



**به نام خدا**



# **آموزش دینامیک سیالات محاسباتی با نرم افزار**

## **STAR-CCM**

جهت دریافت دیسک همراه این کتاب از لینک زیر استفاده نمایید:

[dl.dibagarantehran.ir/CDDIBA/starccm.rar](http://dl.dibagarantehran.ir/CDDIBA/starccm.rar)

مؤلفان:

**مهندس مهدی یادگاری**

**مهندس سیده سمیرا کیا**

**مهندس شاهین تیمورپور**

**مهندس حمیدرضا جهانگیری**

# فهرست مطالب

## ❖ فصل ۱: آشنایی با دینامیک سیالات محاسباتی و توانایی های نرم افزار STAR CCM+.... ۱۳

۱۴	..... دینامیک سیالات محاسباتی چیست؟
۱۴	..... تاریخچه دینامیک سیالات محاسباتی
۱۶	..... روند یک حل CFD
۱۷	..... اساس CFD و معادلات حاکم در آن
۲۷	..... کاربرد دینامیک سیالات محاسباتی
۳۱	..... مقایسه ابزارهای مختلف انجام یک شبیه سازی CFD
۳۳	..... قابلیت ها و توانایی های نرم افزار STAR CCM+

## ❖ فصل ۲: آموزش مقدماتی..... ۴۰

۴۱	..... شروع شبیه سازی در STAR-CCM+
۴۲	..... ایجاد یک شبیه سازی
۴۴	..... کار کردن با درخت شبیه سازی
۴۵	..... ذخیره سازی و نامگذاری یک شبیه سازی
۴۶	..... وارد کردن هندسه
۴۷	..... نمایش هندسه ی وارد شده
۴۸	..... حرکت در صفحه، بزرگنمایی و چرخاندن نما (SCENE)
۴۹	..... تعریف سطوح مرزی
۵۳	..... تغییر نام سطوح و پارت
۵۵	..... اختصاص پارت (PART) به ناحیه محاسباتی (REGION)
۵۶	..... تنظیمات شرایط مرزی
۵۷	..... انتخاب جزء ها
۵۸	..... افزودن و حذف کردن پارت ها از یک نما
۶۱	..... ایجاد مش
۶۱	..... انتخاب MESHER ها
۶۳	..... تعیین تنظیمات مش
۶۳	..... تولید مش حجمی
۶۴	..... نمایش مش حجمی
۶۵	..... سفارشی کردن (CUSTOMIZING) مش

۶۷	انتخاب مدل های فیزیکی (PHYSICS MODELS)
۷۶	تنظیم شرایط اولیه (INITIAL CONDITIONS)
۷۶	تعیین شرایط اولیه برای شبیه سازی
۷۶	تعریف CONTINUUM مربوط به ناحیه محاسباتی (REGION)
۷۷	تنظیمات شرایط و مقادیر مرزی (BOUNDARY CONDITIONS)
۸۰	تنظیمات شرایط و مقادیر ورودی
۸۲	تنظیمات شرایط SLIP WALL
۸۳	تنظیمات پارامترهای حل کننده و STOPPING CRITERIA
۸۴	مشاهده نتایج
۸۸	مشاهده روند حل
۹۰	تنظیمات یک REPORT
۹۱	تنظیمات مانیتور (MONITOR) و نمودار (PLOT)
۹۳	راه اندازی شبیه سازی
۹۴	تنظیم پارامترهای حل کننده و CONTINUING
۹۵	اتمام حل (COMPLETING THE RUN)
۹۵	نمایش نتایج (VISUALIZING THE RESULTS)
۹۶	بررسی اسکالرها
۹۹	بررسی بردارها
۱۰۳	ترسیم داده ها روی یک سطح
۱۰۴	ایجاد یک DERIVED PART
۱۰۷	ترسیم داده های شبیه سازی
۱۱۰	اضافه کردن خطوط جریان (STREAMLINE)
۱۱۶	بستن و باز کردن مجدد شبیه سازی
۱۱۸	<b>❖ فصل ۳ : آموزش های پایه ای مدلسازی هندسه</b>
۱۱۹	ایجاد یک SKETCH با قیدها (CONSTRAINTS) و ابعاد
۱۲۴	ایجاد یک حجم بوسیله ی دوران SKETCH
۱۲۶	اضافه کردن پره ها به صورت الگویی از اجسام
۱۳۶	طراحی یک پروفیل با منحنی ها و چند جمله ای ها
۱۴۲	ایجاد پوسته ی صلب محفظه
۱۴۶	تعریف محدوده سیال و حذف تیغه ها از آن
۱۵۱	ایجاد حجم سیال اصلی و کم کردن محفظه و فن از آن
۱۵۵	تنظیم دامنه ی شبیه سازی و انتخاب MESHER ها
۱۶۱	بررسی کیفیت مش

۱۶۵.....	گسترش محدوده ی شبیه سازی با MESH EXTRUDER
۱۶۸.....	اصلاح مش
<b>۱۷۵.....</b>	<b>❖ فصل ۴ : شبیه سازی سیکلون جداساز</b>
۱۷۷.....	طراحی پروفیل سیکلون
۱۸۳.....	اضافه کردن قیدها و ابعاد
۱۸۷.....	اضافه کردن خط ساختاری
۱۸۹.....	ایجاد حجم با دوران پروفیل سیکلون
۱۹۲.....	ایجاد لوله خروجی
۱۹۶.....	ایجاد کانال ورودی
۱۹۸.....	ایجاد یک پارامتر طراحی
۲۰۲.....	مشخص کردن سطوح ورودی و خروجی
۲۰۴.....	ایجاد یک پارت هندسی (GEOMETRY PART)
۲۰۵.....	تخصیص یک پارت (PART) به ناحیه محاسباتی (REGION)
۲۰۵.....	انتخاب مدل های فیزیکی
۲۰۷.....	مشخص کردن شرایط مرزی
۲۰۸.....	تولید مش حجمی
۲۰۹.....	آماده سازی نمای اسکالر
۲۱۰.....	اجرای شبیه سازی
۲۱۱.....	ایجاد یک نمای خط جریان
۲۱۳.....	نمایش خطوط جریان (به شکل فیلم)
۲۱۴.....	اصلاح هندسه و اجرای دوباره شبیه سازی
<b>۲۱۸.....</b>	<b>❖ فصل ۵ : مونتاژ پارت های صنعتی</b>
۲۱۹.....	وارد کردن مش سطحی
۲۲۰.....	سازماندهی مجدد پارت مونتاژی
۲۲۱.....	اصلاح مش سطح
۲۲۴.....	اصلاح سطح پارت
۲۲۷.....	جداسازی و ترکیب سطوح پارت
۲۲۹.....	ایجاد یک پارت از سطوح پارت (PART SURFACES)
۲۳۰.....	ایجاد یک تگ (TAG)
۲۳۱.....	اعمال یک تگ به یک پارت (PART)
۲۳۲.....	تنظیم متادیتای (METADATA) پارت
۲۳۲.....	تنظیم فیلترها
۲۳۴.....	اختصاص دادن پارت به نواحی حل سیال (REGIONS)

۲۳۶	تعریف سطوح پارت به عنوان مرزهای ناحیه حل سیال
۲۳۸	ایجاد عملیات مش خودکار
۲۳۹	تنظیم خصوصیات عمومی مش
۲۴۰	ایجاد شکل های حجمی
۲۴۱	ایجاد یک کنترل حجمی
۲۴۳	تنظیم پوشش حجم مورد توجه (WRAPPER VOLUME OF INTEREST)
۲۴۳	تعیین شرایط جلوگیری از تماس (CONTACT PREVENTION CONDITION)
۲۴۵	تنظیمات EXTRUSIONS
۲۴۷	حذف منحنی های FEATURE موجود
۲۴۷	مقدار دهی اولیه در مش (INITIALIZING THE MESH)
۲۴۸	تولید مش سطح (SURFACE MESH)
۲۵۰	تولید مش حجمی
۲۵۳	<b>❖ فصل ۶: ابزار پوشش سطحی (SURFACE WRAPPER)</b>
۲۵۵	وارد کردن مش سطحی
۲۵۶	شناسایی مرزهای مهم
۲۵۷	فعالسازی مدل WRAPPER
۲۵۷	تنظیمات مقادیر ورودی اصلی
۲۵۹	بستن هندسه (CAPPING THE GEOMETRY)
۲۶۴	کاربرد LEAK DETECTOR
۲۶۵	تولید یک BASIC WRAP
۲۶۸	بهبود FIDELITY و CURVATURE در بدنه ی مانیفولد
۲۶۹	بهبود کیفیت سطوح در پارت سنسور
۲۷۲	بهبود کیفیت سطوح در کانال ها
۲۷۴	بهبود کیفیت سطوح در فلنج
۲۷۶	بهبود کیفیت سطوح در دریچه
۲۷۸	بهبود کیفیت سطوح در بافل
۲۷۹	ایجاد یک TRUE BAFFLE
۲۸۴	استفاده از ابزار THE OFFSET FACES/EDGES برای انجام دستی تنظیمات INFLATE بافلها
۲۸۹	<b>❖ فصل ۷: ابزارهای اصلاح سطح (SURFACE REPAIR)</b>
۲۹۱	ذخیره ی نما (SCENE)
۲۹۲	استفاده از ابزارهای اصلاح سطح (SURFACE REPAIR)
۲۹۳	حل مشکل FACE PROXIMITY: حذف المان های تکراری
۲۹۵	حذف لبه های آزاد (FREE EDGES): حجم دادن به سطوح لاغر

۲۹۷.....	حذف لبه های آزاد: پر کردن حفره (HOLE)
۲۹۹.....	اصلاح کردن FEATURES
۳۰۰.....	بسته شدن شکاف
۳۰۶.....	عملیات بولی
۳۰۹.....	ادغام کردن (MERGING) و IMPRINT پارت های مجاور
۳۱۲.....	مش زنی مجدد سطح
۳۱۴.....	بررسی کیفیت مش سطحی در حالت اصلاح دستی
<b>۳۱۷.....</b>	<b>❖ فصل ۸ : مش زنی PART-BASED در آیرودینامیک خارجی</b>
۳۱۸.....	وارد کردن مش سطح
۳۱۹.....	ذخیره نما
۳۱۹.....	آماده سازی سطح ورودی
۳۲۱.....	پر کردن شکاف (HOLE) بر روی سطح خودرو
۳۲۲.....	ایجاد یک مونتاژ ترکیبی (CREATING A COMPOSITE ASSEMBLY)
۳۲۲.....	ایجاد یک سطح پوشش داده شده (WRAPPED SURFACE)
۳۲۳.....	اصلاح مش روی منحنی های پارت
۳۲۴.....	جلوگیری از تماس بین سطوح نزدیک
۳۲۵.....	اجرای عملیات SURFACE WRAPPER
۳۲۶.....	ایجاد محدوده سیال
۳۲۷.....	اختصاص محدوده سیال به یک ناحیه محاسباتی (REGION)
۳۲۷.....	تنظیمات نوع مرزها (BOUNDARY)
۳۲۸.....	تولید مش حجمی
۳۲۹.....	اصلاح سطوح مونتاژ شده در خودرو
۳۳۰.....	تولید و نمایش مش حجمی
۳۳۱.....	جایگزینی بال (WING)
<b>۳۳۵.....</b>	<b>❖ فصل ۹ : عملیات مش (MESH OPERATION) بر روی قطعه شیر کنترل</b>
۳۳۶.....	استفاده از مش زنی چند وجهی
۳۳۷.....	تغییر وضعیت شیر و تعریف حجم مایع
۳۳۸.....	تعریف پیکره شبیه سازی (SIMULATION TOPOLOGY)
۳۳۹.....	تولید مش سطح
۳۴۰.....	ایجاد یک اصلاح کننده مش (MESH REFINEMENT)
۳۴۲.....	تولید مش حجم
۳۴۳.....	بررسی آماری مش با نمودار هیستوگرام (HISTOGRAM PLOTS)
۳۴۷.....	استفاده از مش زنی شش وجهی (مکعبی)

۳۴۸	..... بررسی آماری مش مکعبی (TRIMMED CELL)
۳۵۰	❖ فصل ۱۰: مش زنی مستقیم (DIRECTED MESHING) در ماشین الکتریکی... ❖
۳۵۲	..... بررسی مناسب بودن مش زنی هدایت شونده
۳۵۳	..... تخصیص پارت ها به نواحی محاسباتی (REGIONS)
۳۵۳	..... استفاده از PATCH MESHING
۳۵۵	..... ایجاد یک PATCH TOPOLOGY
۳۵۹	..... ایجاد یک PATCH MESH
۳۶۰	..... تولید یک مش حجمی (VOLUME MESH)
۳۶۱	..... استفاده از مش های موجود
۳۶۴	❖ مراجع ..... ❖

# خط مشی کیفیت انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران در عرصه کتاب‌هایی است که بتواند خواسته‌های به روز جامعه فرهنگی و علمی کشور را تا حد امکان پوشش دهد. هر کتاب دیباگران تهران، یک فرصت جدید شغلی

حمد و سپاس ایزد منان را که با الطاف بی‌کران خود این توفیق را به ما ارزانی داشت تا بتوانیم در راه ارتقای دانش عمومی و فرهنگی این مرز و بوم در زمینه چاپ و نشر کتب علمی دانشگاهی، علوم پایه و به ویژه علوم کامپیوتر و انفورماتیک گام‌هایی هرچند کوچک برداشته و در انجام رسالتی که بر عهده داریم، مؤثر واقع شویم.

گسترده‌گی علوم و توسعه روزافزون آن، شرایطی را به وجود آورده که هر روز شاهد تحولات اساسی چشمگیری در سطح جهان هستیم. این گسترش و توسعه نیاز به منابع مختلف از جمله کتاب را به عنوان قدیمی‌ترین و راحت‌ترین راه دستیابی به اطلاعات و اطلاع‌رسانی، بیش از پیش روشن می‌نماید.

در این راستا، واحد انتشارات مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران با همکاری جمعی از اساتید، مؤلفان، مترجمان، متخصصان، پژوهشگران، محققان و نیز پرسنل ورزیده و ماهر در زمینه امور نشر درصدد هستند تا با تلاش‌های مستمر خود برای رفع کمبودها و نیازهای موجود، منابعی پُر بار، معتبر و با کیفیت مناسب در اختیار علاقمندان قرار دهند.

کتابی که در دست دارید با همت "مهندسان مهدی یادگاری-سیده سمیراکیا-شاهین تیمورپور-حمیدرضا جهانگیری" و تلاش جمعی از همکاران انتشارات میسر گشته که شایسته است از یکایک این گرامیان تشکر و قدردانی کنیم.

## کارشناسی و نظارت بر محتوا: زهره قزلباش

در خاتمه ضمن سپاسگزاری از شما دانش‌پژوه گرامی درخواست می‌نماید با مراجعه به آدرس [dibagaran.mft.info](mailto:dibagaran.mft.info) (ارتباط با مشتری) فرم نظرسنجی را برای کتابی که در دست دارید تکمیل و ارسال نموده، انتشارات دیباگران تهران را که جلب رضایت و وفاداری مشتریان را هدف خود می‌داند، یاری فرمایید.

امیدواریم همواره بهتر از گذشته خدمات و محصولات خود را تقدیم حضورتان نماییم.

مدیر انتشارات

مؤسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران  
[bookmarket@mft.info](mailto:bookmarket@mft.info)



با گسترش روز افزون کاربرد کامپیوتر در زندگی بشر، علم مکانیک سیالات و انتقال حرارت نیز از آن بی بهره نبوده است و بسیاری از معادلاتی که پیش از این با روش های تحلیلی قابل حل نبود، با کمک کامپیوترهای پیشرفته حل شده است تا جایی که شاخه ی جدیدی از علم مکانیک سیالات با عنوان مکانیک سیالات محاسباتی (CFD) پا به عرصه وجود گذاشت. مکانیک سیالات محاسباتی در ابتدا محدود به کدهای اختصاصی بود که توسط اشخاص، موسسات، دانشگاه ها تهیه و بعضاً برای موارد شخصی و سازمانی مورد استفاده قرار می گرفت. با رونق علم مکانیک سیالات محاسباتی به مرور زمان نرم افزارهای تجاری تهیه و در اختیار عموم قرار گرفت. در سال های اخیر نرم افزارهای متعددی در حوزه مکانیک سیالات محاسباتی توسعه داده شده است که در این بین نرم افزار STAR-CCM+ یکی از قدرتمندترین آنها به شمار می آید. این نرم افزار برای اولین بار در سال ۱۹۸۰ توسط یک شرکت خصوصی در شهر میلواک آمریکا به بازار عرضه شد. محصولات این نرم افزار در سه گروه STAR-Design و STAR-CD، STAR-CCM+ قابل استفاده مشتریان بوده و هم اکنون این نرم افزار تحت لیسانس شرکت بزرگ زیمنس فعالیت می کند.

امروزه با رشد روزافزون فعالیتهای صنعتی و دانشگاهی در حوزه مکانیک سیالات ابزارهای گذشته با توجه به سرعت پایین پاسخگویی، کارآمدی خود را از دست داده اند و محدود به تحلیل در هندسه ها و مدل های ساده شده اند. توسعه و استفاده از ابزارهای بروزتر، که متأسفانه آگاهی نسبت به آنها در داخل کشور کم است، می تواند در حل مسائل پیچیده تری که با ابزارهای گذشته قابل تحلیل نیستند کمک شایانی باشد. فلذا، طی تحقیقات بعمل آمده از بانک نشریات کشور، نهادهای دانشگاهی و موسسات علمی، کتابی در زمینه آموزش نرم افزار STAR-CCM+ یافت نشد و مطالب آموزشی موجود عمده تاً بصورت جزوات مختصر می باشند، که اغلب آنها نمی توانند کاربر را به خوبی برای شبیه سازی مسائل صنعتی و کاربردی راهنمایی کنند. به همین دلیل برآن شدیم تا با تألیف اولین و جدیدترین راهنمای این نرم افزار، مجموعه ای کامل و کاربردی در اختیار اساتید، دانشجویان، مهندسين و محققين محترم قرار دهيم.

لازم به ذکر است در این کتاب مسائل عمده تاً معطوف به شبیه سازی های ساده و راهکارهای آماده سازی هندسه، که به جرئت می توان گفت نقطه قوت و برتری این نرم افزار بر بسیاری از نرم افزارهای مشابه است، می باشد. در این کتاب آموزش مبتنی بر حل مثال های کاربردی به همراه توضیحات راهبردی در برخی قسمت ها و با تکرار فراوان می باشد.

ما مولفان این کتاب برآنیم که با استفاده از تجربیان و نقطه نظرات شما خوانندگان محترم، جلد دوم این کتاب را در ادامه جلد یک که به بررسی مسائل کاربردی در صنایع مختلف می پردازد به مرحله چاپ برسانیم. خوانندگان محترم می توانند نقطه نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود را از طریق آدرس الکترونیکی زیر در اختیار ما قرار دهند.

**Sh\_teymourpour@yahoo.com**

با تشکر

## تقدیم به

تقدیم به پدر و مادر عزیزم و همسر عزیزتر از جانم ( مهدی یادگاری )

تقدیم به مادر، پدر و همسر عزیزم ( سیده سمیرا کیا )

تقدیم به پدر و مادر عزیزم (شاهین تیمورپور)

تقدیم به پدر، مادر و همسر عزیزم (حمیدرضا جهانگیری)

با تشکر از ریاست محترم اداره CFD مرکز تحقیقات ایران خودرو جناب مهندس مهدوی،  
انتشارات دیباگران و تمام کسانی که ما را در چاپ این کتاب یاری کردند...

## ◆ مقدمه

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، حل عددی معادلات دیفرانسیل پاره‌ای مربوط به سیستم‌های نظیر جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش‌های شیمیایی می‌باشد که با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری انجام می‌شود.

در این سال‌ها نرم افزارهای متعددی در این حوزه توسعه داده شده است، در این بین نرم افزار STAR-CCM+ یکی از قدرتمندترین و بهترین نرم افزارهای حال حاضر برای تحلیل مسائل مختلف دینامیک سیالات محاسباتی (Computational Fluid Dynamics) است که مبتنی بر روش حجم محدود می‌باشد. تجربه کاربران در کار با انواع نرم افزارهای CFD موبد این موضوع است که انجام پروژه های مختلف با نرم افزار STAR-CCM+ بسیار راحت تر از دیگر نرم افزارهای شبیه سازی سیالات می باشد. نرم افزار STAR-CCM+ برای حل مسایل جریان سیال، انتقال حرارت، فرآیندهای شیمیایی، آیرودینامیک، احتراق، جریان‌های دوفازی و ... به کار می‌رود؛ بنابراین با کمک نرم افزار STAR-CCM+ می‌توان مسائل مهندسی مکانیک، هوافضا، شیمی، هیدرولیک و ... را بهینه‌سازی، طراحی و شبیه‌سازی نمود. از اینرو نرم افزار STAR-CCM+ بهترین جایگزین برای نرم‌افزارهای قدیمی مثل CFX، Ansys Fluent و... می‌باشد. این نرم‌افزار دارای محیطی یکپارچه است، بطوریکه تولید هندسه، مش‌زنی، شبیه‌سازی و عملیات پس‌پردازش را بصورت یکپارچه در یک محیط در خود جای داده است. می‌توان گفت نقطه قوت این نرم‌افزار فرآیند آماده سازی هندسه و مش‌زنی دامنه حل می‌باشد که در این نرم افزار برخلاف دیگر نرم افزارهای تحلیل سیال براحتی می‌توان هندسه را از نرم افزارهای CAD (مانند کتیا، سالیدورک و...) وارد کرده و با ابزارهای فراهم شده در این نرم افزار برای تحلیل سیال آماده کرد. بعلاوه این نرم افزار یک محیط مناسب برای طراحی هندسه دارد که تمامی ابزارهای مورد نیاز برای تهیه یک هندسه کامل در این محیط فراهم شده است. علاوه بر آماده‌سازی هندسه فرآیند مش‌زنی در این نرم افزار نیز بسیار با سرعت و با دقت بالا انجام می‌شود و این نرم افزار از تمامی انواع مش با سازمان و بی‌سازمان و مش لایه مرزی پشتیبانی و امکان ایجاد آن‌ها را فراهم می‌کند. ابزارهای بسیار قدرتمند این نرم افزار در فرآیند پس پردازش شامل تهیه انواع کانتور، نمودار، انیمیشن و... کاربر را از سایر نرم افزارهای post processing مانند CFD post و اکسل و تک پلات بی نیاز می‌کند. این نرم‌افزار حلگرهای ویژه برای حل مهمترین مسائل صنعتی علی‌الخصوص در صنعت خودرو، هوافضا و شیمی دارد که از دیگر نقاط تمایز این نرم افزار نسبت به سایر نرم افزارهای CFD می‌باشد. ابزارهایی که STAR-CCM+ در اختیار کاربرانش قرار می‌دهد برای انجام پروژه با تجزیه و تحلیل‌های کاملاً حرفه‌ای و مهندسی (در حوزه مکانیک محیط‌های پیوسته) و همچنین اجرای آنالیز بر روی سیالات کاربرد داشته و امکان بررسی و تحلیل دقیق رفتار و جریان مواد جامد (آنالیز شکل دهی) را نیز فراهم نموده است.

CD-adapco به عنوان توسعه دهنده این نرم افزار معتقد است که STAR-CCM+ با توانایی بی نظیر خود در شبیه سازی و تولید نتایج با کیفیت، می‌تواند به عنوان یک دستیار حرفه ای در حل مشکلات مربوط به مدل‌های با حالات فیزیکی مختلف (Multiphysics) و دارای هندسه‌های پیچیده (از لحاظ ظاهری) عمل نموده و در نهایت باعث افزایش بهره‌وری کاربران شود.