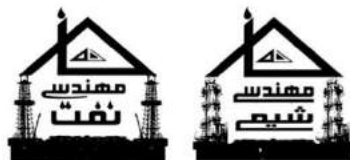




سرشناسه	: پورپروانه، علیرضا، ۱۳۶۸ -
عنوان و نام پدیدآور	: شبیه سازی تجهیزات فرآیندی با استفاده از نرم افزار COMSOL Multiphysics به تالیف علیرضا پورپروانه، محمدحسن مقصدلو؛ تدوین و تنظیم خانه مهندسی شیمی و نفت ایران.
مشخصات نشر	: تهران: ساره و ستاره، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۴۴۵ص: مصور، جدول.
شابک	: ۱۳۵۰۰۰۰ ریال 4-0-978-622-98696-0
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۴۴۲-۴۴۴.
موضوع	: نرم افزار کامسول مالتی فیزیکس
موضوع	: COMSOL Multiphysics
موضوع	: دینامیک سیالات محاسباتی -- نرم افزار
موضوع	: Chemical engineering -- Computer simulation
شناسه افزوده	: مقصدلو، محمدحسن، ۱۳۷۵-
شناسه افزوده	: خانه مهندسی شیمی ایران
شناسه افزوده	: خانه مهندسی نفت ایران
رده بندی کنگره	: QC۵۲
رده بندی دیویی	: ۱۵/۵۳۰
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۴۵۱۶۱۳

عنوان کتاب شبیه سازی تجهیزات فرآیندی با استفاده از نرم افزار COMSOL
 نویسندگان : علیرضا پورپروانه، محمد حسن مقصدلو
 تدوین و تنظیم : خانه مهندسی شیمی و نفت ایران
 ناشر انتشارات ساره و ستاره
 سال نشر ۱۴۰۰
 تیراژ ۱۰۰
 نوبت چاپ اول
 چاپ آرمانی
 قیمت ۱/۳۵۰/۰۰۰ ریال
 شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۹۸۶۹۶-۰-۴

تمامی حقوق این اثر برای "خانه مهندسی شیمی و نفت ایران" محفوظ است.



شمیه سازی تجہیزات فرآیندی با استفاده از نرم افزار
COMSOL Multiphysics

بہ تالیف:

علیرضا پور پروانہ - محمد حسین مقصودلو

جهت کسب اطلاعات بیشتر و خرید آنلاین این کتاب به وب سایت های رسمی «خانه مهندسی شیمی و نفت ایران» به آدرس زیر مراجعه فرمایید:

www.ChemeHome.com

www.Petedep.com

فهرست

پیشگفتار.....	۷
فصل اول: آموزش جامع به همراه شبیه‌سازی میکسر غیر فعال.....	۹
فصل دوم: ردیابی ذرات میکروسکوپی در یک میکرومیکسر مجهز به پره‌های چرخان.....	۱۰۳
فصل سوم: سیستم‌های تهویه هوا.....	۱۵۹
فصل چهارم: راکتور کاتالیستی بستر ثابت	۱۹۵
فصل پنجم: مبدل پوسته و لوله در دو حالت دوبعدی و سه‌بعدی.....	۲۴۸
فصل ششم: مبدل صفحه‌ای با جریان ناهمسو.....	۳۴۷
فصل هفتم: عملکرد پمپ مجهز به غشاء الاستیک (فلپ).....	۳۹۰
منابع و مراجع	۴۳۶

تقدیم می‌کنیم به استوارترین تکیه‌گاهم، پدرم که بهانه بوسیدن دست‌هایی که عمری به پای بالیدن ما چروک شد و در پناهش به شجاعت
می‌کراییم. به سبزترین نگاه زندگیم، مادرم که سرشار از عاطفه و گرمای امیدبخش وجودش در سردترین روزگار بهترین پشتیبان
است. ما هرچه آموختیم در مکتب عشق شما آموختیم و هرچه بگوئیم قطره‌ای از دریای بی‌کران محبتتان را پاس توانیم بگوئیم.

بوسه بردستان پر مهرتان...

پیشگفتار

در دنیای امروز با پیشرفت تکنولوژی و همّت محققین، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی متفاوتی به بازار عرضه شده، که علیرغم آن قدمت کم، با توجه به کاربرد وسیع آن در بسیاری از زمینه‌ها در سال‌های اخیر مورد استقبال بسیاری از دانشجویان، اساتید، محققین و صنعت‌گران قرار گرفته است. از جمله این کاربردها می‌توان به صنایع خودروسازی، توربوماشین‌ها، صنایع هسته‌ای، صنایع نظامی، صنایع نفت و گاز و انرژی و بسیاری از موارد گسترده صنعتی اشاره کرد. علاقمندی مهندسیین به حل مشکلاتی از قبیل بالا بودن هزینه ایجاد واحدهای صنعتی، پایین بودن راندمان تولید، کیفیت نامطلوب محصولات، تخریب محیط زیست، پایین بودن راندمان مصرف انرژی و عدم وجود ایمنی کافی در واحدها، استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی را گریزناپذیر کرده است. نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) یکی از روش‌هایی است که به کمک آن می‌توان از سیستم‌های شامل جریان سیال، انتقال حرارت و انتقال جرم (همراه یا بدون) واکنش شیمیایی را بر اساس شبیه‌سازی کامپیوتری تحلیل کرد. در این روش با مجزاسازی، معادلات دیفرانسیل جزئی حاکم بر سیالات به معادلات جبری تبدیل شده و شرایطی فراهم می‌شود تا معادلات به صورت عددی حل شود، زیرا حل کردن معادلات جبری به روش عددی به مراتب آسان‌تر خواهد بود. با تقسیم محدوده‌ی حل به المان‌های کوچک‌تر و سپس تعریف معادلات برای هر المان براساس شرایط مرزی مسئله و سپس حل همزمان تمام معادلات می‌توان مقادیر سرعت، دما، غلظت و دیگر پارامترهای مربوطه را در هر نقطه بدست آورد. همچنین می‌توان با استفاده از داده‌های بدست آمده، مقادیر مربوط به ضرایب تعریف شده در انتقال مومنتوم، حرارت و جرم سیالات را محاسبه کرد.

یکی از جدیدترین و قوی‌ترین نرم‌افزارهای موجود در زمینه شبیه‌سازی، نرم‌افزار COMSOL Multiphysics می‌باشد. این نرم‌افزار یک مجموعه کامل شبیه‌سازی است که می‌تواند معادلات دیفرانسیل سیستم‌های غیر خطی را توسط مشتق‌های جزئی به روش اجزاء محدود در فضاهای یک، دو و سه بعدی حل نماید. هسته اصلی این نرم‌افزار که مبنی بر روش‌های عددی المان‌های محدود است، می‌تواند چند مدل مختلف فیزیکی را در قالب یک پروژه و به صورت همزمان مورد تحلیل قرار دهد. نرم‌افزار COMSOL Multiphysics، پدیده‌های دنیای پیرامون ما را به صورت معادلات حاکم بر آن پدیده توصیف می‌کند. همچنین این برنامه امکان تعامل با نرم‌افزارهای مهندسی دیگر مانند MATLAB، AutoCAD، SOLIDWORKS، Excel و... را دارد.

کتاب حاضر حاصل گردآوری تجربیات آموزشی مولفین در صنعت و دانشگاه‌های کشور و همچنین استفاده از این نرم‌افزار در تحقیقات علمی می‌باشد که در بخش مراجع به آن‌ها اشاره شده است. مطالب این کتاب طوری طراحی شده است که کاربران با خواندن آن اصول شبیه‌سازی بر مبنای دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) را فرا گیرند و بتوانند این اصول را در نرم‌افزارهای مشابه دیگری به کار گیرند. در اکثر فصول این کتاب سعی

شده است که اطلاعات تئوری مورد نیاز آن فصل، برای خواننده بازگو شود. در تألیف هر فصل نحوه آموزش بر این فرض استوار بوده است که خواننده از محیط نرم‌افزار در ارتباط با آن فصل هیچگونه آشنایی نداشته و در هر جایی که لازم باشد، پیش نیاز تئوری از ابتدا به طور جامع توضیح داده شده و از تمامی مراحل اجرای نرم‌افزار تصویر گرفته شده و در همان قسمت گنجانده شده است. در این کتاب به جای ترجمه صرف راهنماهای موجود برای این نرم‌افزار، مثال‌ها، تفاسیر و اصول هدفمندی برگرفته از متون معتبر علمی قرار داده شده است که برای دانشجویان رشته‌های مهندسی در هر مقطعی مناسب می‌باشد. همچنین تمامی مثال‌ها و مطالب موجود در این کتاب به وسیله آخرین نسخه موجود در بازار طراحی و آموزش داده شده است.

مجموعه‌ی حاضر شامل هفت فصل می‌باشد که در هر فصل مثال‌های متنوع و کاربردی در راستای شبیه‌سازی سیستم‌های فرآیندی در تجهیزاتی از قبیل: میکسرها، راکتورها، مبدل‌ها و پمپ آورده شده است. علاوه بر این در فصل اول علاوه بر آموزش گام‌به‌گام شبیه‌سازی میکرومیکسر، به آموزش جامع محیط، قابلیت‌ها و تمامی امکانات نرم‌افزار COMSOL Multiphysics پرداخته شده است. این آموزش جامع و متمایز سبب شده که مخاطبین این کتاب منحصر به تخصص و رشته خاصی نباشند و آن را برای تمامی رشته‌های فنی و مهندسی مناسب نموده است.

بدیهی است هیچ اثر علمی، ادبی و یا هنری نمی‌تواند مبرا از عیب و نقص باشد، از این رو از اساتید، دانشجویان، محققان و صنعتگران محترم خواهشمندم هرگونه پیشنهاد و یا انتقادی را که در راستای بهتر شدن این اثر در چاپ‌های بعدی لازم می‌بینند، به آدرس پست الکترونیکی Chemehome.info@gmail.com ارسال نمایند. امید است که این زحمت ناچیز ضمن قبولی در پیشگاه الهی، مورد توجه صاحب‌نظران و علاقه‌مندان در این زمینه قرار گیرد.

در پایان لازم می‌دانیم تا مراتب تشکر و قدردانی خود را از سرکار خانم دکتر زهره بازرگانی را اعلام نماییم. همچنین از زحمات و همکاری سرکار خانم پریسا درویشی، دکتر مجید مهدویان، مهندس محمود محمدی و کانون ملی نخبگان جوان و خانه مهندسی شیمی ایران صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم.

مهندس علیرضا پورپروانه

تابستان ۱۴۰۰

فصل اول: آموزش جامع به همراه شبیه‌سازی میکسر غیر فعال

مقدمه

کانال‌ها بر حسب اندازه و یا به عبارت بهتر قطر هیدرولیکی‌شان به کانال‌همرفتی، مینی‌کانال، میکروکانال، کانال گذرا و کانال مولکولی تقسیم می‌شوند. در فرایند صنعتی مفهوم میکروتکنولوژی به عملکرد ابزارهای کوچکی بر می‌گردد که عناصر واحد عملیاتی و واکنش را برای صرفه‌جویی در انرژی و فضا یکپارچه می‌کنند. دستگاه‌های میکروسیالی به دستگاه‌هایی اطلاق می‌شود که حداقل یکی از ابعاد آن دارای مقیاس میکرومتر می‌باشد. این دستگاه‌ها بر از ساختمان‌های مداری شکل است که به عنوان تراشه‌های میکروسیالی نامیده می‌شوند. برای این سیستم‌ها مقدار اندکی از مواد مورد نیاز است که علاوه بر اینکه باعث کاهش هزینه می‌شود، ایمنی بیشتری را در سیستم‌ها (به دلیل مواد عبوری کمتر و کنترل بهتر) ایجاد می‌کند.

به دلیل کاربردهای وسیع میکرواختلاط‌گرها^۱ در همگن‌سازی، واکنش شیمیایی، پراکنده‌سازی و امولوسیون‌سازی، بازده اختلاط در این دستگاه‌ها برای دستیابی به عملکرد کلی فرایند بسیار مهم است. در اختلاط میکرو، مولکول‌ها به جای گردابه‌ها نقش اصلی را در اختلاط ایفا می‌کنند. به عبارت دیگر نفوذ در مقیاس مولکولی انجام می‌گیرد. ایجاد یک مخلوط یکنواخت در میکروکانال‌ها مشکل است، زیرا جریان آرام که در بیشتر جریان‌های میکرو اتفاق می‌افتد، باعث کند شدن روند اختلاط می‌گردد. مخلوط شدن مؤثر در این دستگاه‌ها اساساً به وسیله طراحی هوشمندانه هندسه کانال است، که برای افزایش مناطق تماس دو سیال با یکدیگر در نرخ‌های بالا به دست می‌آید. خصوصیت اصلی مکانیزم‌های مؤثر در اختلاط در میکروکانال‌ها برای بسیاری از مایعات در عدد پکلت^۲ بالا و رینولدز پایین، ایجاد شکل‌های منبسط‌کننده و تاکننده برای ایجاد آشفتگی می‌باشد. بسیاری از واکنش‌های شیمیایی هستند که دارای ضریب پخش پایین می‌باشند، بنابراین بدون آشفتگی، زمان واکنش ممکن است به شدت طولانی شود. خواص سیال مانند دانسیته، ویسکوزیته و ضریب پخش با تغییر در متغیرهایی مانند دما و کسر جرمی اجزاء تغییر می‌کند؛ از این رو این تغییرات باید وقتی در نظر گرفته شود که ارزیابی مخلوط دو سیال توسعه یابد.

میکرواختلاط‌گرها به دو دسته اصلی فعال و غیرفعال تقسیم می‌شوند. در میکرواختلاط‌گرهای فعال، اختلاط توسط یک عامل خارجی مانند میدان الکتریکی، مغناطیسی، نوسانات فشار^۳، امواج صوتی و غیره صورت می‌گیرد، در حالی که در میکرواختلاط‌گرهای غیرفعال، اختلاط از تعامل جریان اصلی با هندسه کانال که به

¹ Micromixers

² Peclet number

³ Pressure Perturbation

طور خاص طراحی شده است (مانند کانال‌های متقاطع، زیگزاگی، مانع‌دار)، بدون هیچ گونه انرژی خارجی صورت می‌گیرد.

معادلات حاکم و روش حل عددی

برای بررسی کارایی اختلاط، معادلات جریان به همراه معادله پخش باید به صورت همزمان در هندسه‌های مورد نظر حل گردند. با فرض جریان آرام، دائمی و دو بعدی یک مخلوط دو جزئی از سیالات لزج و تراکم ناپذیر، معادلات حاکم ساده می‌گردند. برای شبیه‌سازی پدیده اختلاط، باید میدان جریان دو سیال همراه با معادلات انتقال جرم به صورت همزمان حل گردند. برای مرتبط نمودن معادلات پیوستگی و اندازه حرکت خطی از مفهوم تراکم‌پذیری مصنوعی استفاده می‌گردد.

$$\frac{\partial \tilde{\rho}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (1)$$

که در آن $\tilde{\rho}$ چگالی مصنوعی می‌باشد که به وسیله سرعت مصنوعی a به فشار مرتبط می‌شود:

$$\frac{P}{\tilde{\rho}} = \beta = a^2 \quad (2)$$

که در معادله (۲)، P فشار و β ضریب تراکم‌پذیری مصنوعی است که معمولاً بین ۳ تا ۱۰ تغییر می‌کند. بنابراین معادله پیوستگی به وسیله نرخ زمانی فشار به معادلات اندازه حرکت خطی مرتبط می‌شود.

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \beta \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (3)$$

معادلات اندازه حرکت خطی با توجه به فرضیات اساسی صورت گرفته به صورت معادله (۴) می‌باشد:

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + (V \cdot \nabla) \rho V = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu \nabla V) \quad (4)$$

که در معادله (۴)، μ ویسکوزیته دینامیکی و خواص فیزیکی مخلوط با مکان تغییر می‌کند که برای یافتن مقدار آن در هر نقطه باید معادلات انتقال جرم هر ذره را حل نمود.

نسبت جرمی هر ذره به صورت نسبت جرم ذره به جرم مخلوط توسط معادله (۵) توصیف می‌شود:

$$m_j = \frac{\rho_j}{\rho} \quad (5)$$

همچنین رابطه بین نسبت‌های جرمی در یک مخلوط دوتایی برابر است با:

$$\sum_{j=1}^n m_j = 1 \Rightarrow m_1 + m_2 = 1 \quad (6)$$

برای توصیف نفوذ دو سیال در یکدیگر قانون فیک^۱ در نظر گرفته شده است. معادله انتقال جرم در یک مخلوط دوتایی به صورت زیر می‌باشد:

$$G_{diffusion} = -\rho D \nabla m \quad (۷)$$

که در معادله (۷)، D ضریب نفوذ (m^2/s) می‌باشد. قانون نفوذ فیک نشان می‌دهد که شار نفوذ بر خلاف جهت گرادیان نسبت جرمی عمل می‌کند. با به کارگیری این مفاهیم، معادله انتقال جرم هر ذره به صورت معادله (۸) توصیف می‌شود:

$$\frac{\partial \rho m_j}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho m_j V) = D \nabla \cdot (\rho \nabla m_j) \quad (۸)$$

معادلات حاکم باید به صورت همزمان و وابسته به زمان حل شوند تا به جواب حالت دائمی برسند. در هر گام زمانی باید خواص فیزیکی مخلوط محاسبه گردد که برای محاسبه از معادله (۹) استفاده می‌شود:

$$\rho = \sum_{j=1}^n m_j \rho_j \quad , \quad \mu = \sum_{j=1}^n m_j \mu_j \quad n = 1,2 \quad (۹)$$

برای بی‌بعد سازی معادلات از مقادیر میانگین خواص مخلوط، عرض کانال، سرعت میانگین ورودی استفاده می‌شود. با توجه موارد ذکر شده، مقادیر میانگین برابر است با:

$$\bar{\rho} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \rho_j \quad , \quad \bar{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mu_j \quad , \quad \bar{u} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_j \quad (۱۰)$$

بنابراین معادلات اندازه حرکت خطی به صورت معادله (۱۱) توصیف می‌شود:

$$\frac{\partial \rho V}{\partial t} + (V \cdot \nabla) \rho V = -\nabla P + \frac{1}{Re} \nabla \cdot (\mu \nabla V) \quad (۱۱)$$

معادلات انتقال جرم به صورت معادله (۱۲) توصیف می‌شود:

$$\frac{\partial \rho m_j}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho m_j V) = \frac{1}{Pe} \nabla \cdot (\rho \nabla m_j) \quad (۱۲)$$

که در آن‌ها اعداد بی بعد رینولدز، اشمیت و پکلت به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\begin{aligned} Re &= \frac{\bar{\rho} \bar{u} l}{\bar{\mu}} \\ Sc &= \frac{\bar{\mu}}{\bar{\rho} D} \\ Pe &= Re \cdot Sc \end{aligned} \quad (۱۳)$$

در معادله (۱۳)، l طول مشخصه (در اینجا پهنای کانال ورودی) می‌باشد. معادلات حاکم بی‌بعد باید همراه شرایط مرزی مناسب حل شوند. بنابراین در اعداد رینولدز پایین، در ورودی بردار سرعت و در خروجی میدان

^۱ Fick's Law

فشار به صورت فیزیکی معلوم می‌باشند. همچنین در ورودی بر اساس غلظت مقدار نسبت جرمی معلوم و مقدار آن در خروجی پس از حل معادلات به دست می‌آید. در غیاب مکش و دمش از دیواره و واکنش شیمیایی، شرط مرزی روی دیوار برای معادلات انتقال جرم به صورت معادله (۱۴) بیان می‌شود:

$$G_{wall} = -\rho D \nabla m_j = 0 \quad (14)$$

همچنین بر اساس غلظت، انتقال جرم به صورت ثابت در ورودی طبق معادله (۱۵) حاکم می‌باشد.

$$C_{in} = \begin{cases} C_0 & x < 0 \\ 0 & x \geq 0 \end{cases} \quad (15)$$

در خروجی شرایط انتقال جرم معادله (۱۶) حاکم می‌باشد.

$$n \cdot (-D_i \nabla c_i) = 0 \quad (16)$$

با توجه به معادله (۱۶) می‌توان دریافت که گرادیان غلظت در مرز خروجی قابل چشم پوشی می‌باشد. در بقیه مرزها طبق معادله (۱۷) شرایط عایق در نظر گرفته می‌شود.

$$n \cdot (-D_i \nabla c_i + c_i u) = 0 \quad (17)$$

در معادله (۱۷)، n شماره مرز می‌باشد.

همچنین روی دیواره کانال‌ها شرط مرزی عدم لغزش اعمال شده است.

کمیت مهمی قابلیت میکرومیکسر در اختلاط دو سیال را نشان می‌دهد، درجه اختلاط^۱ است که در هر مقطعی از کانال اختلاط می‌توان طبق معادله (۱۸) محاسبه گردد:

$$DM = 1 - \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{c_i - \bar{c}}{\bar{c}} \right)^2} \quad (18)$$

که در معادله (۱۹)، c_i غلظت اجزا در خروجی که مقدار غلظت از صفر تا یک تغییر می‌کند که صفر نشان دهنده عدم وجود جرم در آن نقطه و یک نشان دهنده این است که جرم تمام محل مورد نظر را فراگرفته است، \bar{c} غلظت خروجی در میکرومیکسر ایده‌آل (که برابر ۰/۵ است) و N تعداد ورودی‌ها می‌باشد. درجه

^۱ Mixing Degree

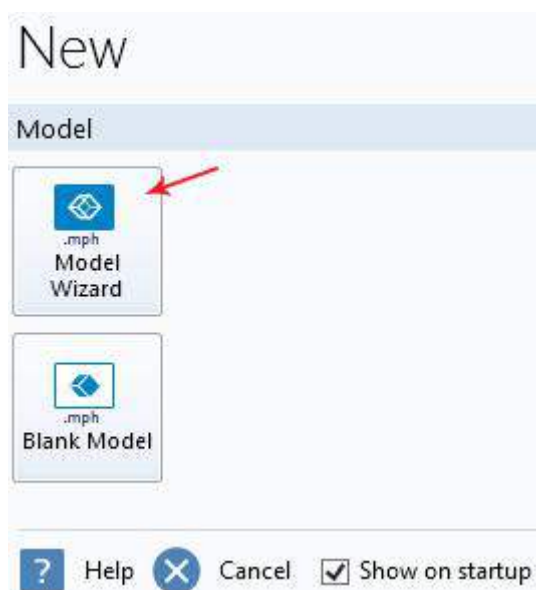
اختلاط بر حسب درصد از صفر تا صد درصد تقسیم می‌شود. هرچه این مقدار بیشتر باشد اختلاط کامل‌تری رخ می‌دهد و بالعکس، هرچه این مقدار کمتر باشد، اختلاط ناقص‌تری رخ می‌دهد.

دستورالعمل شبیه‌سازی

نرم افزار را اجرا کنید.

پس از راه اندازی نرم‌افزار، در پنجره New با دو گزینه روبه‌رو می‌شوید. با انتخاب گزینه Model Wizard، مراحل مربوط به انتخاب ابعاد هندسه، مد کاربری و نوع حل مسئله به ترتیب نمایش داده می‌شود و می‌توان کلیات مربوط به مدل را از همین ابتدا مشخص کرد، اما با انتخاب گزینه Blank Model بدون در نظر گرفتن ابعاد هندسه، مد کاربری و نوع حل مسئله مستقیم وارد محیط شبیه‌سازی شده و در آنجا می‌توان تنظیمات را اعمال کنیم.

بر روی Model Wizard کلیک کنید.

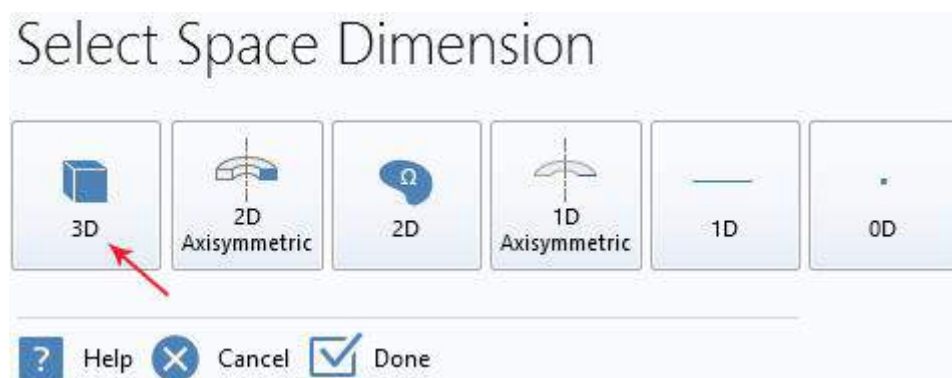


شکل ۱-۱: انتخاب Model Wizard

لازم به ذکر است که اگر در پنجره New، تیک مربوط به Show on startup را برداریم دیگر این پنجره نشان داده نمی‌شود.

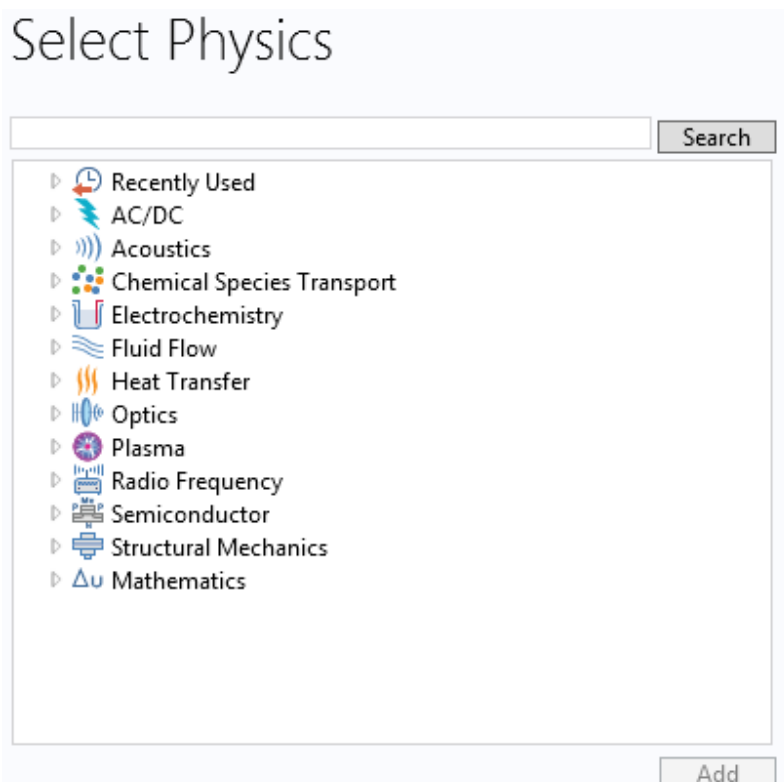
حال وارد پنجره Select Space Dimension می‌شوید. در این پنجره می‌توانید شما یکی از گزینه های 0D (بدون بعد)، 1D (یک بعدی)، 1D Axisymmetric (۱ بعدی متقارن)، 2D (دو بعدی)، 2D Axisymmetric (بدون بعد)،

(دوبعدی متقارن) و 3D (سه‌بعدی) را به عنوان بعد هندسه انتخاب کنید. لازم به ذکر است وقتی یکی از گزینه های Axisymmetric را انتخاب می کنید، هندسه مدل به صورت تقارن محوری در نظر گرفته می شود. در پنجره Select Space Dimension بر روی 3D کلیک کنید تا حالت سه‌بعدی برای مسئله انتخاب شود.



شکل ۲-۱: انتخاب بعد مسئله

پس از انتخاب بعد مسئله، وارد پنجره Select Physics می شوید. در این پنجره می توان مدهای کاربری موجود در نرم افزار را مشاهده کنید.

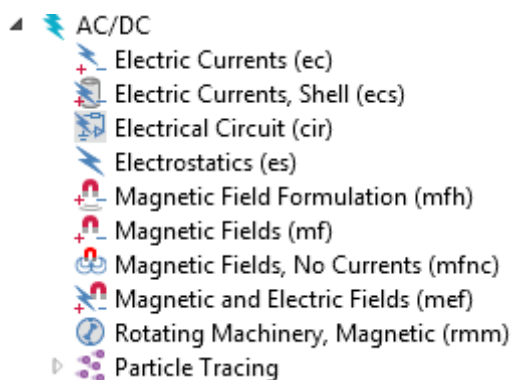


شکل ۳-۱: پنجره مدهای کاربری

همانطور که در شکل (۳-۱) مشاهده می کنید نرم افزار COMSOL Multiphysics از دوازده مد کاربری کلی تشکیل شده که هر کدام از آن ها به چندین زیر بخش دیگر تقسیم می شوند. هر کدام از این مدهای کاربری

رابط فیزیکی مسئله می‌باشند که با انتخاب هر کدام از آن‌ها (بر اساس نوع شبیه‌سازی) تنظیمات و شرایط مرزی مخصوصی در محیط شبیه‌سازی در نظر گرفته می‌شود. در این قسمت با تعدادی از این مدهای کاربری آشنا می‌شویم.

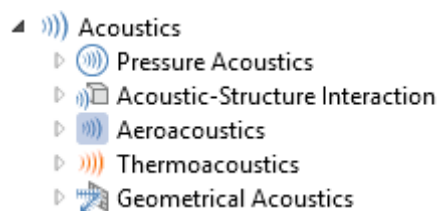
مدکاری AC/DC



شکل ۴-۱: مدکاری AC/DC

به طور کلی این مدکاری برای شبیه‌سازی مسئله‌های الکتریکی و الکترونیکی کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی جریان‌های الکتریکی در محیط‌های مختلف، الکترواستاتیک^۱ و میدان‌های مغناطیسی اشاره نمود.

مدکاری Acoustics



شکل ۵-۱: مدکاری Acoustics

به طور کلی این مدکاری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به آکوستیک کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی آکوستیک فشار، آکوستیک و برهم‌کنش، آکوستیک حرارتی و آکوستیک هندسی در سیالات و جامدات مختلف اشاره نمود.

¹ Electro-static

مدکاری Chemical Species Transport

- Chemical Species Transport
 - Transport of Diluted Species (tds)
 - Transport of Concentrated Species (tcs)
 - Chemistry (chem)
 - Reaction Engineering (re)
 - Nernst-Planck Equations (npe)
 - Transport of Diluted Species in Porous Media (tds)
- Reacting Flow
 - Reacting Flow in Porous Media
 - Rotating Machinery, Reacting Flow
- Surface Reactions (sr)
- Transport of Diluted Species in Pipes (dsp)
- Reacting Pipe Flow (rpfl)

شکل ۶-۱: مدکاری Chemical Species Transport

به طور کلی این مد کاربری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به انتقال اجزای شیمیایی کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی انتقال و نفوذ اجزای مختلف رقیق و غلیظ، مهندسی واکنش‌های شیمیایی^۱، معادلات انتقال نرنست - پلانک^۲، انتقال اجزای رقیق در محیط‌های متخلخل^۳، جریان واکنشی، جریان واکنشی در محیط‌های متخلخل، جریان‌های چرخشی حول دستگاه‌های مجهز به تجهیزات چرخان^۴، واکنش در سطح تجهیزات، انتقال اجزای رقیق در لوله‌ها و جریان‌های واکنشی در لوله‌ها اشاره نمود.

مدکاری Electrochemistry

- Electrochemistry
 - Primary Current Distribution (siec)
 - Secondary Current Distribution (siec)
 - Tertiary Current Distribution, Nernst-Planck (tcdee)
 - Current Distribution on Edges, BEM (cdebem)
 - Electroanalysis (elan)
 - Electrode, Shell (els)
- Battery Interfaces
- Corrosion, Deformed Geometry
- Electrodeposition, Deformed Geometry

شکل ۷-۱: مدکاری Electrochemistry

به طور کلی این مد کاربری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به الکتروشیمی کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی توزیع اولین، دومین و سومین جریان، توزیع جریان روی

¹ Chemical Reaction Engineering

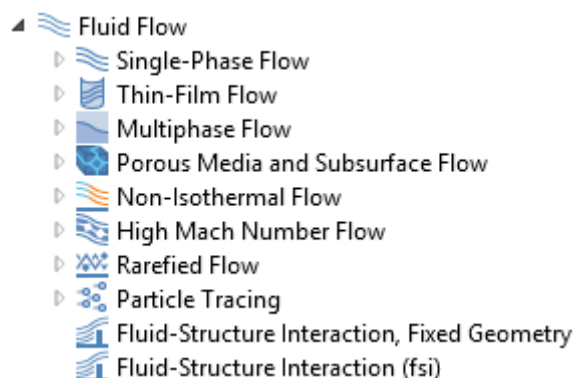
² Nernst-Planck equation

³ Porous Media

⁴ Rotating Machinery

لبنه‌ها، تجزیه شیمیایی بوسیله جریان برق، الکتروود، رابطه‌های باتری، خوردگی در هندسه‌های تغییر شکل داده و جریان الکتریکی ایجاد شده در آب اشاره نمود.

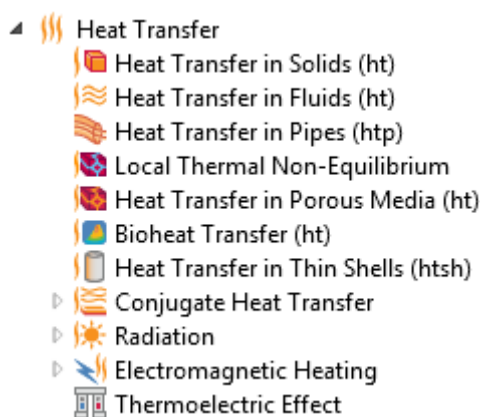
مدکاربری Fluid Flow



شکل ۸-۱: مدکاربری Fluid Flow

به طور کلی این مد کاربری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به جریان سیال کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی جریان سیال آرام و آشفته تک فاز و چند فاز (معادلات ناویر-استوکس)، جریان سیال در محیط‌های متخلخل و آزاد (قانون دارسی، معادلات ریچارد)، جریان‌های غیرهم‌دم، جریان در عدد ماخ بالا، جریان رقیق، ردیابی رفتار ذرات موجود در سیال و جریان و برهم‌کنش ساختارهای ثابت و غیر ثابت و تأثیر سیالات و جامدات بر یکدیگر اشاره نمود.

مدکاربری Heat Transfer



شکل ۹-۱: مدکاربری Heat Transfer

به طور کلی این مد کاربری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به انتقال حرارت کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی انتقال حرارت در جامدات، سیالات، لوله‌ها، محیط متخلخل

و آزاد، انتقال حرارت در پوسته‌های نازک، معادلات بیوحرارتی^۱ برای انتقال حرارت، انتقال حرارت ترکیبی، انتقال حرارت تشعشع، الکترومغناطیس حرارتی و اثرات ترموالکتریک^۲ اشاره نمود.

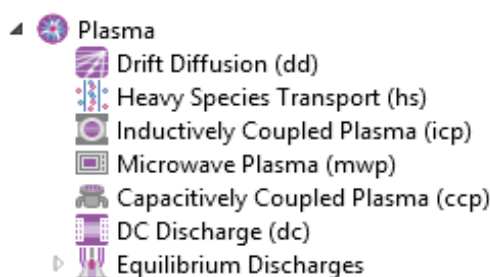
مدکاری Optics



شکل ۱۰-۱: مدکاری Optics

به طور کلی این مد کاری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به فیزیک نور کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی شعاع نور و امواج نور اشاره نمود.

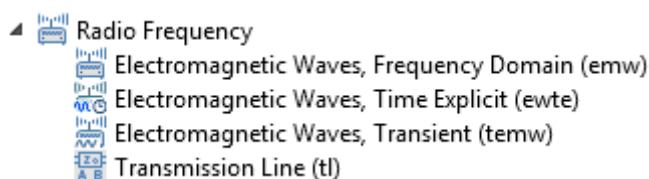
مدکاری Plasma



شکل ۱۱-۱: مدکاری Plasma

به طور کلی این مد کاری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به پلاسما کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی انتقال اجزاء سنگین، استقرار پلاسمای جفت شده، پلاسما مایکروویو، ظرفیت پلاسمای جفت شده، قوس الکتریکی DC و معادلات قوس الکتریکی اشاره نمود.

مدکاری Radio Frequency



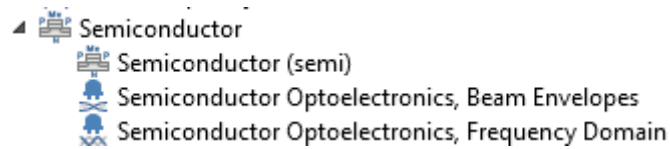
شکل ۱۲-۱: مدکاری Radio Frequency

به طور کلی این مد کاری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به فرکانس رادیویی کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به شبیه‌سازی امواج الکترومغناطیسی و خطوط انتقال برق اشاره نمود.

¹ Bioheat

² Thermo-electric

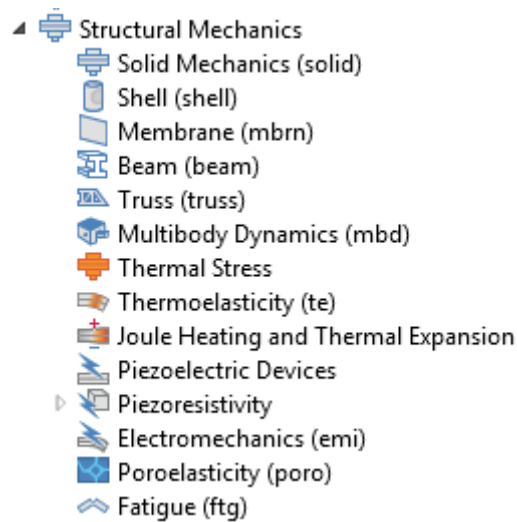
مدکاری Semiconductor



شکل ۱۳-۱: مدکاری Semiconductor

به طور کلی این مد کاری برای شبیه سازی کلیه مسئله های مربوط به اجسام نیمه رسانا کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می توان به شبیه سازی اجسام نیمه رسانا و اپتوالکترونیک های نیمه رسانا^۱ اشاره نمود.

مدکاری Structural Mechanics



شکل ۱۴-۱: مدکاری Structural Mechanics

به طور کلی این مد کاری برای شبیه سازی کلیه مسئله های مربوط به مکانیک ساختاری کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می توان به شبیه سازی مکانیک جامدات، پوسته و صفحه، غشاء^۲، پرتوها، تراس و کابل، تغییرات دینامیک ساختار چند بعدی، تنش دمایی، ترموالاستیسیته^۳، گرمایش ژول و گسترش حرارتی، پیزوالکتریک^۴، الکترومکانیک، الاستیسیته در محیط متخلخل^۵، خستگی^۶ اشاره نمود.

¹ Semiconductor Optoelectronics

² Membrane

³ Thermoelasticity

⁴ Piezoelectric

⁵ Poroelasticity

⁶ Fatigue

مدکاری Mathematics

- ▲ Δu Mathematics
 - ▷ Δu PDE Interfaces
 - ▷ $\frac{d}{dt}$ ODE and DAE Interfaces
 - ▷ Optimization and Sensitivity
 - ▷ ∇^2 Classical PDEs
 - ▷ Moving Interface
 - ▷ Deformed Mesh
 - ▷ Wall Distance (wd)
 - ▷ Mathematical Particle Tracing (pt)
 - ▷ Curvilinear Coordinates (cc)

شکل ۱۵-۱: مدکاری Mathematics

به طور کلی این مدکاری برای شبیه‌سازی کلیه مسئله‌های مربوط به ریاضیات کاربرد دارد. از جمله کاربردهای این رابط فیزیکی می‌توان به حل معادلات PDE و ODE، بهینه‌سازی، معادلات ریاضی ذرات، مش غیریکنواخت، فواصل دیواره اشاره نمود.

برای آشنایی بیشتر و کامل‌تر با مدهای کاربری، می‌توانید به کتاب پدیده‌های انتقال و بهینه‌سازی با نرم‌افزار COMSOL، انتشارات دیباگران تهران، مراجعه نمایید.

پس از انتخاب مد کاربری مورد نظر، بر روی Add و سپس Study کلیک کنید تا وارد مرحله بعد شوید. لازم به ذکر است در صورت لزوم، شما می‌توانید بیش از یک مد کاربری را Add کنید. به علاوه، با کلیک بر روی هر کدام از مدهای کاربری، اطلاعات و ملزومات اولیه مربوط به آن مد را می‌توانید در پنجره سمت راست مشاهده کنید.

حال در ادامه شبیه‌سازی مربوط به این مسئله باید دو مد کاربری را انتخاب کنیم. در پنجره Select Physics مسیر زیر را طی کرده و بر روی Add کلیک کنید:

Chemical Species Transport>Transport of Diluted Species (tds)

- 31- Koyama, Kohei, and Yutaka Asako. "Experimental investigation on heat transfer characteristics of a gas-to-gas counterflow microchannel heat exchanger." *Experimental Heat Transfer* 23.2 (2010): 130-143.
- 32- Hetsroni, G. "Boiling in micro-channels." *Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences* 58.1 (2010): 155-163.
- 33- Qu, Weilin, and Issam Mudawar. "Flow boiling heat transfer in two-phase micro-channel heat sinks—I. Experimental investigation and assessment of correlation methods." *International Journal of Heat and Mass Transfer* 46.15 (2003): 2755-2771.
- 34- Zhang, Zhe, and YanZhong Li. "CFD simulation on inlet configuration of plate-fin heat exchangers." *Cryogenics* 43.12 (2003): 673-678.
- 35- Tieszen, S., et al. "Modeling of natural convection heat transfer." *Proceedings of the Centre for Turbulence Research* (1998): 287-301.
- 36- Nag, P. K. *Power plant engineering*. Tata McGraw-Hill Education, 2002.
- 37- Yao, Q., et al. "CFD simulations of flows in valveless micropumps." *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics* 1.3 (2007): 181-188.

خانه مهندسی شیمی ایران

برترین مرکز آموزشی صنعت نفت، گاز و پتروشیمی کشور



برگزاری دوره های تخصصی مهندسی شیمی



- > PIPING
- > PFD P&ID
- > DATA SHEETS
- > TURBINE
- > PUMPS
- > Separators
- > Columns
- > Flare
- > PSV
- > Control Valve
- > Basic Design
- > Crude Evaluation

برگزاری دوره های نرم افزاری مهندسی شیمی



- > ASPEN HYSYS
- > ASPEN PLUS
- > ASPEN BJAC
- > ASPEN ADSIM
- > PHAST
- > PIPESIM
- > COMSOL
- > OLGA
- > MATLAB
- > PIPENET
- > PDMS
- > Flarenet

و دیگر خدمات متمایز ما:

مشاوره تخصصی رایگان

مشاوره و خدمات در زمینه مقالات و دریافت رایگان مقالات

مشاوره در زمینه پروژه های علمی و صنعتی

پرسش و پاسخ تخصصی



شماره های تماس: ۰۲۱۸۸۸۹۰۰۱۵ و ۰۲۱۸۸۹۱۶۴۷۸