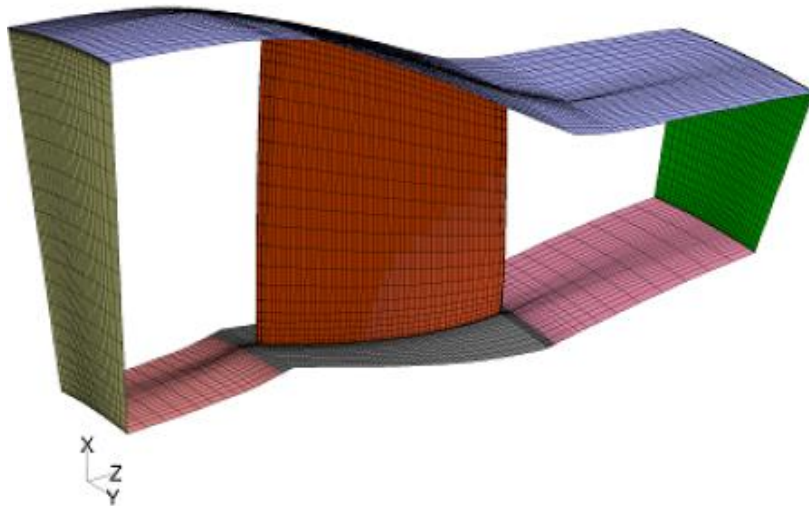
☐ سرعت نسبی صفر بر سطوح پره های پمپ با شرط مرزی بدون لغزش

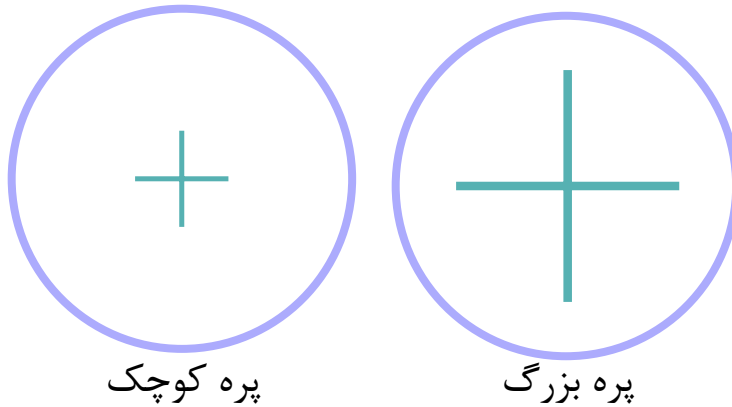
✓ تعیین دیوارهای ثابت نسبت به مرجع ثابت در SRF (این دیوارها باید سطوح چرخش حول محور چرخشی باشند).

☐ شرط مرزی سرعت مطلق صفر بر روی سطوح تونل باد استوانه ای حول پره ی چرخان

✓ مرز تناوب چرخشی برای سطوحی که حول محور چرخش متناوب هستند می توان استفاده کرد.

☐ مدلسازی جریان عبوری از ردیف پره های یک توربوماشین

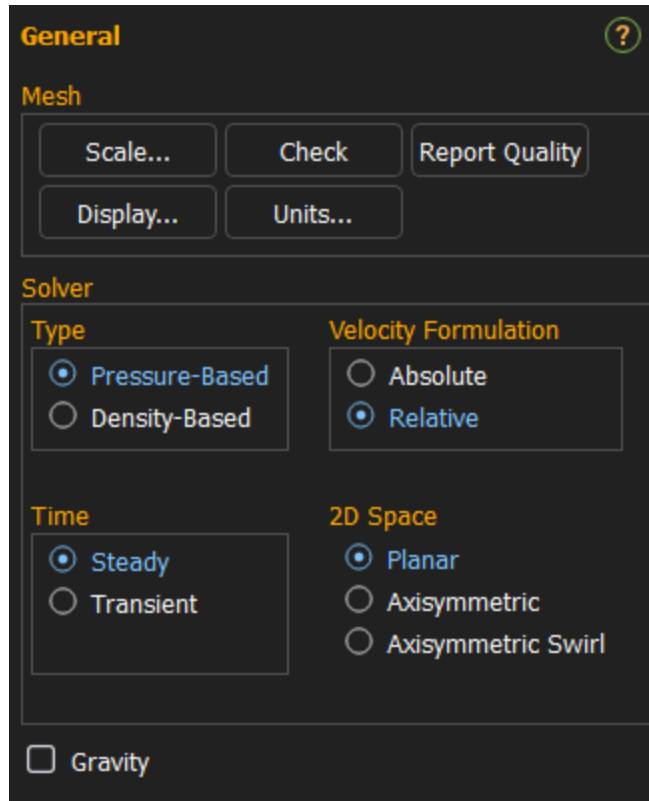




Velocity Formulation

Absolute : جریان در بیش‌تر دامنه حرکت نمی‌کند. مانند یک فن در یک اتاق بزرگ.

Relative : بیش‌تر سیال در دامنه در حال حرکت باشد. مانند یک پروانه بزرگ در یک مخزن اختلاط.



☐ در میان شبیه‌سازی نمی‌توان چارچوب را تغییر داد چون منجر به پرش در مقادیر خطا و متغیرها می‌شود.

☐ شرایط Relative تنها در حلگر مبتنی بر فشار در دسترس است.

☐ شرایط مرزی ورودی به نوع چارچوب وابسته هستند، اما شرایط مرزی فشار خروجی به نوع چارچوب وابسته نیست.

☐ تنها در شرایط جریان برگشتی در خروجی نوع چارچوب مهم می‌شود.

☐ در جریان‌هایی که سرعت چرخش بالا باعث گرادیان بالای فشار و جفت‌بودن بالای معادلات تکانه می‌شود: ابتدا حل با سرعت چرخش کم شروع و پس از همگرایی مناسب، سرعت چرخش زیاد شود.

مسائلی که شامل چندین قسمت متحرک یا سطوح ثابتی که حول محور چرخش یکسان نیستند.

✓ جداکردن چندین ناحیه سلول سیال/جامد، با مرزهای interface

❖ تفاوت MRF با Sliding mesh model (SMM) : MRF تقریب پایا ولی رویکرد SMM به دلیل جابه جایی شبکه ها با زمان ذاتاً گذرا است.

کاربرد

✓ توربوماشین : تعامل میان روتور و استاتور نسبتاً ضعیف باشد.

✓ مخزن اختلاط : فعل و انفعالات بافل پروانه نسبتاً ضعیف است. اثرات گذرا در مقیاس بزرگ وجود ندارد.

✓ محاسبه یک فیلد جریان به عنوان شرط اولیه استفاده از sliding mesh گذرا

Frozen rotor approach

□ در interface بین چارچوب ها، انتقال local reference frame انجام شده تا از متغیرها در یک ناحیه به عنوان شار در مرز ناحیه مجاور استفاده کند.

□ MRF حرکتهای نسبی را برای حل در نظر نمی گیرد و شبکه بندی برای محاسبات ثابت است. این شبیه به انجماد حرکت قسمت متحرک در یک موقعیت خاص و مشاهده میدان جریان لحظه ای با روتور در آن موقعیت است.

□ برای حل گذرا SMM نتایج معقول تری نسبت به MRF دارد.

Sliding mesh

✓ کاربرد: مرزهای ناحیه‌های جدا از هم در دامنه محاسباتی نسبت به هم حرکت خطی یا چرخشی دارند.

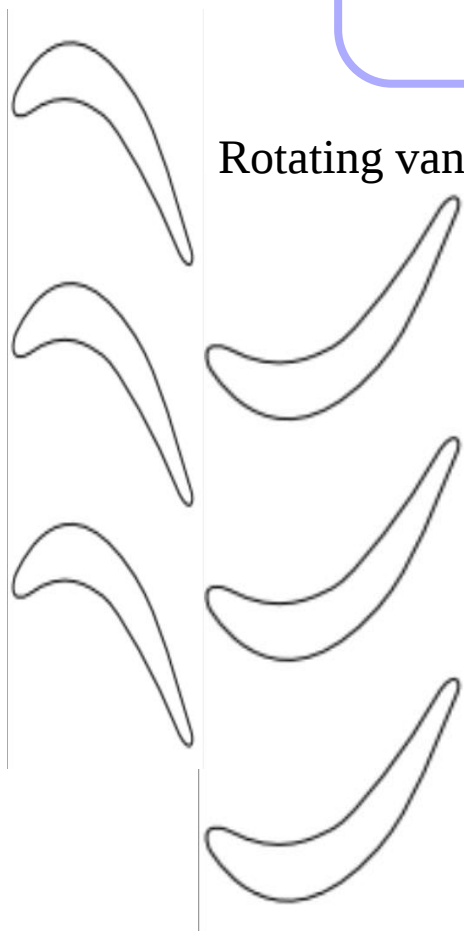
✓ شبکه‌بندی نسبت به زمان مطابق حرکت مرزها تنظیم می‌شود.

✓ ندهایی که به صورت Non-Conformal هستند اجازه حرکت بر روی یکدیگر را دارند.

Stationary vanes

Rotating vanes

flow



Direction
of motion

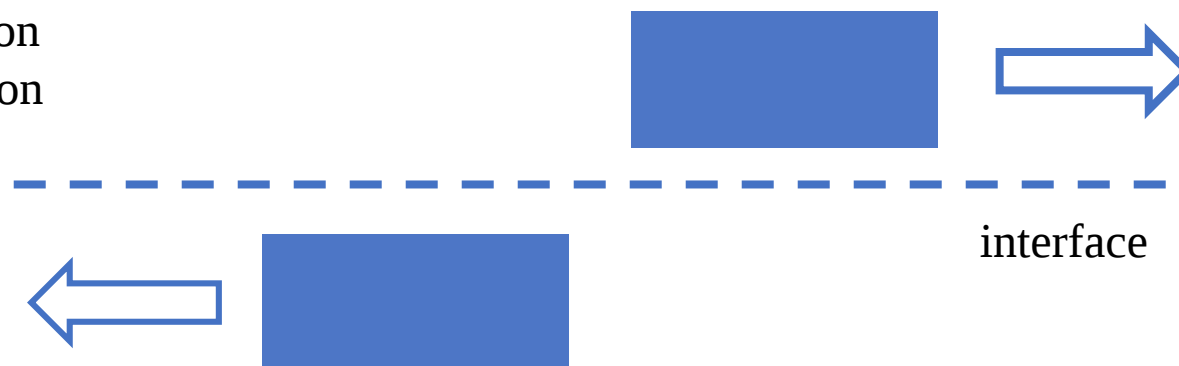


Sliding vs Dynamic mesh

❑ اکثر مسائل با هر دو رویکرد حل می‌شوند.

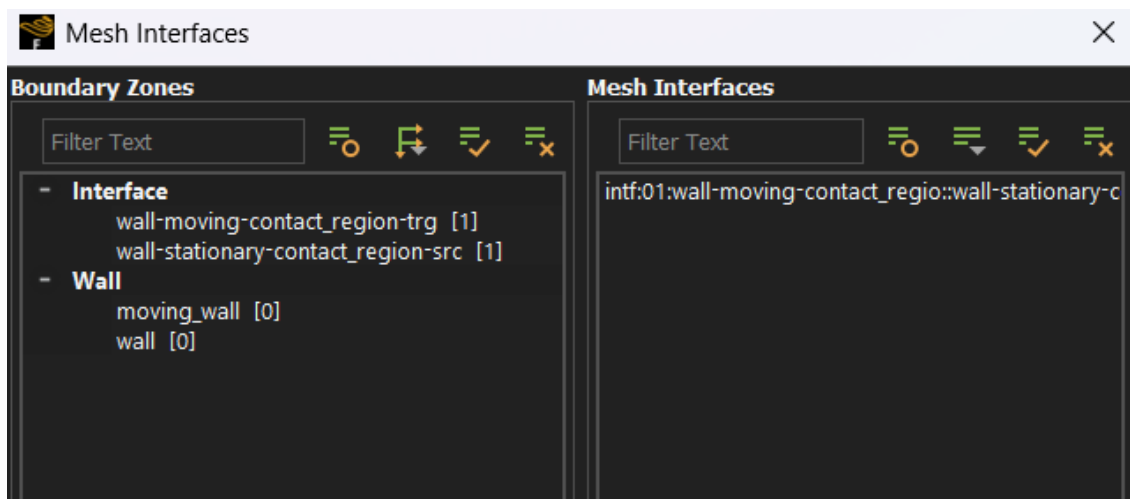
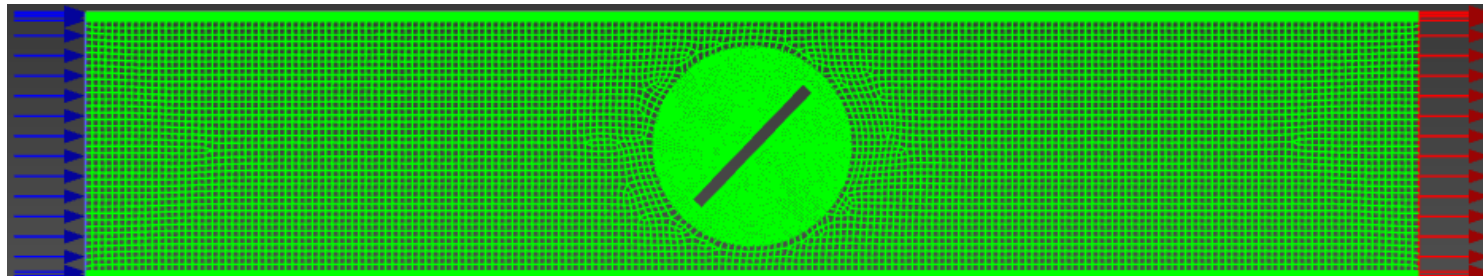
❑ مسئله شامل تغییر شکل شبکه نیست: sliding ساده و بهینه‌تر

❑ مسئله شامل تغییر شکل شبکه و یا وابستگی شبکه به حل مانند 6 DOF Dynamic



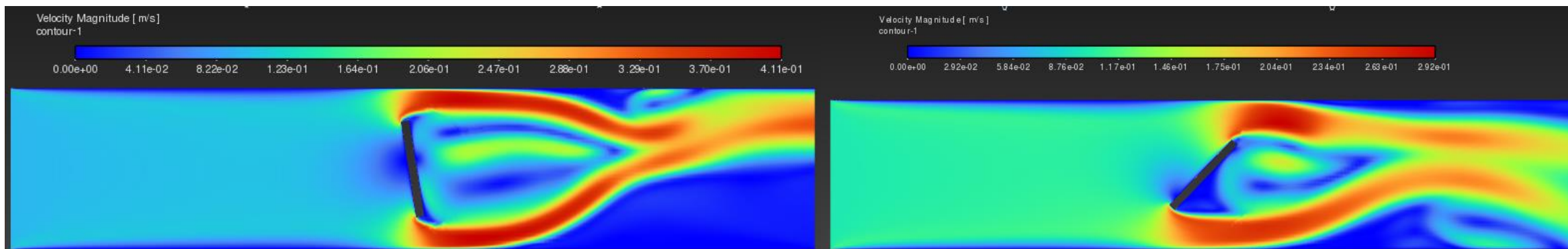


مثال : Sliding mesh



فعال کردن mesh motion در ناحیه چرخان و وارد کردن سرعت ثابت دورانی

انتخاب دو ناحیه مجاور و تعریف interface میان آنها



Dynamic mesh

گام زمانی

هر کدام کم‌تر است معیار همان می‌شود:

☐ شبیه‌سازی مانند عدد کورانت

☐ تغییر شکل شبکه : جابه‌جایی ندها

Δs طول کوتاه‌ترین سلول

$$\Delta t \leq \frac{\Delta s}{v}$$

v بیش‌ترین سرعت شبکه

✓ در دو حالت پایا و گذرا می‌توان استفاده کرد.

✓ برای شروع : ارائه حجم اولیه شبکه و شرح حرکت هر ناحیه متحرک در مدل

✓ گروه‌بندی نواحی متحرک و ثابت

✓ گروه‌بندی نواحی که شبکه تغییر شکل می‌دهد.

دیوارها

✓ اگر یک ناحیه متحرک شناخته شود، نیازی به تعریف جداگانه دیوارهای حول ناحیه به‌صورت متحرک نیست.

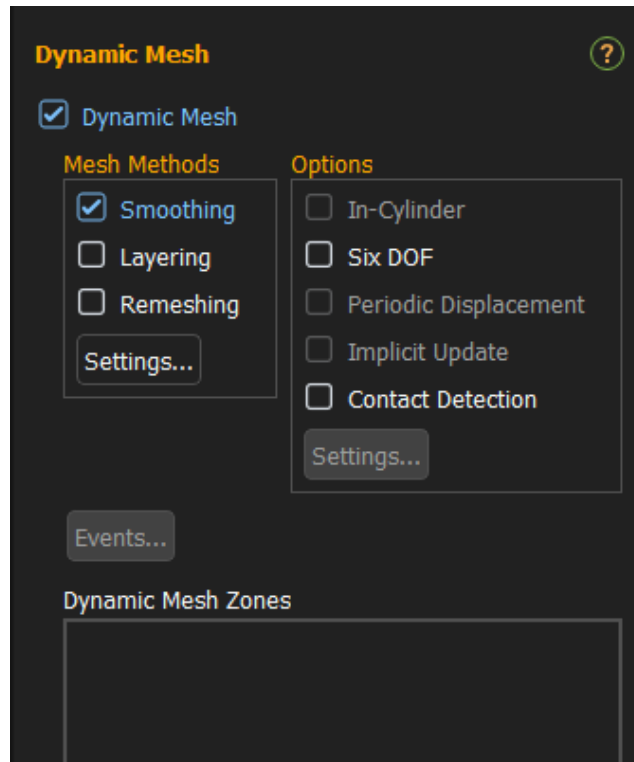
✓ اگر دیوار حول ناحیه متحرک با شبکه حرکت نکند، باید جداگانه تعریف شود.

روش‌ها

☐ Smoothing : ندها حرکت می‌کنند ولی تعداد و نحوه‌ی اتصال آنها عوض نمی‌شود.

☐ Layering : اضافه و یا حذف کردن لایه‌ی شبکه در کنار مرز متحرک

☐ Remeshing : تولید شبکه در مکان‌هایی که کیفیت شبکه بسیار پایین آمده است.

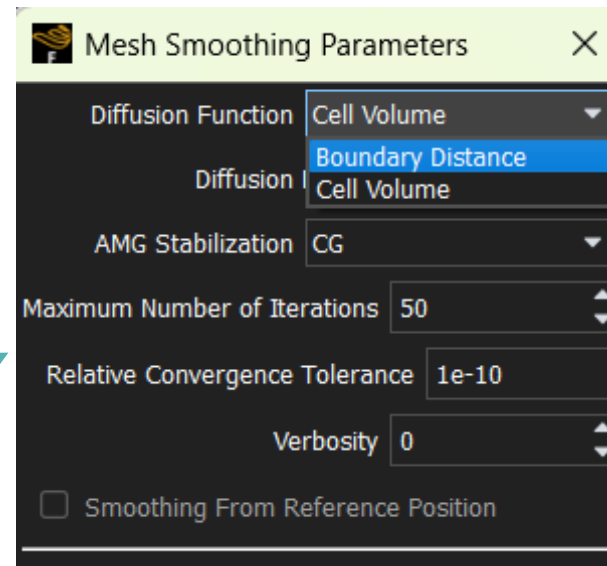
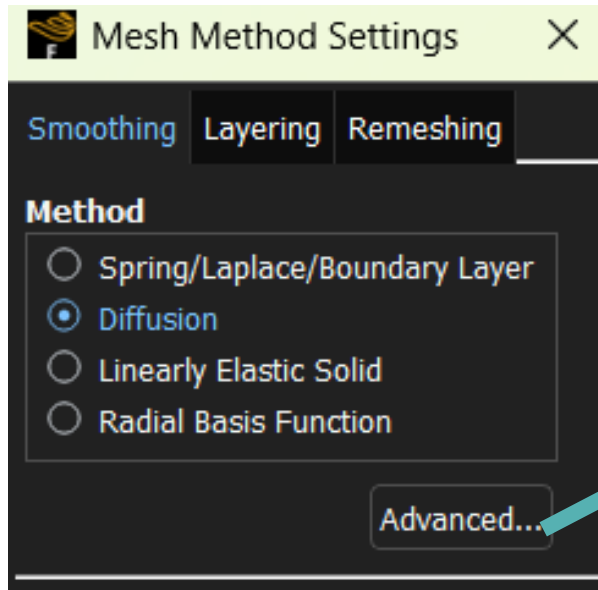
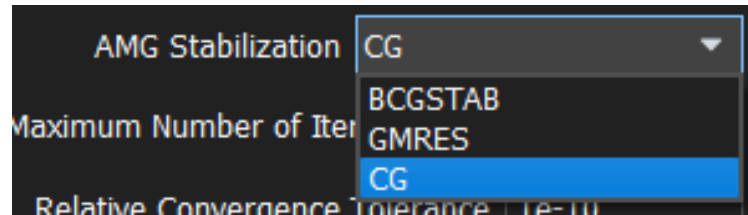


Smoothing

جابه جایی ند

$$\vec{x}_{new} = \vec{x}_{old} + \vec{u}\Delta t$$

α : diffusion parameter



Diffusion

☐ حرکت شبکه با معادله پخش انجام می شود.

$$\nabla \cdot (\gamma \nabla \vec{u}) = 0$$

☐ $\vec{u}$ سرعت جابه جایی شبکه و γ ضریب پخش شبکه است.

☐ Boundary Distance: ضریب پخش تابع فاصله از مرز است.

$$\gamma = \frac{1}{d\alpha}$$

☐ Cell Volume: ضریب پخش تابع حجم شبکه است.

$$\gamma = \frac{1}{V\alpha}$$

☐ این روش المان های با کیفیت بد را بهتر نمی کند.

AMG Stabilization

✓ CG : نیاز به حجم کمتر و همگرایی کم تر

❖ خطای حجم منفی : افزایش تعداد تکرار

❖ دوباره خطا : استفاده از روش GMERS

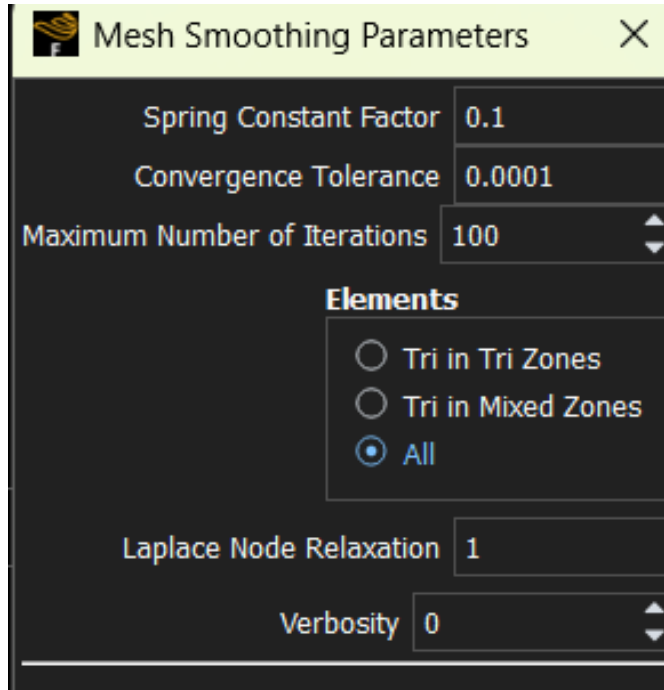
✓ GMERS : robust بیش تر و نیاز به حجم بیش تر

Smoothing

جابه جایی ند

$$\vec{x}_i^{n+1} = \vec{x}_i^n + \Delta \vec{x}_i^{converged}$$

k_{fac} : spring constant factor



Spring-based

خطوط اتصال شبکه ها بین دو ند به عنوان فنر در نظر گرفته می شود. ☐

فاصله اولیه بین دو ند حالت تعادل شبکه است. ☐

استفاده از قانون هوک جهت محاسبه نیرو بر ند شبکه: ☐

$$\vec{F}_i = \sum_j^{n_i} k_{ij} (\Delta \vec{x}_j - \Delta \vec{x}_i)$$

$$k_{ij} = \frac{k_{fac}}{\sqrt{|\vec{x}_j - \vec{x}_i|}}$$

ثابت فنر از رابطه روبرو محاسبه می شود: ☐

Boundary Layer

برای حرکت های انتقالی استفاده شود. (دورانی بزرگ: Diffusion) ☐

تمام ندهای لایه مرزی با سرعتی برابر حرکت می کنند. ☐

این روش در شبکه های مثلثی یا چهاروجهی عملکرد بهتری دارد. ✓

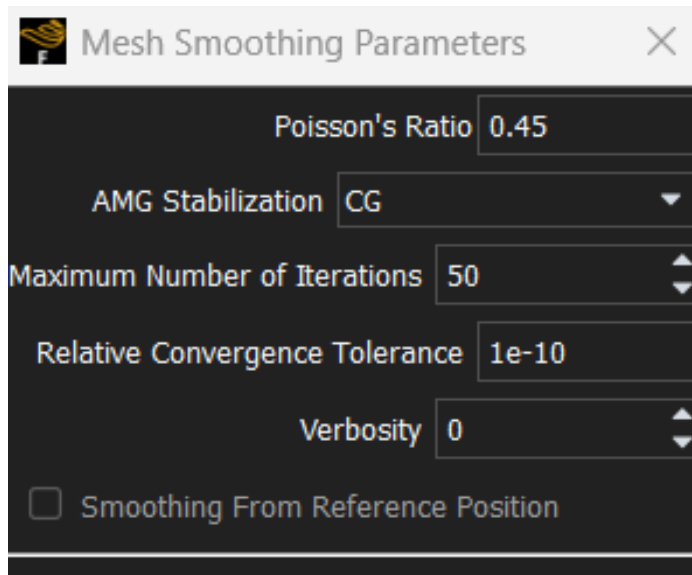
شروط استفاده در باقی شبکه بندی ها: ✓

مرز شبکه عمدتاً در یک جهت حرکت کند. ☐

حرکت عمدتاً در جهت عمود بر مرز ناحیه باشد. ☐

❖ Skewness سلول های چندوجهی با این روش به شدت بالا رفته و کیفیت پایین می آید.

ν : Poisson's Ratio



Linearly elastic solid

$$\nabla \cdot \sigma(\vec{y}) = 0$$

☐ معادلات جابه‌جایی شبکه:

$$\sigma(\vec{y}) = \lambda(\text{tr} \epsilon(\vec{y}) \mathbf{I} + 2\mu \epsilon(\vec{y}))$$

☐ تانسور تنش:

$$\epsilon(\vec{y}) = \frac{1}{2} (\nabla \vec{y} + (\nabla \vec{y})^T)$$

☐ تانسور کرنش:

$$\nu = \frac{1}{2(1 + \frac{\mu}{\lambda})}$$

☐ نسبت پواسون:

✓ شرایط مرزی حل معادلات : توسط کاربر و یا تغییر شکل مرزی محاسبه شده (6 DOF)

☐ از لحاظ محاسباتی گران‌تر از Diffusion ولی برای بعضی شبکه‌ها کیفیت این روش بالاتر است.

☐ متغیر نسبت پواسون ثابت است ولی در Diffusion، پخش می‌تواند غیر یکنواخت باشد.

☐ برای شبکه با سلول‌های چندوجهی (Polyhedral) مناسب نیست.

Smoothing

Radial Basis Function

☐ Fluent حل درونیابی یک میدان جابجایی که جابجاییها در مرزها را با حرکت تعیین شده برآورده می کند.

☐ مناسب شبکه های در چرخش

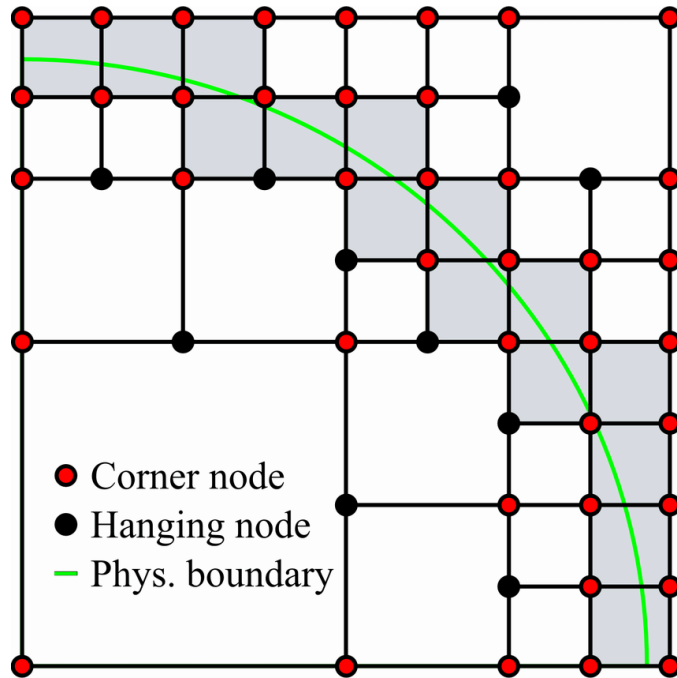
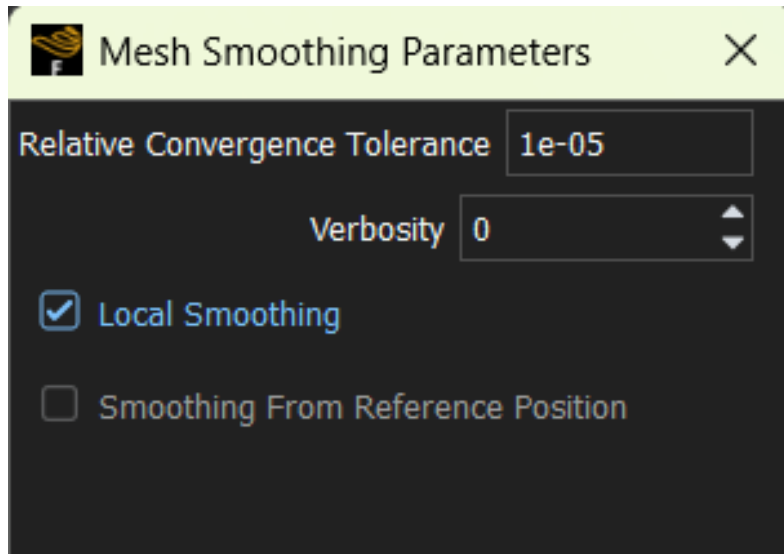
☐ مناسب و robust برای شبکه های دارای Hanging node و المان های چندوجهی

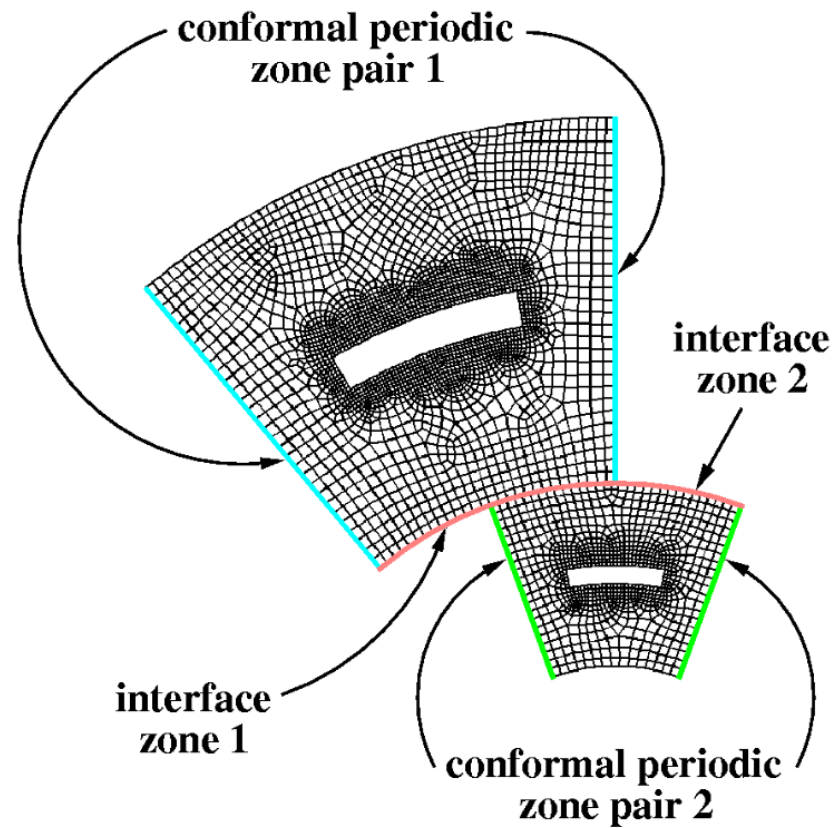
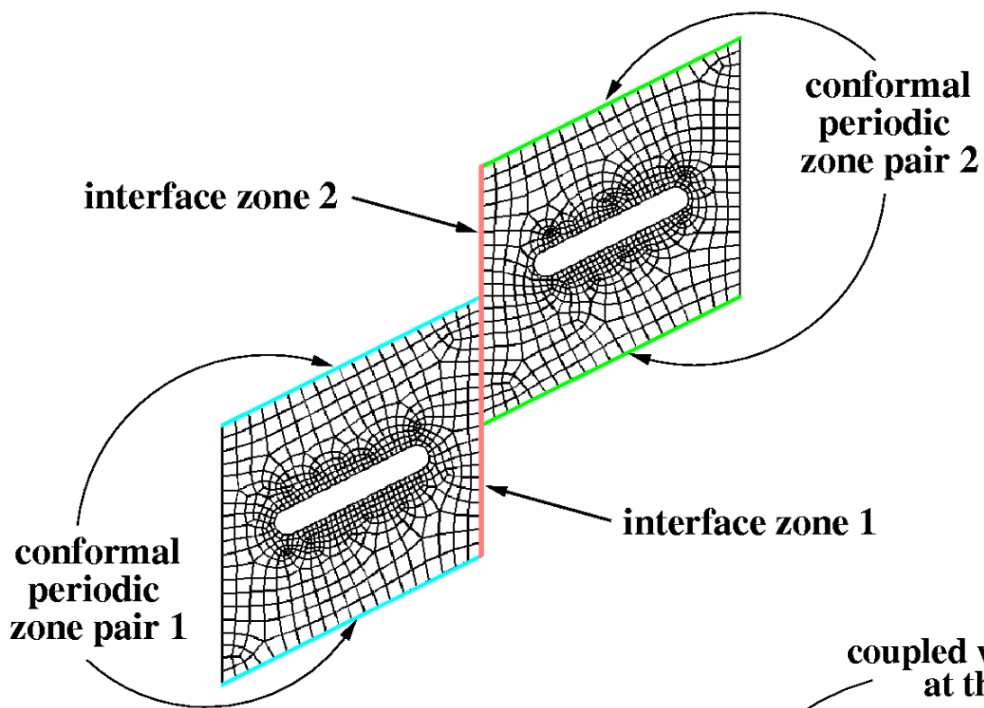
✓ تنها روش Smoothing که از موارد زیر پشتیبانی می کند:

☐ ناحیه شامل تغییر شکل مرزهای متناوب conformal

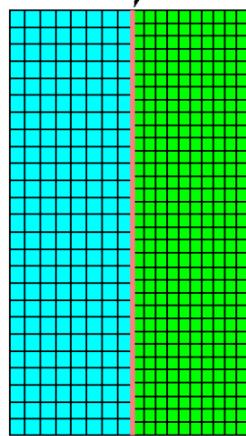
☐ ناحیه smoothing یک جامد است که مانند فرسایش و خوردگی مرز متحرک دارد.

✓ Local smoothing: اعمال بر روی ناحیه نزدیکه و نگهداری شبکه مرزی

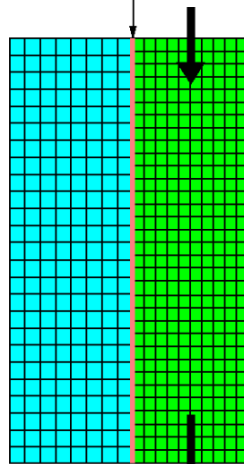




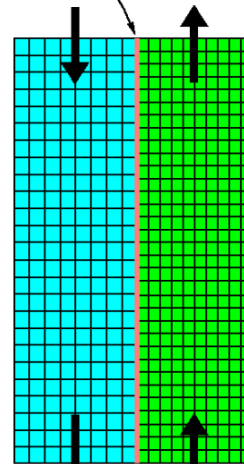
coupled wall option applied at these interfaces



solid – solid



solid – fluid



fluid – fluid





Smoothing Options

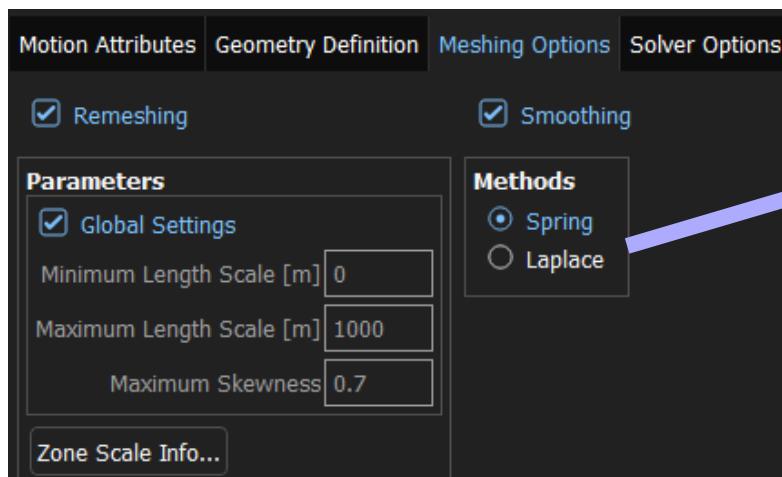
جابه‌جایی ند

$$\vec{x}_i^{m+1} = \vec{x}_i^m (1 - \beta) + \overline{\vec{x}}_i^m \beta$$

β : Laplace node
relaxation factor

Smoothing From Reference Position

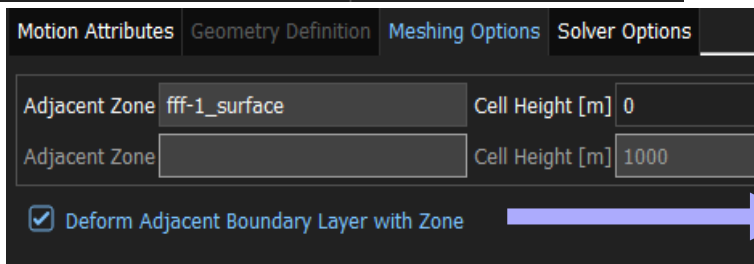
- ✓ این قابلیت در تمام روش‌های smoothing به جز Spring-based در دسترس است.
- ✓ کارکرد در حرکت‌های متناوب یا شبه متناوب برای شبکه‌های ثابت یا متحرک با تعداد سیکل بالا
- ✓ شبکه از هر سیکل به سیکل دیگر پایدارتر است.



Laplacian Smoothing Method

- ✓ بیش‌ترین کاربرد و ساده‌ترین روش smoothing
- ✓ مکان هر ند را در مرکز هندسی ندهای مجاور قرار می‌دهد.
- ✓ احتمال کیفیت پایین شبکه نسبت به Spring
- ✓ مکان هندسی هر ند:

$$\overline{\vec{x}}_i^m = \frac{\sum_j^{n_i} \vec{x}_j^m}{n_i}$$

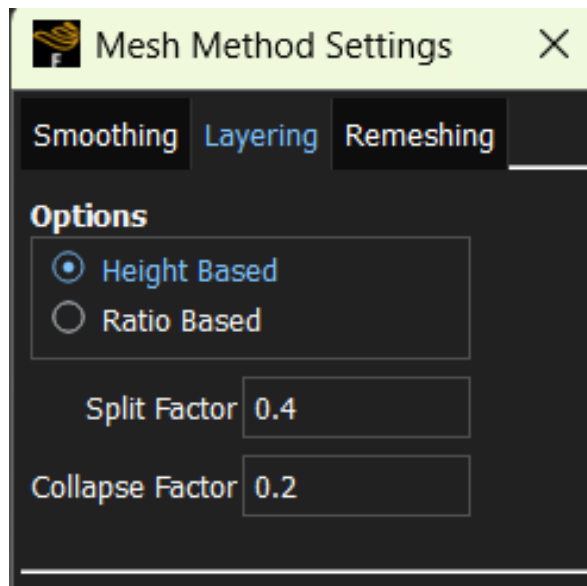


Boundary Layer Smoothing Method

- ✓ برای تغییر شکل لایه مرزی حین شبیه‌سازی
- ✓ این روش ارتفاع لایه مرزی را حفظ می‌کند.
- ✓ کارکرد در حرکت انتقالی نه چرخشی و تنها در روش Spring-based



Layering



در شبکه‌های چند وجهی، شش وجهی، گوه‌ای در سه‌بعدی و چهارضلعی در دو بعدی

$$h_{min} > (1 + \alpha_s)h_{ideal}$$

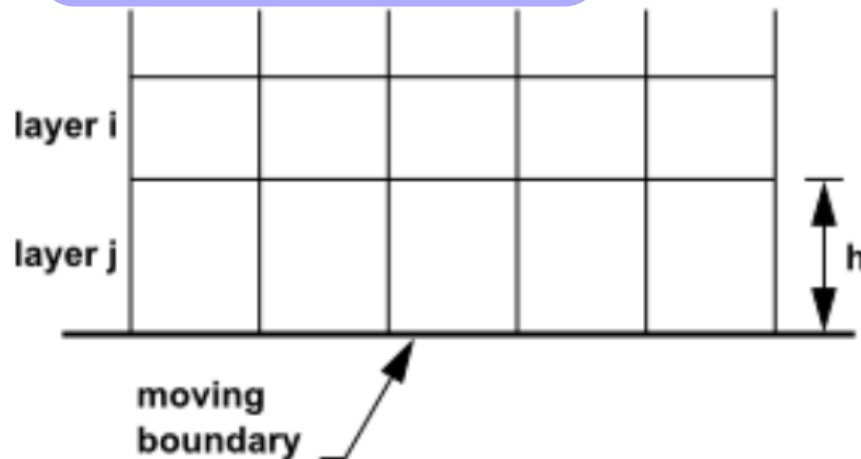
در صورت کشیدگی:

$$h_{min} < \alpha_c h_{ideal}$$

در صورت فشردگی:

α_s : Split Factor

α_c : Collapse Factor



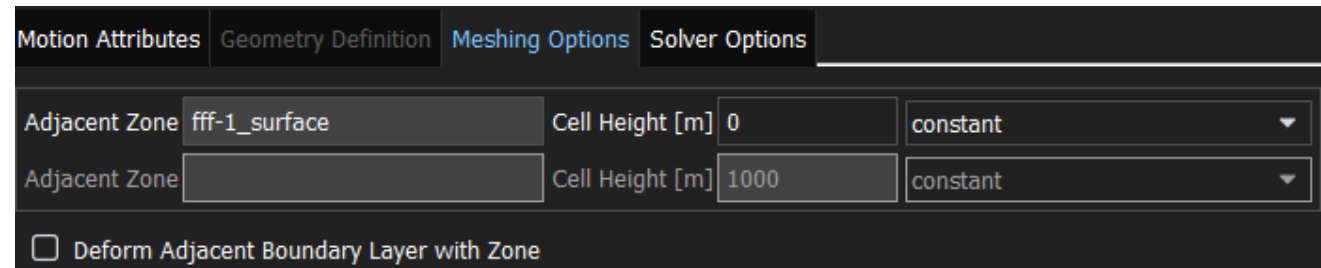
Height Based

❑ تقسیم سلول‌ها برای ایجاد یک لایه سلول با ارتفاع ثابت h_{ideal} و یک لایه

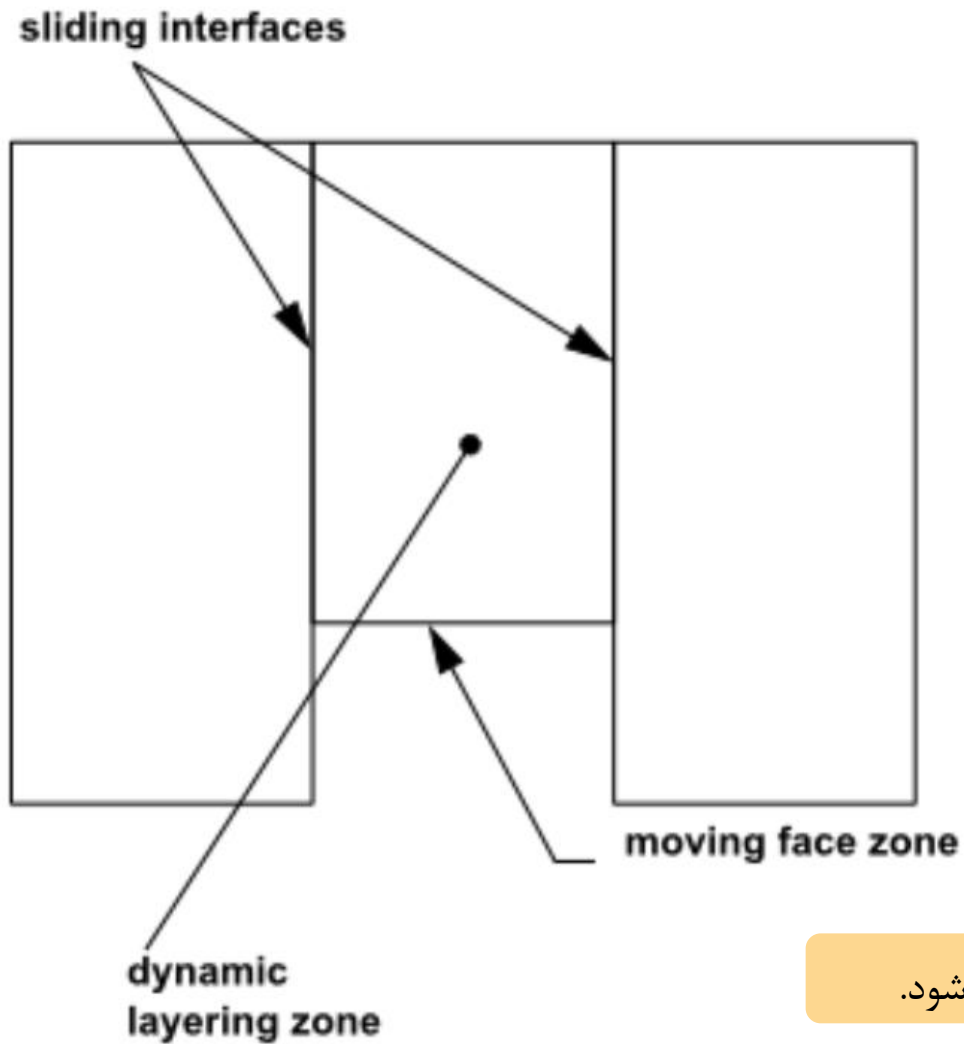
سلول با ارتفاع $h - h_{ideal}$

Ratio Based

❑ نسبت ارتفاع سلول‌های جدید به سلول‌های قدیم برابر α_s



Layering



اگر مرز داخلی باشد، Layering دو سمت مرز انجام می شود.
اگر بخش خاصی از مرز حرکت کرده و باقی مرز ثابت است، باید ناحیه ها جدا شوند و مرز میان ناحیه ثابت و متحرک sliding interface تعریف شود.

در این روش کیفیت شبکه در طول حل ثابت می ماند.

✓ ارتفاع سلول مجاور مرز متحرک در زمان صفر باید به صورت ثابت یا متغیر وارد شود.

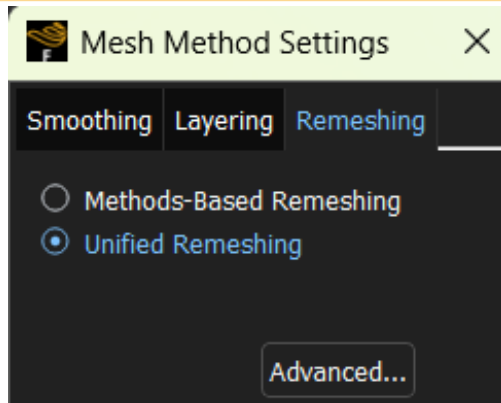
Motion Attributes	Geometry Definition	Meshing Options	Solver Options
Adjacent Zone	fff-1_surface	Cell Height [m]	0 constant
Adjacent Zone		Cell Height [m]	1000 constant
☐ Deform Adjacent Boundary Layer with Zone			



Remeshing

✓ اگر کیفیت شبکه‌ها در ناحیه‌ای از معیارهای skewness و یا اندازه عبور کند، شبکه‌بندی در آن ناحیه دوباره انجام می‌شود.

✓ اگر شبکه‌های جدید کیفیت بهتری داشتند، اعمال می‌شوند و گرنه همان شبکه‌بندی قبلی می‌ماند.



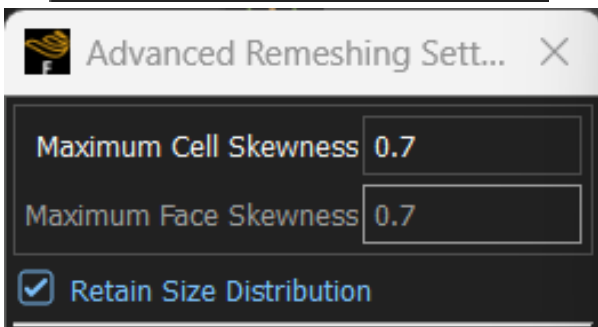
اگر فقط از smoothing استفاده شود، هنگامی که جابه‌جایی مرز در مقایسه با اندازه سلول‌های محلی بزرگ باشد، کیفیت سلول می‌تواند بدتر شود یا سلول‌ها تخریب شوند.

Unified Remeshing

- ✓ پیشنهادی فلوئنت
- ✓ استفاده از روش‌های مختلف شبکه‌بندی مجدد
- ✓ تلاش برای حفظ توزیع اندازه شبکه اولیه با وجود حرکت شبکه
- ✓ راه‌اندازی ساده و robust مخصوصاً شبیه‌سازی موازی

Methods-Based Remeshing

- ☐ Local cell: اعمال بر سلول‌های مثلثی و چهاروجهی داخلی
- ☐ Zone Remeshing: اعمال بر کل ناحیه، اگر Local نتواند اعمال شود.
- ☐ Local Face: فقط در سه‌بعدی برای شبکه‌های tri در مرز deforming
- ☐ Region Face: سلول‌های مثلثی و چهاروجهی و گوه‌ای در مرز متحرک (شبیه Layering)
- ☐ 2.5D: شبکه‌های شش ضلعی یا گوه‌ای اکستروژده شده از سطح مثلثی





Dynamic mesh zones

تعیین نوع حرکت هر ناحیه در قسمت Dynamic Mesh Zones

❑ اگر ناحیه دینامیک جسم صلب دارد، می‌توان مرکز جرم صلب و جهت‌گیری آن را نسبت به موقعیت اولیه مشاهده کرد.

Stationary

✓ اگر ناحیه به‌طور خاص مشخص نشود، stationary در نظر گرفته می‌شود.

✓ در برخی شرایط باید مشخص کرد: اگر یک منطقه دارای solid body motion باشد، امکان دارد، ندها بر روی مرزهای ثابت نیز حرکت کنند.

✓ برای تعامل قوی ساختار و سیال گزینه Solution Stabilization باعث همگرایی جواب در ناحیه می‌شود.

✓ ارتفاع ایده‌آل سلول‌های مجاور را می‌توان ثابت یا متغیر تعریف کرد.

Center of Gravity Location

X [m] 0
Y [m] 0

Rigid Body Orientation

Theta [deg] 0
Axis_Z 0

Dynamic Mesh Zones

Zone Names

piston

Type

- ☐ Stationary
☒ Rigid Body
☐ Deforming
☐ User-Defined
☐ System Coupling

Motion Attributes Geometry Definition Meshing Options Solver Options

☒ Solution Stabilization

Stabilization Parameters

Scale Factor 0.1 Method coefficient-based

Adjacent Zone fff-1_surface Cell Height [m] 0 constant
Adjacent Zone Cell Height [m] 0 constant





Managing Motion Definitions

کاربرد: تعریف حرکت جسم صلب در ناحیه شبکه دینامیک

تشکیل شده از: name, reference frame, translation definition و rotation definition

Motion Definition

Name: motion_definition_0

Reference Frame: global

Type: Rigid Body Motion

Translation

Velocity_X [m/s] 0

Velocity_Y [m/s] 0.0005

Rotation

Speed [rad/s] 0

Manage Motion Definitions

Motion Definitions

motion_definition_0

Properties

name : motion_definition_0

Reference Frame : global

Type : Rigid Body Motion

Translation : "Velocity_X" = 0, "Velocity_Y" = 0.0005

Rotation : "Speed" = 0

شرایط دو بعدی





کاربرد: تعریف شرایط مرزی، شرایط ناحیه zone و شرایط اولیه برای فازهای گسسته.
قابلیت: استفاده از داده‌های تجربی، شبیه‌سازی قبلی، داده‌های برنامه‌های خارجی به شکل ساده است.

۶ نحوه خواندن پروفایل

- ❑ نقاط نامرتب در ۲ بعد (x_i, y_i, v_i) و در ۳ بعد (x_i, y_i, z_i, v_i) . نقاط میان‌یابی صفر درجه‌ای می‌شوند.
- ❑ پروفایل خطی در ۲ بعد با مجموعه نقاط مرتب (x_i, y_i, v_i) ، مانند پروفایل لایه مرزی
- ❑ پروفایل شبکه در ۳ بعد با مجموعه نقاط $(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij}, v_{ij})$ مانند داده‌ها در شبکه ساختاریافته
- ❑ پروفایل شعاعی در یک بعد شعاعی با مجموعه نقاط مرتب (r_i, v_i) . نقاط میان‌یابی یک درجه‌ای می‌شوند.
- ❑ پروفایل محوری برای مسائل ۳ بعدی با مجموعه نقاط مرتب (z_i, v_i) . نقاط میان‌یابی خطی می‌شوند.
- ❑ پروفایل گذرا با مجموعه نقاط مرتب $(t_i, v_{0j}, v_{1j}, v_{2j}, \dots)$. نقاط میان‌یابی خطی می‌شوند.





Profiles

پروفاایل‌ها دو فرمت standard و CSV دارند.

قابلیت: استفاده از داده‌های تجربی، شبیه‌سازی قبلی، داده‌های برنامه‌های خارجی به شکل ساده است.

Standard

✓ هر پروفاایل یک header دارد که شامل : name, type(point, line, mesh, radial, axial) و تعداد نقاط است.

✓ تمام متغیرها باید به یکای SI باشند.

✓ تعداد کاراکتر اسم باید از ۶۴ کمتر باشد.

CSV

Radial ✓

Axial ✓

Point(X,Y,Z) ✓

Transient ✓

Transient-Periodic ✓





Profiles Examples

Standard

```
((profile1-name point|line|radial n)
(field1-name a1 a2 ... an)
(field2-name b1 b2 ... bn)
.
.
.
(fieldf-name f1 f2 ... fn))

((profile2-name mesh m n)
(field1-name a11 a12 ... a1n
          a21 a22 ... a2n
          .
          .
          .
          am1 am2 ... amn)
.
.
.
(fieldf-name f11 f12 ... f1n
          f21 f22 ... f2n
          .
          .
          .
          fm1 fm2 ... fmn))
```

```
((turb-prof point 8)
(x
4.000000E+00 4.000000E+00 4.000000E+00 4.000000E+00
4.000000E+00 4.000000E+00 4.000000E+00 4.000000E+00 )
(y
1.06443E-03 3.19485E-03 5.33020E-03 7.47418E-03
2.90494E-01 3.31222E-01 3.84519E-01 4.57471E-01 )
(u
5.47866E+00 6.59870E+00 7.05731E+00 7.40079E+00
1.01674E+01 1.01656E+01 1.01637E+01 1.01616E+01 )
(tke
4.93228E-01 6.19247E-01 5.32680E-01 4.93642E-01
6.89414E-03 6.89666E-03 6.90015E-03 6.90478E-03 )
(eps
1.27713E+02 6.04399E+01 3.31187E+01 2.21535E+01
9.78365E-03 9.79056E-03 9.80001E-03 9.81265E-03 )
)
```





Section Identifiers	Remark
[Name]	The next line should have the profile name. Note- if the profile name has space characters, they will be replaced with '-' (space character is not allowed)
(Optional) [Parameters]	The next line should list the name of each parameter and its value. Parameters that have units should have the appropriate unit in brackets next to the value of the parameter.
(Optional) [Spatial Fields]	The next line should list the names and units of the Cartesian coordinate system. This indicates whether the profile is 1D, 2D, or 3D (with the number of values corresponding to the dimensions of the profile)
[Data]	Data values begin on the next line.
(Optional) [Faces]	The next lines provide the face-node connectivity that allows for previewing the profile as a surface.





CSV with Optional fields

Two Profile CSV

```
[Name]
outlet
[Data]
x,y,z,x-velocity
-0.00036448459,0.0068932362,3,0.05
0.0014999653,-0.0090896944,3,0.05
```

```
[Name]
transient-temperature
[Data]
time,temperature
1.1,300
1.2,350
1.3,400
```

```
[Name]
modeshapel
[Parameters]
Mass = 3.64422308E-002 [kg]
Frequency = 1075.7960 [Hz]
Maximum Displacement = 19.161390 [m]
[Spatial Fields]
Initial X [m], Initial Y [m], Initial Z [m]
[Data]
Initial X [m], Initial Y [m], Initial Z [m], norm meshdisptot x
[ ], norm meshdisptot y [ ], norm meshdisptot z
0.24326721 , 2.31312828E-002, 3.40935170E-002, 6.64623727E-002,
-0.29486747 , 0.26849515
0.24326396 , 2.31793349E-002, 3.40879478E-002, 6.70239889E-002,
-0.29487824 , 0.26807998
0.25071740 , -2.49000213E-002, 6.40013147E-003, -0.11782411 , -
0.61531118 , 0.77716603
0.25072379 , -2.48944600E-002, 6.37840505E-003, -0.11739263 , -
0.61562871 , 0.77721180
0.25073487 , -2.48733125E-002, 6.34503139E-003, -0.11655654 , -
0.61613393 , 0.77716960
...
[Faces]
127, 128, 377, 378
706, 455, 456, 705
128, 375, 376, 377
705, 456, 457, 458 127, 410, 129, 128 706, 705, 704, 423 415,
410, 127, 126 418, 707, 706, 423 ...
```



Dynamic mesh zones

Rigid Body

✓ نوع حرکت جسم صلب می تواند در فلوئنت به صورت Motion definitions، Profile و UDF تعریف شود.

✓ در شرایط In-Cylinder خود نرم افزار تنظیماتی ارائه می دهد که حرکت پیستون تعریف می شود.

✓ در شرایط 6DOF باید گزینه ی آن فعال باشد.

✓ Passive: نیروها و ممان ها بر ناحیه اعمال نمی شوند.

✓ مرکز جرم صلب و جهت گیری آن وارد شود.



Zone Names
piston

Dynamic Mesh Zones
fff-1_surface
left_wall
piston
right_wall

Type
☐ Stationary
☒ Rigid Body
☐ Deforming
☐ User-Defined
☐ System Coupling

Motion Attributes | Geometry Definition | Meshing Options | Solver Options

Motion UDF/Profile
motion::motion_definition_0

Motion Options
☐ Relative Motion
 Relative Zone

Center of Gravity Location
 X [m] 0
 Y [m] 0

Rigid Body Orientation
 Theta [deg] 0
 Axis_Z 0

☐ Exclude Mesh Motion in Boundary Conditions

Orientation Calculator...



Dynamic mesh zones

Deforming

✓ نواحی که شبکه تغییر شکل می دهد.

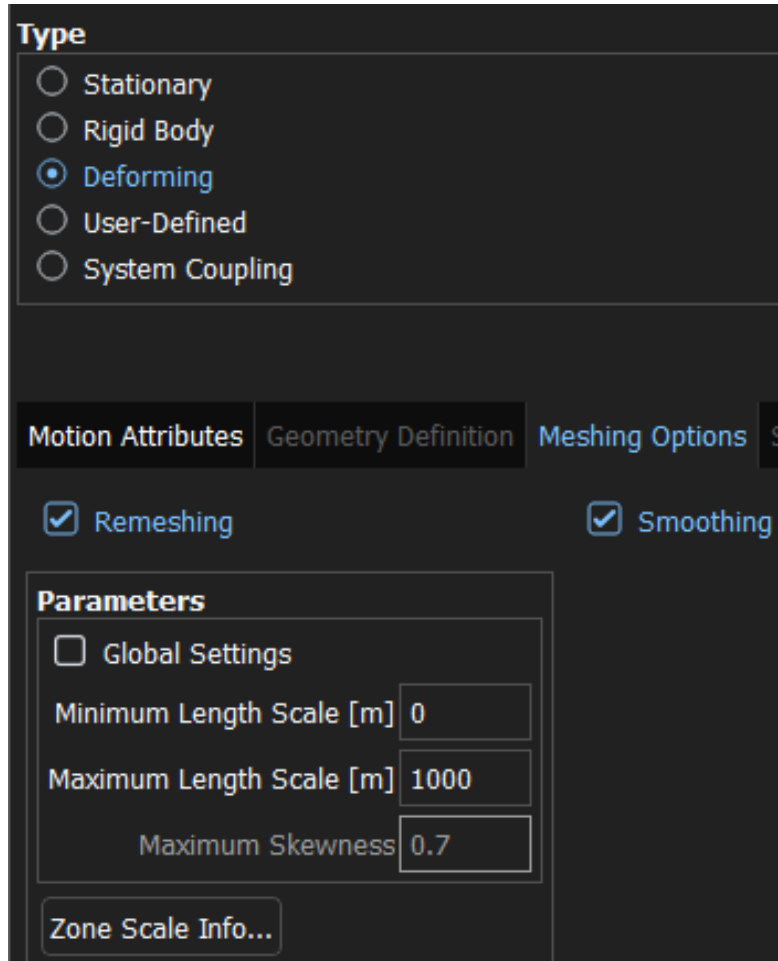
✓ اگر هیچ هندسه ی خاصی نیست، Faceted انتخاب شود.

✓ اگر هندسه یک صفحه است، گزینه Plane انتخاب شود و مختصات یک نقطه بر روی صفحه وارد شود.

✓ اگر هندسه سیلندر است، گزینه Cylinder انتخاب شود.

✓ اگر در مجاورت یک شرط مرزی بی قید قرار گیرد و حرکت شبکه عمود بر صفحه مجاز است، Unspecified انتخاب شود.

✓ می توان معیارهای Remeshing را جداگانه در هر ناحیه تعیین کرد و یا از معیار کلی استفاده کرد.



Dynamic Mesh Options

In-Cylinder

زمانی که Piston-full فعال باشد، موقعیت پیستون :

$$p_s = \sqrt{(a + l)^2 - z^2} - a \cos(\theta_c) - \sqrt{l^2 - (a \sin(\theta_c) + z)^2}$$

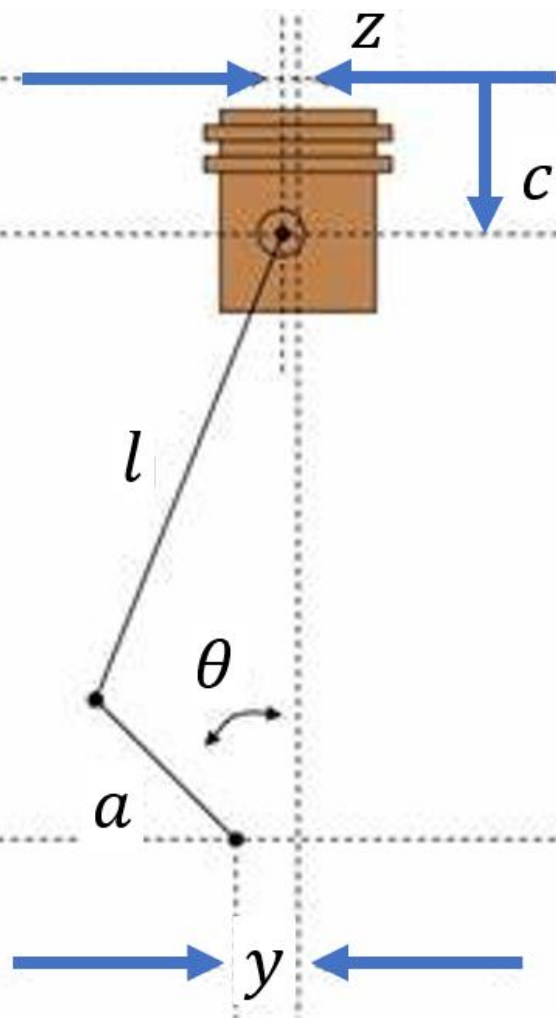
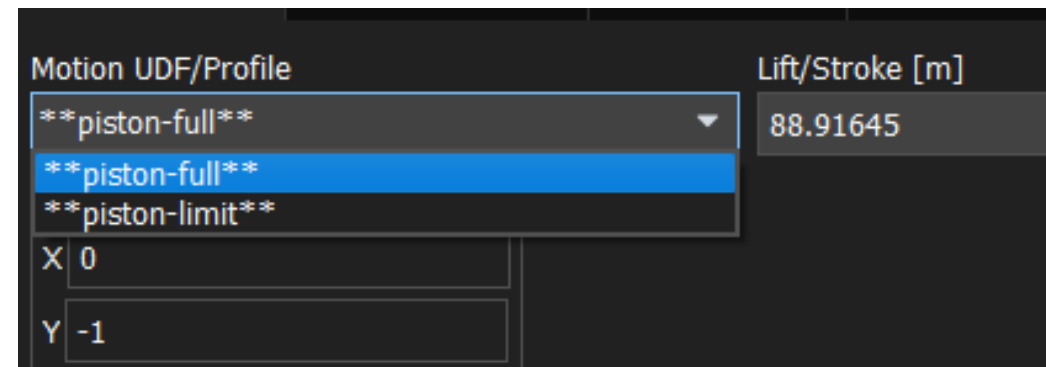
$\theta_c = \theta_s + t\Omega_{shaft}$: زاویه لحظه‌ای crank

$v_{lift} = \max(v_{lift}^c, v_{lift}^{min})$: مقدار لیفت دریچه :

$p_s = \min(v_s^c, v_s^{min})$: مقدار piston stroke

Piston-limit: اگر تنها قسمت سیلندر شبیه‌سازی شود.

Piston-full: کل سیلندر همراه با دریچه‌ها شبیه‌سازی شود.



$l = \text{conrod length}$ | $\theta = \text{crank angle}$

$z = \text{piston pin offset}$ | $a = \text{crank radius}$

$y = \text{crankshaft axis offset}$

Dynamic Mesh Options

Six DOF

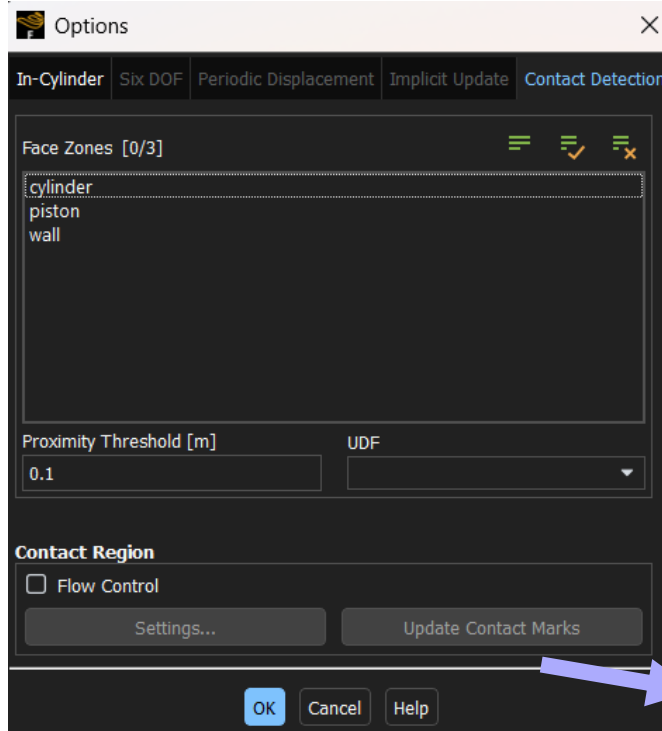
- ✓ محاسبه نیروها و گشتاورهای خارجی مانند نیروها و گشتاورهای آیرودینامیکی و گرانشی بر روی اجسامی که تحت حرکت جسم صلب هستند.
- ✓ این نیروها با ادغام عددی فشار و تنش برشی بر روی سطوح جسم محاسبه می شوند.
- ✓ نیروهای بار اضافی مانند نیروهای انژکتور، نیروهای رانش (پیش رانش) و ممان های تولید شده توسط فنر سیم پیچ.

Implicit Update

- ✓ در شبیه سازی گذرا شبکه همزمان با حل به روز می شود.
- ✓ کاربرد: FSI و 6DOF
- ✓ جفت سازی قوی تر بین نتایج جریان و حرکت شبکه - همگرایی بیشتر

Contact Detection

- ✓ برای تشخیص تماس سطح متحرک با سایر سطوح
- ✓ در تیلرانس مشخصی می توان با UDF حرکت شبکه ناحیه متحرک را محدود و یا کنترل کرد.
- ✓ نمونه UDF با تعریف DEFINE_CONTACT در Ansys_Fluent_UDF_Manual



Preview Mesh Motion

Deforming

✓ نواحی که شبکه تغییر شکل می دهد.

✓ اگر هیچ هندسه ی خاصی نیست، Faceted انتخاب شود.

✓ اگر هندسه یک صفحه است، گزینه Plane انتخاب شود و مختصات یک نقطه بر روی صفحه وارد شود.

✓ اگر هندسه سیلندر است، گزینه Cylinder انتخاب شود.

✓ اگر هندسه نامشخص و حرکت شبکه عمود بر صفحه مجاز است، Unspecified انتخاب شود.

✓ می توان معیارهای Remeshing را جداگانه در هر ناحیه تعیین کرد و یا از معیار کلی استفاده کرد.

Type

☐ Stationary
☐ Rigid Body
☒ Deforming
☐ User-Defined
☐ System Coupling

Motion Attributes
Geometry Definition
Meshing Options
S

☒ Remeshing
☒ Smoothing

Parameters

☐ Global Settings

Minimum Length Scale [m] 0
Maximum Length Scale [m] 1000
Maximum Skewness 0.7

Zone Scale Info...

خسته نباشید
