

عنوان پروژه

شبیه‌سازی انتقال حرارت و جریان سیال در لوله خنک‌کاری با تحریک اولتراسونیک و منبع حرارتی

۱. هدف و دامنه پروژه

هدف این پروژه انجام یک مطالعه عددی در نرم‌افزار COMSOL Multiphysics به‌منظور بررسی اثر امواج اولتراسونیک بر:

- انتقال حرارت
- میدان سرعت
- توزیع فشار
- رفتار جریان در رژیم‌های آرام، گذار و آشسته

در یک سیستم لوله‌ای خنک‌کاری است.

۲. هندسه و پیکربندی سیستم (تقریباً پارامتریک)

نکته مهم: در حد امکان ابعاد هندسی، موقعیت‌ها و توان‌ها باید از ابتدا به‌صورت پارامتریک در COMSOL تعریف شوند تا در مراحل بعدی بدون بازسازی مدل قابل تغییر باشند.

۲.۱ لوله جریان

- قطر داخلی لوله (پارامتریک):
20 mm – 8 mm مقدار اولیه پیشنهادی: 12 mm
- طول ناحیه شبیه‌سازی:
500 mm – 200 mm مقدار اولیه: 300 mm
- جنس دیواره لوله: قابل انتخاب (مس، فولاد، یا معادل)

۲.۲ صفحه رسانای حرارتی (Optional)

- یک صفحه رسانای حرارتی در زیر لوله با مشخصات:
 - جنس: مس یا آلومینیوم
 - ضخامت: 2-6 mm پیشنهادی: 4 mm
- انتقال حرارت از منبع به لوله به صورت غیرمستقیم

نکته قراردادی بسیار مهم: وجود صفحه رسانای حرارتی اختیاری (Optional) است. در صورتی که حضور این صفحه باعث:

- دشواری در همگرایی (convergence)
- افزایش غیرمنطقی زمان حل
- ناپایداری عددی

گردد، شما مجاز هستید این صفحه را حذف کرده و منبع حرارتی را مستقیماً روی دیواره لوله اعمال نمایید.

۲.۳ منبع حرارتی

- سه منبع حرارتی مستقل:
 - Q_1, Q_2, Q_3
- اعمال به صورت:
 - Heat Flux
 - Volumetric Heat Source
- محدوده توان پیشنهادی:
 - 100 – 500 W برای هر منبع
- امکان:
 - فعال/غیر فعال سازی مستقل
 - تغییر مکان محوری هر منبع

۳. سیال و رژیم جریان

۳.۱ سیال

- سیال پایه:
 - آب
- خواص وابسته به دما (Temperature-dependent)

۳.۲ دبی، سرعت و عدد رینولدز

محدوده‌ها بر اساس مقاله مرجع و کاربرد دیتاسنتری انتخاب شده‌اند:

- سرعت متوسط سیال:
 - 0.02 – 1.5 m/s
- عدد رینولدز متناظر:
 - $Re \approx 500 - 10,000$

این بازه شامل:

- جریان آرام
- ناحیه گذار
- جریان آشفته کامل

۴. مدل سازی جریان در COMSOL

- Laminar Flow برای Re پایین
- Turbulent Flow:
 - $k-\epsilon$
 - یا $k-\omega$ SST
- امکان تعریف switch پارامتریک بین مدل‌ها

۵. مدل سازی اولتراسونیک (Transducers)

۵.۱ مشخصات ترنسددیوسر

- تعداد 1: تا 3 عدد
- فرکانس کاری (پارامتریک):
 - 25 kHz (dominant cavitation)
 - 1 – 2 MHz (dominant acoustic streaming)
- توان آکوستیکی:
 - 20 – 150 W برای هر ترنسدیوسر
- قطر مؤثر ترنسدیوسر:
 - 10 – 30 mm
- موقعیت ترنسدیوسرها:
 - کاملاً پارامتریک در راستای طول لوله

۵.۲ پیاده‌سازی در COMSOL

- استفاده از:
 - Pressure Acoustics
 - یا مدل معادل Acoustic Streaming Body Force
- امکان بررسی:
 - تک ترنسدیوسر
 - چند ترنسدیوسر با مکان‌های مختلف
- اثر اولتراسونیک باید:
 - روی میدان سرعت
 - و انتقال حرارت
- به‌وضوح قابل مشاهده باشد

۶. مش‌بندی (Meshing)

- Boundary Layer Mesh نزدیک:
 - دیواره لوله
 - ناحیه انتقال حرارت
- مش ریز در:
 - اطراف ترنسدیوسرها
 - ناحیه لایه مرزی حرارتی
- استفاده از:
 - Swept Mesh در لوله
 - Refinement موضعی در نواحی حساس – اگر نیاز بود.

۷. خروجی‌های مورد انتظار (Post-Processing)

۷.۱ میدان‌ها

- توزیع دما (سیال، دیواره، صفحه رسانا)
- میدان سرعت (بردار و اسکالر)
- توزیع فشار
- لایه مرزی حرارتی

۷.۲ نمودارها

- دما در امتداد طول لوله
- سرعت متوسط مقطع به مقطع
- افت فشار کل
- مقایسه:
- بدون اولتراسونیک
- با اولتراسونیک (سناریوهای مختلف)

Deliverables (۸)

موارد زیر در انتهای پروژه دریافت خواهد شد:

۸.۱ فایل‌ها

- فایل کامل: COMSOL
 - کاملاً پارامتریک
 - قابل توسعه و اصلاح
- مستند تنظیمات Mesh و Solver

۸.۲ گزارش

- گزارش فنی شامل:
 - توضیح مدل‌ها
 - فرضیات
 - تحلیل نتایج
 - مقایسه سناریوها

۸.۳ ویدئوی آموزشی کامل

این بخش بسیار مهم و غیرقابل حذف است

باید یک ویدئوی کامل و گام‌به‌گام تهیه شود که شامل موارد زیر باشد:

- ایجاد هندسه از صفر
- تعریف پارامترها
- تنظیم فیزیک‌ها (Flow, Heat Transfer, Acoustics)
- مش‌بندی
- اجرای Solver
- استخراج نتایج
- Post-processing

هدف از این ویدئو این است که دانشجو بتواند:

- شخصاً پارامترها را تغییر دهد
- اصلاحات لازم را انجام دهد
- پروژه را در مراحل بعدی توسعه دهد

تحويل ویدئو شرط اصلی پذیرش پروژه است.

۹. کاربرد نهایی

این پروژه به‌طور خاص با هدف استفاده در:

- خنک‌سازی تجهیزات پرتوان
- طراحی مبدل‌های حرارتی فعال مبتنی بر اولتراسونیک

انجام می‌شود.

۱۰. مرجع علمی

پارامترها و منطق فیزیکی بر اساس مقاله زیر انتخاب شده‌اند:

(پیوست شده است.)

