

۱۴۵۳۹  
به نام نژادان

اصول شبیه سازی مقدماتی و پیشرفته دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از

# نرم افزارهای FLUENT و CFX

به همراه آموزش نرم افزارهای Gambit، TGrid، ICEM، CFD-POST و

احسان اله سعادتى

مصطفى زين العابدينى



دپارتمان CFD شرکت خدمات مهندسی و آموزشی پیتک

|                     |                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سرشناسه             | : سعادت، احسان اله، ۱۳۶۲ -                                                                                                                                                                                                                       |
| عنوان و نام پدیدآور | : اصول شبیه سازی مقدماتی و پیشرفته دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از نرم افزارهای FLUENT و CFX به همراه آموزش نرم افزارهای Gambit، TGrid، ICEM-CFD و CFD-POST / احسان اله سعادت، مصطفی زین العابدینی : به سفارش شرکت مهندسی پرداد پترو دانش. |
| مشخصات نشر          | : تهران: احسان اله سعادت، ۱۳۹۴.                                                                                                                                                                                                                  |
| مشخصات ظاهری        | : ۶۶۸ ص.: مصور، جدول، نمودار.                                                                                                                                                                                                                    |
| شابک                | : ۳۸۰۰۰۰ ریال 978-600-04-3508-0                                                                                                                                                                                                                  |
| وضعیت فهرست نویسی   | : فیپا                                                                                                                                                                                                                                           |
| موضوع               | : دینامیک سیالات محاسباتی -- نرم افزار                                                                                                                                                                                                           |
| موضوع               | : سیالات -- دینامیک -- داده پردازی                                                                                                                                                                                                               |
| موضوع               | : مکانیک -- شبیه سازی کامپیوتری                                                                                                                                                                                                                  |
| موضوع               | : الای -- دینامیک -- نرم افزار                                                                                                                                                                                                                   |
| موضوع               | : سیالات -- دینامیک -- شبیه سازی کامپیوتری                                                                                                                                                                                                       |
| شناسه افزوده        | : زین العابدینی، افی، ۱۳۶۷ -                                                                                                                                                                                                                     |
| شناسه افزوده        | : شرکت مهندسی پرداد پترو دانش                                                                                                                                                                                                                    |
| رده بندی کنگره      | : ۱۳۹۴ ی ۵/۵ تا ۲۸۳                                                                                                                                                                                                                              |
| رده بندی دیویی      | : ۵۳۲/۵                                                                                                                                                                                                                                          |
| شماره کتابشناسی ملی | : ۳۹۴۸۰۸۸                                                                                                                                                                                                                                        |

به سفارش و با سرمایه گذاری

شرکت خدمات مهندسی و آموزشی پرداد پترو دانش



شبیه سازی مقدماتی و پیشرفته CFD با استفاده از نرم افزارهای FLUENT و CFX

|                 |                                        |
|-----------------|----------------------------------------|
| مؤلفین          | : احسان اله سعادت، مصطفی زین العابدینی |
| صفحه آرای       | : سارگل (محرم پور)                     |
| طرح جلد         | : فرزانه قائدی                         |
| لیتوگرافی و چاپ | : تندیس نقره ای                        |
| چاپ اول         | : تابستان ۱۳۹۴                         |
| تیراژ           | : ۱۰۰۰ نسخه                            |
| شابک            | : ۹۷۸-۶۰۰-۰۴-۳۵۰۸-۰                    |
| قیمت            | : ۳۸,۰۰۰ تومان                         |

## فهرست

| عنوان                                                                      | صفحه |
|----------------------------------------------------------------------------|------|
| مقدمه مؤلف                                                                 | ۱۹   |
| <b>فصل اول: مقدمه‌ای بر CFD - نرم‌افزارهای شبیه‌سازی</b>                   |      |
| دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)                                              | ۲۵   |
| نرم‌افزارهای مورد استفاده در این کتاب                                      | ۳۴   |
| نرم‌افزار FLUENT                                                           | ۳۴   |
| نرم‌افزار CFX                                                              | ۳۶   |
| نرم‌افزار GAMBIT                                                           | ۳۷   |
| نرم‌افزار ICFE-CFD                                                         | ۳۷   |
| نرم‌افزار TGrid                                                            | ۳۸   |
| نرم‌افزار CFD-POST                                                         | ۳۹   |
| روش استفاده صحیح از این کتاب                                               | ۳۹   |
| ساختار فصول کتاب                                                           | ۳۹   |
| <b>فصل دوم: تولید شبکه و شبیه‌سازی جریان، حول استوانه در نرم‌افزار CFX</b> |      |
| تولید هندسه در نرم‌افزار ICFE-CFD                                          | ۴۶   |
| تولید بلاک شبکه سازمان‌یافته                                               | ۵۱   |
| انجام پیش تنظیمات شبکه                                                     | ۶۱   |
| محاسبه ارتفاع اولین سلول مجاور دیواره                                      | ۶۲   |
| شبیه‌سازی در نرم‌افزار ANSYS - CFX                                         | ۶۵   |
| بررسی $y^+$ بر روی دیواره                                                  | ۷۸   |
| مشاهده خطوط جریان                                                          | ۸۲   |

## فصل سوم: شبیه‌سازی جریان داخلی با استفاده از نرم‌افزارهای ICEM-CFD و CFX

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| ۸۵  | معرفی مساله                        |
| ۸۶  | تولید هندسه                        |
| ۹۱  | تولید شبکه                         |
| ۱۰۳ | توضیح در مورد روش تولید شبکه دلانی |
| ۱۱۴ | شبیه‌سازی در نرم‌افزار ANSYS-CFX   |

## فصل چهارم: شبیه‌سازی جریان در اطراف یک کره در نرم‌افزارهای FLUENT و ICEM-CFD

|     |                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------|
| ۱۲۹ | معرفی مساله                                             |
| ۱۳۰ | تولید هندسه در نرم‌افزار ICEM-CFD                       |
| ۱۳۷ | محاسبه ارتفاع اولین سلول حاور دیواره                    |
| ۱۴۱ | شبیه‌سازی در نرم‌افزار FLUENT                           |
| ۱۴۸ | تنظیمات مربوط به روش‌های حل                             |
| ۱۴۹ | مقدار دهی اولیه                                         |
| ۱۵۰ | انجام محاسبات                                           |
| ۱۵۴ | مطالعه بر روی شبکه                                      |
| ۱۵۶ | مشاهده و تحلیل نتایج خروجی                              |
| ۱۶۲ | بررسی کیفی وضعیت شبکه در اطراف کره                      |
| ۱۶۴ | مقایسه نتایج شبیه‌سازی با کارهای پیشین و داده‌های تجربی |

## فصل پنجم: تنظیمات حل گر در نرم‌افزار FLUENT

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۱۶۹ | تنظیمات روش‌های حل (Solution Methods)        |
| ۱۷۰ | ترم جابجایی معادلات ناویر استوکس             |
| ۱۷۱ | ترم گرادیان (بخش) در معادلات ناویر استوکس    |
| ۱۷۳ | روش‌های حل معادلات ناویر استوکس              |
| ۱۷۴ | روش‌های کوپل معادلات مومنتوم، پیوستگی و فشار |
| ۱۷۹ | کنترل همگرایی                                |
| ۱۸۰ | ضرایب زیر تخفیف                              |
| ۱۸۱ | تنظیمات شتاب‌دهنده چندشبکه‌ای                |

## فصل ششم: شرایط مرزی در نرم افزار FLUENT

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| ۱۸۷ | تنظیمات محیط‌های پیوسته                             |
| ۱۹۳ | تنظیمات شرایط مرزی                                  |
| ۱۹۳ | مرزهای یک طرفه                                      |
| ۱۹۴ | مرزهای دو طرفه                                      |
| ۱۹۵ | شرط مرزی ورودی سرعت (Velocity Inlet)                |
| ۱۹۵ | شرط مرزی ورودی فشار (Pressure Inlet)                |
| ۱۹۶ | شرط مرزی ورودی دبی جرمی (Mass Flow Inlet)           |
| ۱۹۷ | شرط مرزی فشار خروجی (Pressure Outlet)               |
| ۱۹۹ | شرط مرزی جریان خروجی (Outflow)                      |
| ۱۹۹ | شرط مرزی فشار خروجی همراه با افت (Outlet Vent)      |
| ۲۰۰ | شرط مرزی فشار خروجی همراه با افت فشار (Exhaust Fan) |
| ۲۰۰ | شرط مرزی فشار ورودی همراه با افت فشار (Intake Fan)  |
| ۲۰۱ | شرط مرزی فشار ورودی همراه با افت فشار (Inlet Vent)  |
| ۲۰۱ | شرط مرزی فشار و سرعت در دور دست (Pressure Farfield) |
| ۲۰۲ | شرط مرزی دیوار - یک طرفه (Wall)                     |
| ۲۰۵ | شرط مرزی دیوار - دو طرفه (Wall)                     |
| ۲۰۶ | شرط مرزی تقارن - Symmetry                           |
| ۲۰۷ | شرط مرزی تکرار شونده - Periodic                     |
| ۲۱۰ | شرط مرزی دو طرفه فن - Fan                           |
| ۲۱۱ | شرط مرزی دو طرفه رادیاتور - Radiator                |
| ۲۱۲ | شرط مرزی دو طرفه داخلی - Interior                   |
| ۲۱۲ | شرط مرزی دو طرفه سطح متخلخل - Porous Jump           |
| ۲۱۳ | شرط مرزی یک طرفه رابط - Interface                   |
| ۲۱۴ | شرط مرزی یک طرفه محور تقارن - Axis                  |

## فصل هفتم: شبیه سازی جریان حول یک خودروی سواری در نرم افزارهای TGrid و CFX

|     |                                                |
|-----|------------------------------------------------|
| ۲۱۸ | تولید هندسه و شبکه در نرم افزار Gambit         |
| ۲۲۸ | تولید شبکه در نرم افزار Tgrid (FLUENT Meshing) |

|     |                                                |
|-----|------------------------------------------------|
| ۲۲۹ | اجرای نرم‌افزار و فراخوانی شبکه مرزی           |
| ۲۳۳ | اعمال حافظه فضایی                              |
| ۲۳۴ | محاسبات ارتفاع طبقات لایه مرزی                 |
| ۲۳۵ | تولید نهایی شبکه                               |
| ۲۴۰ | بررسی ظاهری وضعیت شبکه تولیدی                  |
| ۲۴۲ | شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS-CFX    |
| ۲۴۹ | مشاهده نتایج خروجی در نرم‌افزار ANSYS-CFD Post |

### فصل هشتم: مقدمه‌ای بر توابع UDF در نرم‌افزار FLUENT

|     |                                                                  |
|-----|------------------------------------------------------------------|
| ۲۵۷ | معرفی مختصر توابع UDF و روش‌های استفاده از آن‌ها                 |
| ۲۶۰ | آشنایی با اصطلاحات شبکه در نرم‌افزار FLUENT                      |
| ۲۶۱ | آشنایی با متغیرهای ویژه تعریف‌شده UDF                            |
| ۲۶۲ | تعریف متغیرهای شبکه‌ای                                           |
| ۲۶۲ | روال فراخوانی و اجرای UDF های مختلف در نرم‌افزار FLUENT          |
| ۲۶۴ | مقدمه‌ای بر DEFINE Macro                                         |
| ۲۶۷ | مجموعه عملیات قابل انجام توسط DEFINE_Macros                      |
| ۲۶۸ | DEFINE_Macro با کاربردهای عمومی                                  |
| ۲۶۹ | DEFINE_Macro با کاربردهای خاص                                    |
| ۲۷۰ | DEFINE_Macro در شبیه‌سازی‌های چندفازی                            |
| ۲۷۱ | DEFINE_Macro در مدل ردیابی ذرات معلق (DPM)                       |
| ۲۷۱ | DEFINE_Macro در مدل‌سازی شبکه پویا Dynamic Mesh Model            |
| ۲۷۲ | DEFINE_Macro در معادلات انتقال اسکالر اضافه‌شده به نرم‌افزار UDS |
| ۲۷۲ | ماکروهای اضافی برای تهیه UDF                                     |

### فصل نهم: جریان‌های مرز متحرک با استفاده از مدل شبکه پویا در نرم‌افزار FLUENT

|     |                                            |
|-----|--------------------------------------------|
| ۲۸۱ | معادلات بقا                                |
| ۲۸۲ | روش‌های تجدید شبکه                         |
| ۲۸۳ | روش تجدید شبکه هموار ساز بر پایه فنر       |
| ۲۸۴ | کاربردهای روش هموارسازی بر پایه مجموعه فنر |

|     |                                                  |
|-----|--------------------------------------------------|
| ۲۸۵ | روش هموارسازی لاپلاسی                            |
| ۲۸۶ | روش لایه‌بندی دینامیکی                           |
| ۲۸۸ | موارد و محدودیت‌های کاربرد روش لایه‌بندی         |
| ۲۸۹ | تجدید شبکه با تولید مجدد موضعی                   |
| ۲۹۰ | روش تجدید شبکه موضعی                             |
| ۲۹۰ | تولید مجدد شبکه بر روی سطوح                      |
| ۲۹۲ | تولید مجدد شبکه بر روی سطوح به صورت موضعی        |
| ۲۹۲ | تولید مجدد شبکه بر روی سطوح به روش 2.5D          |
| ۲۹۴ | تولید مجدد شبکه به صورت موضعی براساس تابع اندازه |
| ۲۹۶ | تشخیص و حفظ شرایط ظاهر المان‌ها                  |
| ۲۹۷ | موارد کاربرد سیستم تشخیص ظاهر                    |
| ۲۹۷ | روال تجدید شبکه حجمی                             |
| ۲۹۷ | سینماتیک جسم صلب                                 |
| ۳۰۲ | تعیین پارامترهای شبیه‌سازی Dynamic-Mesh          |
| ۳۰۲ | انتخاب و تنظیم متدهای تجدید شبکه                 |
| ۳۰۸ | تنظیمات مربوط به مدل In Cylinder                 |

## فصل دهم: تحلیل جریان و ردیابی ذرات در سیستم تنفسی انسان با استفاده از FLUENT

|     |                                           |
|-----|-------------------------------------------|
| ۳۱۵ | تولید هندسه و شبکه در نرم‌افزار Gambit    |
| ۳۱۷ | تولید هندسه در نرم افزار                  |
| ۳۳۱ | بررسی کیفیت شبکه                          |
| ۳۳۴ | شبیه‌سازی در نرم افزار FLUENT             |
| ۳۳۵ | توابع حرکت دیواره حبابچه‌ها               |
| ۳۳۷ | مدل‌سازی حرکت براونی ذرات معلق            |
| ۳۳۹ | تنظیمات مرزها                             |
| ۳۴۲ | تنظیمات و روش حل                          |
| ۳۴۳ | تنظیمات ردیابی ذرات                       |
| ۳۴۳ | تعریف تزریق ذرات                          |
| ۳۴۷ | تعریف خروجی‌های همزمان با انجام شبیه‌سازی |

|     |                                    |
|-----|------------------------------------|
| ۳۴۷ | تعریف نمونه‌برداری از موقعیت ذرات  |
| ۳۴۸ | فعال‌سازی آنیمیشن                  |
| ۳۵۴ | تعریف مانیتورهای حل                |
| ۳۵۵ | پایان شبیه‌سازی و استخراج خروجی‌ها |

## فصل یازدهم: تحلیل جریان حول جسم متحرک با استفاده از مدل شش درجه آزادی در FLUENT

|     |                               |
|-----|-------------------------------|
| ۳۶۲ | تولید هندسه                   |
| ۳۷۱ | تولید نمای عراف               |
| ۳۷۴ | شبیه‌سازی در نرم افزار FLUENT |
| ۳۷۸ | تنظیمات پایه                  |
| ۳۷۹ | تنظیمات شرایط مرزی            |
| ۳۸۰ | تنظیمات شبکه متحرک            |
| ۳۸۶ | پردازش نتایج                  |

## فصل دوازدهم: آشنایی با مفاهیم آشفتگی و مدل‌های مورد استفاده در نرم‌افزارهای FLUENT و CFX

|     |                                                                 |
|-----|-----------------------------------------------------------------|
| ۳۹۱ | مقدمه                                                           |
| ۴۱۳ | مدل جریان غیرلزج Inviscid                                       |
| ۴۱۳ | مدل جریان آرام Laminar                                          |
| ۴۱۵ | مدل‌های بر پایه لزجت گردابه‌ای                                  |
| ۴۱۶ | مدل‌های صفر معادله‌ای Zero Equation                             |
| ۴۱۸ | مدل‌های تک معادله‌ای                                            |
| ۴۱۹ | مدل Spalart-Allmaras                                            |
| ۴۲۵ | مدل انتقال لزجت گردابه‌ای $(k-\epsilon)_{1\epsilon}$ یا مدل $k$ |
| ۴۲۷ | مدل‌های دو معادله‌ای                                            |
| ۴۲۸ | مدل‌های $k-\epsilon$                                            |
| ۴۳۰ | مدل Standard $k-\epsilon$                                       |
| ۴۳۴ | مدل RNG $k-\epsilon$                                            |
| ۴۳۸ | مدل Realizable $k-\epsilon$                                     |
| ۴۴۲ | مدل Low-Re $k-\epsilon$                                         |

|     |                                              |
|-----|----------------------------------------------|
| ۴۵۴ | مدل‌های $k-\omega$                           |
| ۴۵۵ | مدل Standard $k-\omega$                      |
| ۴۵۹ | مدل $k-\omega$ Baseline (BSL)                |
| ۴۶۴ | مدل انتقال تنش برشی SST                      |
| ۴۷۵ | مدل‌های گذار از جریان آرام به مغشوش          |
| ۴۷۸ | حباب جدایش آرام                              |
| ۴۸۴ | مدل گذار سه معادله‌ای K-KI omega             |
| ۴۸۸ | مدل Gamma-Teta ( $\gamma$ - $Re_\theta$ )    |
| ۵۰۶ | مدل فاکتور گذار تعیین شده                    |
| ۵۰۶ | مدل Gamma ( $\gamma$ )                       |
| ۵۰۷ | مدل فاکتور گذار $\gamma$                     |
| ۵۱۱ | مدل چهار معادله‌ای V2F                       |
| ۵۱۶ | مدل‌های تنش رینولدزی                         |
| ۵۱۸ | مزایای مدل تنش رینولدزی                      |
| ۵۱۸ | معایب مدل تنش رینولدزی                       |
| ۵۱۸ | موارد کاربرد مدل تنش رینولدزی                |
| ۵۱۹ | فرمولاسیون مدل تنش رینولدزی                  |
| ۵۲۰ | مدل‌های تنش رینولدزی برپایه $\epsilon$       |
| ۵۲۲ | مدل‌سازی ترم کرنش فشار $\phi_{ij}$           |
| ۵۲۲ | مدل‌سازی خطی کرنش فشاری                      |
| ۵۲۳ | مدل LRR-IP                                   |
| ۵۲۵ | مدل LRR-QI                                   |
| ۵۲۷ | مدل‌سازی درجه دو کرنش فشاری یا همان SSG      |
| ۵۲۹ | مدل‌های تنش رینولدزی برپایه $\omega$         |
| ۵۲۹ | مدل Stress-Omega در اعداد رینولدز پایین      |
| ۵۳۱ | مدل تنش رینولدزی BSL                         |
| ۵۳۲ | مدل‌های تنش رینولدزی جبری صریح K-E/BSL EARSM |
| ۵۴۴ | مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ                |
| ۵۴۷ | شرایط لزوم استفاده از مدل LES                |

|     |                                                      |
|-----|------------------------------------------------------|
| ۵۴۸ | هندسه مناسب برای مدل LES                             |
| ۵۴۹ | تولید شبکه برای مدل LES                              |
| ۵۴۹ | لایه مرزی در مدل LES                                 |
| ۵۴۹ | دامنه مدل LES                                        |
| ۵۴۹ | شرایط مرزی برای مدل LES                              |
| ۵۵۰ | نوع مرز خروجی در مدل LES                             |
| ۵۵۰ | تنظیم حل گر مدل LES                                  |
| ۵۵۰ | فواصل زمانی در روش LES                               |
| ۵۵۱ | حافظه حل گر در مدل LES                               |
| ۵۵۱ | داده های مفید در مدل LES                             |
| ۵۵۱ | تنش های رینولدز، آری                                 |
| ۵۵۵ | مدل اسماغورینسکی                                     |
| ۵۵۷ | مدل دینامیکی اسماغورینسکی                            |
| ۵۵۹ | مدل تنظیم لزجت گردابه ای موضعی مبتنی بر دیواره WALE  |
| ۵۶۰ | مدل LES با مدل سازی جبری دیواره WMLES                |
| ۵۶۳ | مدل WMLES S-w                                        |
| ۵۶۳ | مدل انرژی جنبشی دینامیکی مقیاس زیر شبکه              |
| ۵۶۴ | نحوه اعمال شرایط مرزی در مدل LES در نرم افزار FLUENT |
| ۵۶۴ | روش گردابه ای                                        |
| ۵۶۷ | روش ترکیب کننده طیفی                                 |
| ۵۷۰ | شبیه سازی گردابه های جدا شده                         |
| ۵۷۱ | شرایط لزوم استفاده از مدل DES                        |
| ۵۷۱ | هندسه مورد استفاده در مدل DES                        |
| ۵۷۲ | موارد مهم در تولید شبکه برای مدل DES                 |
| ۵۷۲ | ملزومات فواصل زمانی در روش DES                       |
| ۵۷۲ | شرایط مرزی در مدل DES                                |
| ۵۷۲ | مقدار دهی اولیه به مدل DES                           |
| ۵۷۳ | کنترل شبیه سازی DES                                  |
| ۵۷۵ | محدودیت ها و مشکلات مدل DES                          |
| ۵۷۷ | انواع مدل های DES                                    |

|     |                                                                                           |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۵۷۷ | شبیه‌سازی DES بر پایه مدل Spalart-Allmaras                                                |
| ۵۷۸ | شبیه‌سازی DES بر پایه مدل Realizable k- $\epsilon$                                        |
| ۵۷۹ | شبیه‌سازی DES بر پایه مدل SST K- $\omega$                                                 |
| ۵۸۵ | شبیه‌سازی گردابه‌های جدانشده تاخیری بهبودیافته IDDES                                      |
| ۵۸۶ | مدل شبیه‌سازی گردابه‌ها بر اساس مقیاس‌های تنظیم‌شونده                                     |
| ۵۹۴ | مدل Embedded LES (ELES)                                                                   |
| ۶۰۱ | اصلاح برای انحنای جریان                                                                   |
| ۶۰۳ | چند توصیه برای روند حل مدل‌سازی‌های جریان‌های اغتشاشی                                     |
| ۶۰۴ | تعیین متغیرهای اغتشاش در مرزهای ورودی و خروجی                                             |
| ۶۰۶ | رفتار مدل در کنار دیواره                                                                  |
| ۶۱۴ | تابع استاندارد دیواره                                                                     |
| ۶۱۹ | تابع دیواره Scalable                                                                      |
| ۶۲۰ | تابع غیرتعادلی دیواره                                                                     |
| ۶۲۲ | روابط بهبود رفتار در نزدیکی دیواره یا مدل‌های لایه‌ای در مدل‌های برپایه معادله $\epsilon$ |
| ۶۲۳ | مدل دو لایه‌ای در روابط بهبود رفتار در نزدیکی دیواره                                      |
| ۶۲۵ | قوانین بهبود یافته دیواره برای مومنتم و انرژی                                             |
| ۶۲۸ | روابط Menter-Lechner برای حل جریان نزدیک دیواره در مدل‌های برپایه معادله $\epsilon$       |
| ۶۳۳ | دیدگاه حل مستقل از $y^+$ جریان در نزدیکی دیواره برای مدل‌های برپایه معادله $\omega$       |
| ۶۳۷ | تابع دیواره نوشته شده توسط کاربر                                                          |
| ۶۴۰ | نحوه برخورد با دیواره در روش LES                                                          |
| ۶۴۱ | $y^+$ و $y^-$ حل گر                                                                       |
| ۶۴۱ | نحوه اعمال اثرات زبری دیواره                                                              |
| ۶۴۸ | نحوه اعمال اثرات تراکم‌پذیری در نرم‌افزار CFX                                             |
| ۶۵۰ | نحوه برخورد با دیواره در سطح مشترک محیط‌های متخلخل در نرم‌افزار FLUENT                    |
| ۶۵۳ | استراتژی انتخاب تابع دیواره مناسب                                                         |
| ۶۵۴ | راهنمای تولید شبکه محاسباتی از دید مدل‌های اغتشاشی                                        |
| ۶۵۴ | حداقل فاصله بین نقاط                                                                      |
| ۶۵۵ | حداقل تعداد نقاط                                                                          |
| ۶۵۶ | مدل‌های نوشته شده توسط کاربر                                                              |
| ۶۶۱ | مدل‌سازی اغتشاشات در جریان‌های چندفازی                                                    |

## مقدمه

نزدیک به شش سال پیش، و پس از تدریس چندین دوره شبیه‌سازی مقدماتی و پیشرفته نرم‌افزار فلوئنت در دانشگاه صنعتی شریف، ایده نگارش کتابی در زمینه آموزش مباحث شبیه‌سازی CFD مطرح گردید تا عنوان مرجعی در کلاس‌های آموزش این نرم‌افزار مورد استفاده قرار گیرد. از آن جهت که این مباحث مقدماتی، تعداد بسیاری کتاب، به زبان فارسی در دسترس بود، تصمیم گرفته شد، تنها به مباحث پیشرفته، مانند آموزش کدنویسی و شبکه‌های متحرک پرداخته شود. نگارش کتاب از همان زمان و بر پایه نسخه ۶ نرم‌افزار فلوئنت آغاز شد، اما با گذشت زمان، بارها به خاطر شغله کاری، نگارش متوقف گردید. در نهایت پس از مدتی، بخش قابل توجهی از مباحث پیشرفته مورد نظر، آماده گردید. همزمان با اتمام بخش‌های پیشرفته نرم‌افزار و با حضور در کلاس‌های مختلف دانشگاهی و صنعتی، به پیشنهاد دانشجویان، تصمیم گرفته شد، بخشی از مباحث مقدماتی که دارای کاربرد گسترده‌تری هستند، به عنوان کتاب اضافه شود تا به عنوان مرجع برای طیف گسترده‌تری از دانشجویان، مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به مشکلات دیده‌شده در روش‌های پایه شبیه‌سازی، بخش‌هایی از اصول شبیه‌سازی صحیح در نرم‌افزار فلوئنت و همچنین اصول تنظیمات حل گر و شرایط مرزی به کتاب اضافه گردید و به تدریج کتابی با موضوع نرم‌افزارهای فلوئنت و گمبیت شامل مباحث مقدماتی و پیشرفته شکل گرفت. لیکن پس از آن، در پروژه‌های مختلف و به فراخور، از نرم‌افزارهای دیگری همچون CFX، TGrid و ICEM-CFD استفاده گردید و به دلیل تناسب و توانمندی هر یک در گسترده‌ای از پروژه‌های صنعتی، تصمیم گرفته شد بخش‌هایی از کتاب، به آموزش این نرم‌افزارها اختصاص یابد. یکی دیگر از مسائلی که روند تکمیل کتاب را تغییر داد، نرم‌افزار گمبیت بود که تا سال‌های ۲۰۰۶، به عنوان همراه همیشگی فلوئنت، مورد استفاده فراوانی قرار می‌گرفت، لیکن با گذشت زمان، خریداری فلوئنت توسط انسیس و عدم پشتیبانی انسیس از گمبیت، تصمیم به حذف بخش قابل توجهی از فصول آموزش گمبیت و جایگزینی آن با نرم‌افزار ICEM-CFD گرفته شد. این بخش یکی از سخت‌ترین بخش‌های

تالیف کتاب بود، چرا که می‌بایست فصولی که با زحمت و دقت فراوان نگاشته و بارها بازبینی و تصحیح شده بود، حذف و با فصولی جدید جایگزین می‌شد. از طرفی در آن زمان، غالب بخش‌های صنعتی و دانشگاهی کشور از این نرم‌افزار استفاده می‌کردند و معرفی نرم‌افزار جدیدی به عنوان جایگزین آن، قدری مشکل بود. با این وجود، با جایگزینی تدریجی ICFE- CFD به جای گمبیت، در دوره‌های دانشگاهی و صنعتی و همچنین برگزاری دوره‌های مختلف تخصصی این نرم‌افزار در صنایع کشور، قدری بر اقبال به این نرم‌افزار اضافه شد. در نهایت پس از بازنویسی فصولی از کتاب با استفاده از ICFE- CFD، همچنان دو فصل جامع گمبیت و برای استفاده دو گروه حفظ گردید. اول صنایع و دانشگاهیانی که از سال‌های گذشته از این نرم‌افزار استفاده کرده و می‌کنند و علاقه‌مند به استفاده از این کتاب هستند و بنابراین برایشان امکان جایگزینی نرم‌افزار تولید شبکه در بازه‌ای کوتاه وجود ندارد و دوم دانشجویانی که به دلایل مختلف مانند سادگی کار با این نرم‌افزار، نیازمند آموختن گمبیت هستند.

این کتاب را آغاز، با نگاهی به مشکلات اساسی دانشجویان و صنعت‌گران در پروژه‌های CFD، شرح می‌دهد و بنابراین در نگارش آن، همواره سعی شده است، علاوه بر آموزش روش‌های شبیه‌سازی، اصول حاکم و روش‌های دستیابی به نتایجی قابل اعتماد نیز آموخته شود. تلاش شده است، در هر بخش، دلیل استفاده از تنظیمات و یا مدلی خاص نیز ذکر گردد. همچنین پس از نگارش بخش‌هایی از کتاب، تصمیم گرفته شد، به منظور استفاده از تجربیات متخصصان CFD کشور، از همکاری مولفانی دیگر نیز برای نگارش کتاب استفاده شود. مولفانی با تجربه کافی در انجام پروژه‌های صنعتی و تحقیقاتی، در کنار آن، به منظور اطمینان از روانی متون و روش‌های آموزش نرم‌افزار، برنامه‌ریزی‌هایی صورت گرفت تا بخش‌هایی از کتاب، پیش از انتشار در اختیار دانشجویان قرار گیرد. نظرات آن‌ها در بازنویسی و ویرایش کتاب اعمال گردد. در این مسیر از کمک و همیاری دانشجویان و مهندسان بسیاری بهره برده شد که متأسفانه به دلیل تعداد بسیار زیاد این دوستان و زامنه‌ها، نام برخی در گذر زمان، امکان درج نام تمامی آن‌ها وجود ندارد. دانشجویانی که در سرفصل‌ها، متون کتاب را با دقت خواندند و با استفاده از نظرات آن‌ها، توانستیم، بخش‌هایی از کتاب را ویرایش و بازنویسی کنیم. به نحوی که برقراری ارتباط و استفاده از مطالب آن، برای خوانندگان آسان‌تر باشد. بسیاری از این دانشجویان و کارشناسان، در حال حاضر در دانشگاه‌ها و صنایع مختلف کشور و همچنین سایر نقاط دنیا، مشغول به انجام پروژه‌های مهندسی، تحقیقاتی و یا تدریس هستند و در اینجا از تمامی آن‌ها تشکر و قدردانی می‌کنم. در طی روند بازخوانی کتاب، متأسفانه بخش‌هایی از متونی که توسط برخی از مولفان تهیه شده بود، با اقبال چندانی مواجه نشد و به ناچار از ویرایش فعلی حذف گردید تا برای استفاده در ویرایش‌های بعدی، پس از بازبینی و نزدیک شدن به ساختار فعلی کتاب، مورد استفاده قرار گیرد. در کنار این‌ها، فصل اصول شبیه‌سازی آشفتگی، تالیف آقای مهندس زین‌العابدینی، یکی از فصولی بود که مورد استقبال قرار گرفت و به دلیل جامع بودن مطالب و امکان استفاده گروه زیادی از دانشجویان، برای چاپ در ویرایش پیش‌رو، در نظر گرفته شد. زحمات تمامی مولفانی که بخش‌هایی را برای

کتاب تالیف نمودند، لیکن امکان استفاده از مطالبشان در این ویرایش از کتاب، فراهم نگردید نیز قابل تقدیر، احترام و سپاس است.

در کنار بخش‌هایی که برای ویرایش اول کتاب در نظر گرفته شده است، بسیاری مباحث کاربردی دیگر نیز برای ارائه در ویرایش‌های بعدی و به عنوان نسخه‌های تکمیلی پیش‌بینی شده است، که پس از انتشار کتاب و دریافت نظرات خوانندگان، نگارش آن‌ها برنامه‌ریزی خواهد شد. توربوماشینری، انتقال حرارت، تشعشع، جریان‌های چندفازی و احتراق، برخی از موضوعاتی است که بدین منظور، در نظر گرفته شده است.

همچنین به منظور فراهم آوردن فضایی مناسب جهت بحث و گفتگوی خوانندگان کتاب و شبیه‌سازان CFD کشور، باشگاهی به زبان فارسی، بر روی پایگاه اینترنتی شرکت خدمات مهندسی پیتک ایجاد گردیده، که در تالارهای تخصصی آن، می‌توان بسیاری از سوالات و گفتگوهای تخصصی را، در حوزه‌های مختلف CFD، طرح و پیگیری نمود.

با تمام دقتی که در نگارش و ویرایشی کتاب صورت پذیرفته است، باقی‌ماندن مشکلات نگارشی و ساختاری، دور از ذهن نیست. بنا بر این همزمان با انتشار کتاب، فرم ثبت‌نامی برای خوانندگان کتاب در منوی ثبت‌نام صفحه اول وبسایت شرکت، قرار داده شده است که خریداران کتاب، می‌توانند به آسانی در آن ثبت نام کرده و به جمع خوانندگان بپیوندند. از سوی دیگر پرسش‌ها و مشکلات مطرح‌شده در باشگاه مهندسان پیتک و تالار تخصصی کتاب، مورد بررسی و پیگیری منظم قرار خواهد گرفت و در صورت گزارش مشکل از نظر نگارش و یا روش انتقال مفهوم، تصحیح هر بخش، برای خوانندگان ثبت‌نام شده در وبسایت، ارسال خواهد شد تا در حد امکان، بهره‌مندی از کتاب با کمترین مشکلات صورت پذیرد.

تالیف و انتشار این کتاب، پس از لطف خداوند، بیش از هر چیزی، به زحمات و پشتیبانی مادی و معنوی شرکت خدمات مهندسی پیتک و خصوصاً دپارتمان آموزش و CFD آن است که در سال ۱۳۸۸، با همراهی گروهی از دوستان تاسیس گردید. در این سال‌ها، بسیاری از صنایع، دانشگاه‌ها و دانشجویان کشور، از خدمات آن بهره برده‌اند.

در انتها از زحمات فراوان تمامی دوستان و همکارانی که در نگارش، بازخوانی، ویرایش، چاپ، گرافیک و طراحی جلد، صفحه‌آرایی و پیگیری امور مجوز و در نهایت چاپ و پخش کتاب، ما را همراهی نمودند، صمیمانه سپاسگزاری می‌کنم و آرزو مندم، کتابی که در طی سالیان، همراه با ارادت فراوان، برای دانشجویان و مهندسان این مرز و بوم نگاشته شده‌است، مورد اقبال قرار گیرد.

با احترام

احسان‌اله سعادت‌ی

تهران - هجدهم خردادماه ۱۳۹۴