نشریه علمی-تخصصی تبدیل انرژی (JEED)
دوره ۸، شماره ۳، پاییز ۱۴۰۰، ص: ۳۰- ۴۶

J. Energy Conversion
Volume: 8, Issue: 3, 2021: 30–46

DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3

اثر خم‌ها بر انتقال حرارت و هیدرودینامیک روغن داغ در کویل‌های بخش تشعشع یک کوره صنعتی

الهام امینی[۱]، سید محسن پیغمبرزاده[۲*]، سروش زرین‌آبادی[۳]، سید حسن هاشم‌آبادی[۴]

۱- دانشجوی دکترا، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران، iau.amini@gmail.com
*۲- دانشیار، گروه مهندسی شیمی، واحد ماهشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، ماهشهر، ایران، peyghambarzadeh@gmail.com
۳- استادیار، گروه مهندسی شیمی، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، zarinabadi@yahoo.com
۴- دانشیار، آزمایشگاه تحقیقاتی CFD، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران، hashemabadi@iust.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶، بازنگری: ۱۴۰۰/۰۵/۳۱، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۰۲

چکیده

در این پژوهش، شبیه‌سازی سه بعدی پایای کویل حاوی روغن داغ در بخش تشعشع یک کوره استوانه‌ای عمودی در یک واحد صنعتی با استفاده از نرم‌افزار Fluent 2019 R1 انجام شده‌است. این کویل دارای نه خم U شکل با زاویه ۱۸۰ درجه می‌باشد. با بهره‌گیری از منطق دینامیک سیالات محاسباتی، سرعت و فشار جریان، دمای خروجی سیال و دمای دیواره کویل در نقاط مختلف سیستم محاسبه شده است. برای اعتبارسنجی مدل، از مقایسه نتایج شبیه‌سازی دمای دیواره کویل در انتهای مسیر حرکت سیال و دمای سیال در خروجی با مقادیر صنعتی استفاده شده است. دمای دیواره و دمای سیال محاسباتی در خروجی کویل با مقادیر واقعی آن‌ها به ترتیب حدود ۶ درصد و ۰/۴۴ درصد اختلاف نشان داد. وجود خم‌ها در کویل باعث نوسان در پارامترها در طول کویل می‌شود. نیروی گریز از مرکز ناشی از هندسه خمیده کویل سبب تغییر توزیع فشار شده و تغییر فشار، موجب نوسان سرعت سیال، دمای سیال و دمای دیواره می‌شود. نتایج نشان داد که وجود خم می‌تواند موجب نوسان فشار در حدود ۴۹۵۲ پاسکال، تغییر سرعت سیال تا حداکثر ۲/۸۳ متر بر ثانیه، تغییر دمای سیال در حدود ۲ کلوین و اختلاف دمای دیواره در حدود ۱۰ کلوین شود.

* **عهده‌دار مکاتبات:** peyghambarzadeh@gmail.com

کلمات کلیدی: شبیه‌سازی، کویل کوره روغن داغ، دینامیک سیالات محاسباتی، خم ۱۸۰ درجه.

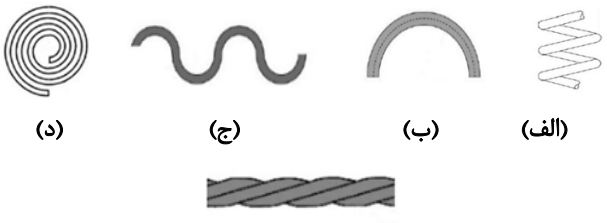
۱- مقدمه

صنایع شیمیایی مانند صنایع نفت، گاز و پتروشیمی شامل مجموعه فرایندهای متنوعی هستند که در بسیاری از فرایند های آن لازم است سیالات به دلایل مختلفی گرم شوند. این گرمایش به صورت غیرمستقیم و از طریق یک سیال گرم شده به این فرایندها منتقل می‌شود. ازکوره‌ها برای گرمایش سیال گرم‌کننده دردمای بالا استفاده می‌شود. می توان عملکرد کوره ها را با استفاده از تکنیک‌های افزایش انتقال حرارت بهبود بخشید. این تکنیک‌ها به دوگروه تقسیم می‌شوند: تکنیک‌های فعال و غیرفعال. تکنیک‌های فعال به نیروهای خارجی مانند میدان الکتریکی، ارتعاش صوتی و تکنیک‌های غیرفعال به مواد افزودنی به سیال یا هندسه سطح ویژه نیاز دارند. لوله‌های خمیده به عنوان یکی از تکنیک‌های افزایش انتقال حرارت غیر فعال مورد

نحوه استناد به این مقاله: الهام امینی، سیدمحسن پیغمبرزاده، سروش زرین‌آبادی، سید حسن هاشم‌آبادی. اثر خم‌ها بر انتقال حرارت و هیدرودینامیک روغن داغ در کویل‌های بخش تشعشع یک کوره صنعتی. مهندسی مکانیک تبدیل انرژی. ۱۴۰۰; ۸ (۳) : ۳۰-۴۶. **DOR:** 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

استفاده قرار گرفته‌اند[۱]. هندسه های منحنی به دلیل فشردگی در ساختار، سهولت چیدمان و کارایی بالا در انتقال گرما در ساخت لوله‌های کوره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند[۲]. آنها را می‌توان به لوله های مارپیچ، لوله های خم و یا زانویی، لوله ماری، لوله مارپیچ و لوله های تابیده شده دسته بندی کرد. در شکل۱ این دسته بندی نشان داده شده است[۳].



شکل۱: شماتیک لوله های خمیده به کار رفته در ساخت مبدل‌ها [۳]

در هندسه‌های منحنی نظیر خم و زانویی علاوه بر جریان محوری، یک جریان عمود برجریان محوری به نام جریان ثانویه تشکیل می‌شود. جریان ثانویه تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز ناشی از خم ایجاد می‌شود[۲]. وقتی سیال در حال حرکت در یک میدان خمیده قرار می گیرد نیروی گریز از مرکز از داخل خم به خارج خم به سیال وارد می‌شود و باعث می شود سیال به سمت بیرون پرتاب شود و جریان ثانویه به وجود آید[۴]. چه و همکاران[۵]خصوصیات جریان آشفته در یک کانال خمیده را به صورت آزمایشگاهی اندازه‌گیری کردند. نتایج نشان می دهد که در ناحیه‌ی نزدیک به دیواره، به دلیل سرعت محوری پایین، نیروی گریز از مرکز ضعیف بوده و گرادیان فشار شعاعی نیرویی را به سطح بیرونی کانال ایجاد می‌کند. اولین تحقیق در مورد جریان سیالات نیوتنی در مجاری خمیده توسط دین[۶ و ۷] انجام شده است. وی نشان داد که اثر نیروی گریز از مرکز ناشی از انحنا، منجر به ایجاد جریانهای ثانویه تیلور - گورتلر می‌شود. انور و سو[۸] گزارش کرده‌اند که نیروی محرکه جریان ثانویه به سه نوع نیرو طبقه بندی می‌شود: نیروی گریز از مرکز، نیروی ناشی از عدم تعادل بین گرادیان فشار و نیروهای گریز از مرکز و دیگری تلاطم ناهمسانگرد که نزدیک دیواره خارجی خم فعال است. به تلاطم های ناهمسانگرد گردابه‌های دین می‌گویند. آزولا و همکاران[۹]، صفایت و اشتیاق[۱۰]، سوگی یاما و هیتومی [۱۱]، مشفقیان[۱۲] ، لایی و همکاران[۱۳] و پرادهان و همکاران [۱۴] جریان ثانویه و گردابه های مخالف جهت دین را در خم ۱۸۰ درجه و دوتا و همکاران[۱۵]، ونگ و همکاران[۱۶]، تیلورو همکاران[۱۷] و تارودیا و همکاران[۱۸] جریان ثانویه و گردابه های مخالف جهت را در زانویی ۹۰ درجه نشان داده اند. تشکیل گرداب و جدایش سیال از دیواره در خم ها عامل مهم در افزایش انتقال حرارت هستند. موشاتت و ایاد علی[۱۹] تحقیقی را بر روی جریان و انتقال حرارت سه بعدی یک جریان تراکم ناپذیر در چندلوله U شکل با شعاع خم متفاوت انجام دادند. نشان داده شد که انتقال حرارت با استفاده از لوله هایU شکل، تقویت شده و هر چه شعاع خم کمتر یاشد تاثیر در افزایش میزان انتقال حرارت بیشتر می‌شود. همچنین موشاتت و ایاد علی[۲۰] پژوهش دیگری را بر روی لوله هایU شکل با سطح مقطع متفاوت انجام دادند و نشان دادند که در سطح مقطع دایره‌ای، انتقال حرارت بیشتری نسبت به سایر سطح مقطع‌ها مشاهده می شود. در یک مطالعه بر روی خم ها و زانویی ها، بیرانجنت و آبهیشک[۲۱] نشان دادند که هر چقدر زاویه خم بیشتر شود میزان انتقال حرارت نیز بیشتر می‌شود. کوشیک و پراکاش [۲۲] در تحقیقی انتقال حرارت جابه جایی اجباری در حالت پایا و ناپایا در یک خم ۱۸۰ درجه را بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که در حالت ناپایدار میزان انتقال حرارت و عدد نوسلت بیشتر می شود. همچنین اثر پارامتر جدید ارتفاع ورودی به ارتفاع خروجی را بر میزان تولید گردابها و فعل و انفعالات آنها بررسی کردند. سیفی و همکاران [۲۳] نیز با توجه به رسوب ذرات در قسمت های مارپیچ شبکه انتقال گاز طبیعی یک خم ۹۰ درجه را با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی سه بعدی شبیه سازی کردند و نشان دادند هر کجا که سرعت گاز در خم بیشتر

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

باشد میزان رسوب دهی کمتر است. اکبری و همکاران [۲۴] نیز برای بررسی تاثیر آن بر جریان های گردابی در لوله های منحنی، یک خم ۱۸۰ درجه را با یک پره T شکل مدل سازی کردند و خطوط جریان را ترسیم نمودند.

در شبیه سازی های مربوط به کوره، در خصوص شار حرارتی وارد شده به کویل از فرضیات ساده کننده‌ای استفاده می‌شود. مثلا لابو و اوانز[۲۵] دما را در محفظه احتراق یکنواخت در نظر گرفتند و در بسیاری دیگر از بررسی ها نظیر تحقیق اوساوان و استووارد[۲۶] شار حرارتی ارسالی از محفظه احتراق به کویل ثابت فرض شده است.

دسیگر و همکاران[۲۷] و دتمرمن و فرومنت[۲۸] به صراحت تاکید کرده اند که محاسبات دقیق میدان جریان در داخل کوره نیازمند حل معادلات ناویر-استوکس می‌باشدکه معمولا باروش‌های دستی و تحلیلی امکان پذیر نمی‌باشد. به طور مثـــال می توان شبیه‌سازی کوره‌های کراکینگ بر پایه تکنیک‌های دینامیک سیالات محاسباتی[1] را نام برد که توسط هندریکس و همکاران [۲۹]، اپرینز و همکاران[۳۰]، اپرینز و هندریکس [۳۱] و سوئرز و رید[۳۲] انجام شده است. نان ژانگ و همکاران[۳۳] شبیه‌سازی سه بعدی شکست پروپان در بخش تشعشعی یک کوره را با در نظرگرفتن واکنش‌های رادیکالی انجام داده‌اند و تاثیر برخی از شرایط عملیاتی مثل نرخ خوراک، پروفایل دمای دیواره و شار حرارتی را در عملکرد فرایند بررسی کرده‌اند. فهیمی‌نژاد و همکاران [۳۴] نیز بخش تشعشعی کوره کراکینگ گاز اتیلن‌دی‌کلراید را با درنظرگرفتن واکنش‌های شیمیایی با استفاده دینامیک سیالات محاسباتی به صورت عددی مدل‌سازی نمودند. فنگ و همکاران[۳۵] نیز شبیه سازی همزمان محفظه احتراق به همراه راکتور برای مطالعه پیرولیز نفتا در یک کوره صنعتی کراکینگ اتیلن را برای تخمین میدان جریان در کوره انجام دادند و نتایجی نظیر توزیع دمای دیواره جانبی در طول کوره و میانگین شار حرارتی در طول لوله ها را با مقادیر صنعتی مقایسه نمودند. رضایی‌منش و همکاران[۳۶] نیز با استفاده از تکنیک CFD مطالعه ای بر روی کوره کراکینگ نفتا برای تولید الفین انجام دادند و با مدلسازی همزمان کوره و کویل توزیع محصول و مشخصات جریان در طول کویل را به دست آوردند.

به دلیل دمای بالا، امکان نصب تجهیزات اندازه‌گیری در قسمت هایی از کوره وجود ندارد لذا از آنجایی که امکان اندازه‌گیری دقیق دما، فشار و سرعت سیال در مکانهای مختلف لوله های کوره امکان پذیر نیست، این احتمال وجود دارد که شرایط گرمایی که سیال در کوره تجربه می کند نوسان داشته باشد و موجب تخریب آن و نهایتا تخریب جداره کویل گردد. تخریب سیال سبب نشست کک بر دیواره کویل شده و دمای آن را افزایش داده و اگر دما فراتر از محدوده مجاز گردد، موجب ایجاد نقطه‌داغ[2] وپارگی کویل‌ها می‌شود. بررسی دقیق عملکرد کلی کویل‌ها با محاسبات دستی امکان‌پذیر نبوده و نیازمند درنظرگرفتن همه معادلات بقا (جرم و انرژی و مومنتم) می باشد که این کار با به کارگیری تکنیکهای CFD امکان پذیرخواهد بود. برای اطمینان از راهبری صحیح کوره و پیش بینی مشکلات احتمالی جهت جلوگیری و یا کاهش صدمات وارده می‌توان از مدلسازی و شبیه‌سازی دقیق کوره که با داده های واقعی صنعتی تایید شده است، استفاده نمود. در این پژوهش پس از جمع آوری اطلاعات فرایندی از واحد صنعتی و تعریف هندسه مساله، شبیه‌سازی انجام شده است. بدین ترتیب این امکان وجود خواهد داشت که تغییرات پارامترهایی شامل دمای سیال، دمای سطح، سرعت و افت فشار سیال در قسمتهای مختلف محاسبه گردد. پیش بینی متغیرهای بحرانی، آگاهی از وضعیت کنونی فرایند در محل‌هایی که دسترسی به آن امکان‌پذیر نیست، تنظیم به موقع پارامترهای کنترلی و طرح ریزی دقیق و با سرعت اقدامات پیشگیرانه، نتیجه مدلسازی دقیق کوره می‌باشد که سبب جلوگیری از بروز خسارت‌های اقتصادی ناشی از خرابی کوره، توقف تولید و افزایش روغن و سوخت مصرفی در کوره می‌شود. هدف اصلی در این تحقیق به دست آوردن دمای سیال و دیواره در خروجی از کوره و تطبیق نتایج حاصل از شبیه سازی با داده های واقعی صنعتی جهت کنترل شرایط عملیاتی برای انجام اقدامات اصلاحی و کاهش آسیب های وارده به کویل و همچنین بررسی نقاط خاص در هندسه خمیده کویل می‌باشد. در این تحقیق، شبیه سازی انتقال حرارت و جریان روغن داغ (به عنوان سیال انتقال حرارت) در کویل‌های قسمت تشعشع محفظه احتراق یک کوره صنعتی واقع در پتروشیمی شهید

1- Computational fluid dynamics (CFD)
2- Hot spot

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

تندگویان با منطق دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از نرم افزار فلوئنت 2019 R1 انجام شده است. هدف و تمرکز اصلی این تحقیق، شبیه‌سازی جریان و انتقال حرارت روغن داغ در خم های یک کویل در سه بعد می باشد و تغییرات نیم رخ های سرعت و دما در این خم ها مورد ارزیابی و تحلیل قرار خواهدگرفت.

۲- فرایند مورد بررسی

سیال انتقال حرارت در این کوره با نام تجاری ترمینول ۶۶ شناخته می شود. ترکیب شیمیایی این روغن به صورت دقیق مشخص نمی‌باشد ولی تشکیل دهنده اصلی و پایه آن ترفنیل هیدروژنه است و خواص فیزیکی مهم آن قابل اندازه‌گیری می‌باشد. در این تحقیق با توجه به داده های آزمایشگاهی ارائه شده توسط کارخانه تولیدکننده که خواص را در دماهای متفاوت در جداولی ارایه کرده است، معادلات تغیر مشخصات روغن شامل دانسیته، ظرفیت گرمایی، هدایت حرارتی و ویسکوزیته به صورت تابعی از دما توسط نرم افزار Design expert ساخته و در شبیه سازی استفاده شده است و در روابط شماره ۱ تا ۴ نشان داده شده است.

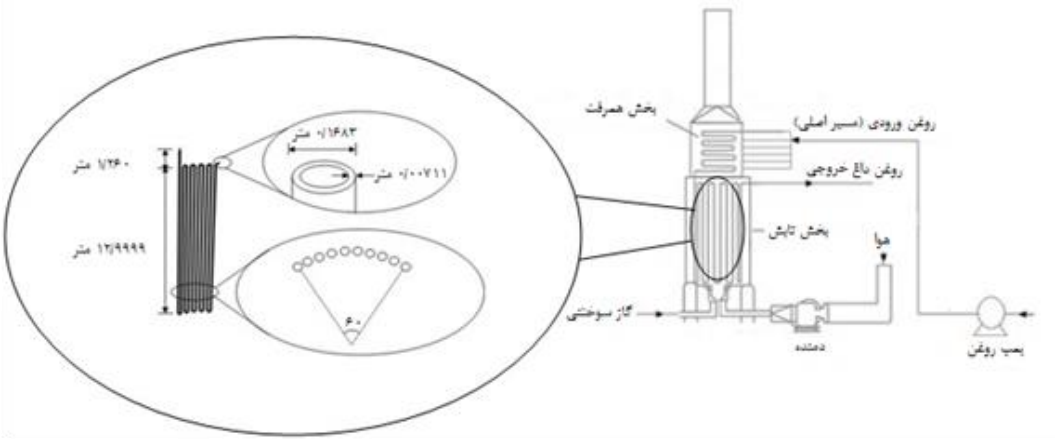
$$Density=1094.65183-0.17835\times T-5.59834E\text{-}004\times T^2 \quad (۱)$$

$$Heatcapacity=691.69712+2.68939\times T-1.02588E\text{-}\ 003\times T^2 \quad (۲)$$

$$Thermal\ conductivity=\ 0.11480+5.46091E\text{-}005\times T-1.56910E\text{-}007\times T^2 \quad (۳)$$

$$Viscosity=\ 0.020971-\ 9.52335E\text{-}005\times T+ 1.48488E\text{-}007\times T^2-7.83691E\text{-}011\times T^3 \quad (۴)$$

درکوره شبیه سازی شده، روغن از طریق یک مسیر اصلی[1] که به شش پاس تقسیم می‌شود وارد کوره می‌شود. پاس ها به طور مجزا در کوره گرم می شوند. هر پاس در کوره ابتدا از طریق لوله های افقی از قسمت همرفت عبور کرده و وارد لوله‌های قسمت تشعشع که شامل نه خم رفت و برگشت عمودی است، می‌شود. در شکل۲شماتیک کل کوره و کویل های بخش تشعشع آن نشان داده شده‌است. روغن از قسمت عمودی کویل وارد شده و از ناحیه زانویی خارج می شود.



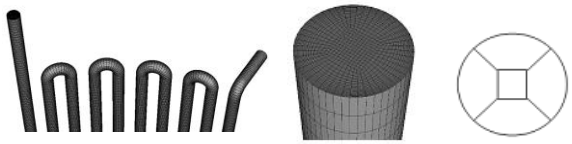
شکل۲: کوره صنعتی گرمایش روغن و کویل‌های بخش تشعشع

1- Header

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

طول کویل‌ها در قسمت تشعشع حدود ۱۳متر، شعاع داخلی آنها ۰/۰۷۷۰۴ متر و ضخامت آن ۰/۰۰۷۱۱ متر است. این کویل روی یک خم ۶۰ درجه‌ای چیدمان شده است. جنس لوله ها نوعی از کربن استیل با استاندارد A 106 gr B شامل ترکیباتی نظیرکربن، منگنز، سولفور، سیلیکون و کروم است. شار حرارتی ثابت، طبق داده‌های طراحی کارخانه سازنده، برابر با ۳۰۳۷۸ وات بر متر مربع از طریق محفظه احتراق به دیواره کویل می‌رسد. روغن با دمای ۵۶۹/۱۵ کلوین و دبی ۰/۰۴۲۲ متر مکعب بر ثانیه وارد قسمت تابش می‌شود. عدد رینولدز آن حدود ۶۷۳۱۴۴ و فشار جریان خروجی از کوره ۷×۱۰^{۵} پاسکال می‌باشد. در مدلسازی لوله‌های حاوی روغن داغ، مساله به صورت سه بعدی پایا حل شده است.

از آنجاییکه استفاده از مش سازمان‌یافته[1] دقیق، آسان و کم هزینه‌تر می‌باشد[۳۷] با به کار بردن تکنیک تقسیم هندسه به یک مربع و چهار شکل حلقوی، این نوع مش ایجاد گردید و برای در نظر گرفتن اثرات لایه مرزی، نزدیک دیواره از مش متراکم استفاده شده است. در شکل ۳ تقسیم هندسه برای ایجاد مش با ساختار منظم و مش بندی کویل از نمای بالا نشان داده شده است.



(ب) (الف)

شکل ۳: (الف): تقسیم هندسه کویل برای مش سازمان یافته (ب): مش کویل از نمای بالا

۳-فرمولاسیون و محاسبات

معادلات پیوستگی، مومنتوم، آنتالپی و مدلهای جریان آشفته، معادلات حاکم بر این مساله می‌باشند. در داخل لوله‌ها در حالت کلی معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی به ترتیب به صورت زیر خواهد بود[۳۸]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho)+\nabla(\rho\vec{v})=S_m \qquad (۵)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\vec{v})+\nabla(\rho\vec{v}\vec{v})=-\nabla P+\rho g+\vec{F}+\nabla\tau \qquad (۶)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E)+\nabla((\rho E+p)\vec{v})=-\nabla(\sum h_j J_j)+S_h \qquad (۷)$$

E انرژی کل بر واحد جرم است که مقدار آن به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$E=h-\frac{P}{\rho}+\frac{v^2}{2} \qquad (۸)$$

شبیه سازی کویل با مدل Realizable k-ε به عنوان مدل آشفتگی به همراه معادله انرژی انجام شده است. معادله تغییر انرژی جنبشی بر واحد جرم (k) و پراکندگی انرژی جنبشی آشفتگی (ε) در جریان آشفته در این مدل به صورت معادلات زیر ارائه شده است:

1- Structured mesh

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k)+\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left((\mu+\frac{\mu_t}{\alpha_k})\frac{\partial k}{\partial x_j}\right)+S_k \quad (۹)$$
$$+G_k+G_b-\rho\varepsilon-Y_M$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon)+\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \varepsilon)=\frac{\partial}{\partial x_j}\left((\mu+\frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon})\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right)+ \quad (۱۰)$$
$$S_\varepsilon+\rho S_k C_1-\rho C_2\frac{\varepsilon^2}{k+\sqrt{\varepsilon v}}+C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}C_{3\varepsilon}G_b$$

$$C_1=\max(0.43,\frac{\eta}{5+\eta}) \quad (۱۱)$$

$$\eta=\frac{Sk}{\varepsilon} \quad (۱۲)$$

$$S=\sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \quad (۱۳)$$

$$S_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \quad (۱۴)$$

$$C_{3\varepsilon}=\tanh\left|\frac{v}{u}\right| \quad (۱۵)$$

C_1 و C_2 ثابت های معادله، σ_k و σ_ε اعداد پرانتل آشفتگی برای k و ε هستند که در جدول شماره ۱ آورده شده است. ویسکوزیته آشفتگی نیز از بیان پرانتل-کولموگراف به‌دست می‌آید [۳۹]:

$$\mu_t=C_\mu\rho\frac{k^2}{\varepsilon} \quad (۱۶)$$

جدول۱: ثابت های مدل Realizable k-ε

C_1	C_2	σ_k	σ_ε
۱/۴۴	۱/۹	۱	۱/۲

اعتبارسنجی مدل حاصل شده از حل همزمان این معادلات، از طریق داده برداری از واحد صنعتی تامین شده است. شرایط مرزی درنظر گرفته شده برای این شبیه سازی فشار خروجی[1]، دبی جرمی ورودی[2] و شار ثابت حرارتی[3] می‌باشد.

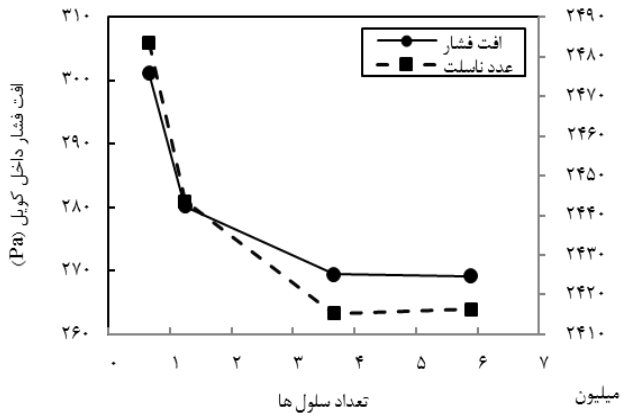
۴- نتایج و بحث

بررسی استقلال از شبکه، یکی از بخش‌های بسیار مهم در هر شبیه سازی می باشد و عدم وابستگی حل به مش باید بررسی شود. استقلال از شبکه، انتخاب شبکه مش بهینه برای دریافت پاسخ‌های صحیح است. جهت بررسی استقلال نتایج از

1- Pressure outlet
2- Mass flow inlet
3- Constant heat flux

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

شبکه محاسباتی، چهار شبکه محاسباتی ایجاد شده است. عدد ناسلت و افت فشار در کویل به عنوان معیار بررسی استقلال شبکه در نظر گرفته شده که در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل۴: نمودار استقلال از شبکه

با توجه به روند تغییر اختلاف فشار و عدد ناسلت در شکل ۴، در شبکه با تعداد مش حدود ۳۶۰۰۰۰۰ به ترتیب حدود ۰/۰۸۵ درصد و ۰/۰۴۳ درصد اختلاف نسبت به مش بعدی به تعداد ۵۹۰۰۰۰۰ دارد. لذا با این تعداد مش می توان نتایج این شبکه ها را مستقل از شبکه محاسباتی درنظر گرفت و به بررسی تغییر سایر متغیر ها در طول کویل پرداخت. همچنین اعتبار سنجی مدل بر اساس داده های صنعتی موجود شامل دمای دیواره و دمای سیال در محدوده خروجی سیال از کویل انجام شده است. درجدول ۲ نتایج شبیه سازی شامل مقایسه مقدار دمای دیواره در انتهای کویل با مقدار واقعی نشان داده شده است.

جدول ۲: اعتبار سنجی نتایج حاصل از شبیه سازی با مقادیر صنعتی

دما (K)	مقدار واقعی	مقدار حاصل از شبیه سازی	خطا*
دمای دیواره در خروجی کویل	۶۴۰/۳۵	۵۹۹/۵۹	۶/۳۶
دمای روغن خروجی در کویل	۵۸۸/۴۵	۵۹۱/۰۵	۰/۴۴

* مقدار خطا از تفاضل مقدار شبیه سازی و مقدار واقعی تقسیم بر مقدار واقعی حاصل شده است.

اعتبار سنجی نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می دهد که دمای دیواره کویل، به دست آمده از شبیه‌سازی با مقدار واقعی حدود ۶ درصد و دمای روغن در خروجی حدود ۰/۴ درصد اختلاف دارد.

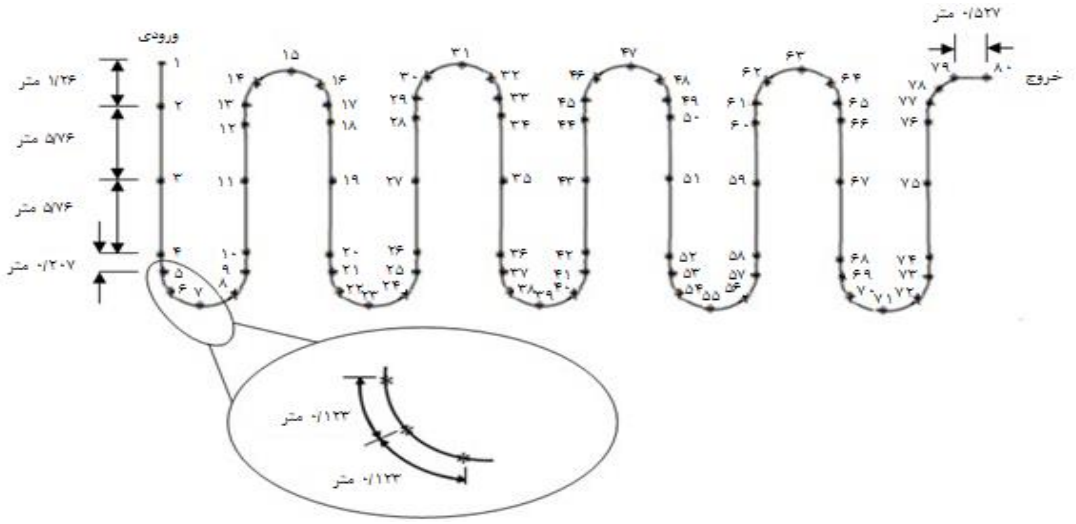
برای بررسی نتایج شبیه‌سازی و رفتار متغیرها، ۸۰ نقطه در طول کویل انتخاب شده که به دلیل تغییر هندسه کویل، پارامترها در آن تغییرات محسوسی داشته است. این نقاط در شکل ۵ نشان داده شده است.

تغییر پارامترهای مهم در طول کویل در راستای مرکز لوله در شکل ۶ نشان داده شده است. به علت اینکه فشار در خروجی ثابت نگه داشته شده است (شرط مرزی فشار خروجی)، نرم افزار با افزایش فشار در ورودی، افت فشار در طول کویل را ایجاد می‌کند. تغییر فشار سیال مرکزی در طول کویل در شکل۶ (الف) نشان داده شده است. افت فشار در کویل برابر ۲۶۹۴۲ پاسکال ناشی از حرکت سیال در طول کویل و عبور از خم ها می باشد. روند تغییرات بزرگی سرعت سیال در مرکز کویل در شکل۶ (ب) نشان داده شده است. اگر لوله های کویل مستقیم و بدون خم بود به علت وجود پمپ و نیروی خارجی اعمال شده برای حرکت سیال، سرعت در تمام نقاط طول لوله ثابت می ماند ولی هندسه خمیده کویل، سبب نوسان فشار و تاثیر آن بر سرعت در نواحی خم، شده است. به طوری که در خم ها مقدار بیشینه و کمینه سرعت مشاهده می شود. محدوده تغییرات سرعت در طول کویل از ۱/۵۷ تا ۲/۸ متر بر ثانیه می باشد. افزایش تدریجی دما در مرکز کویل در شکل۶ (ج) نشان داده شده

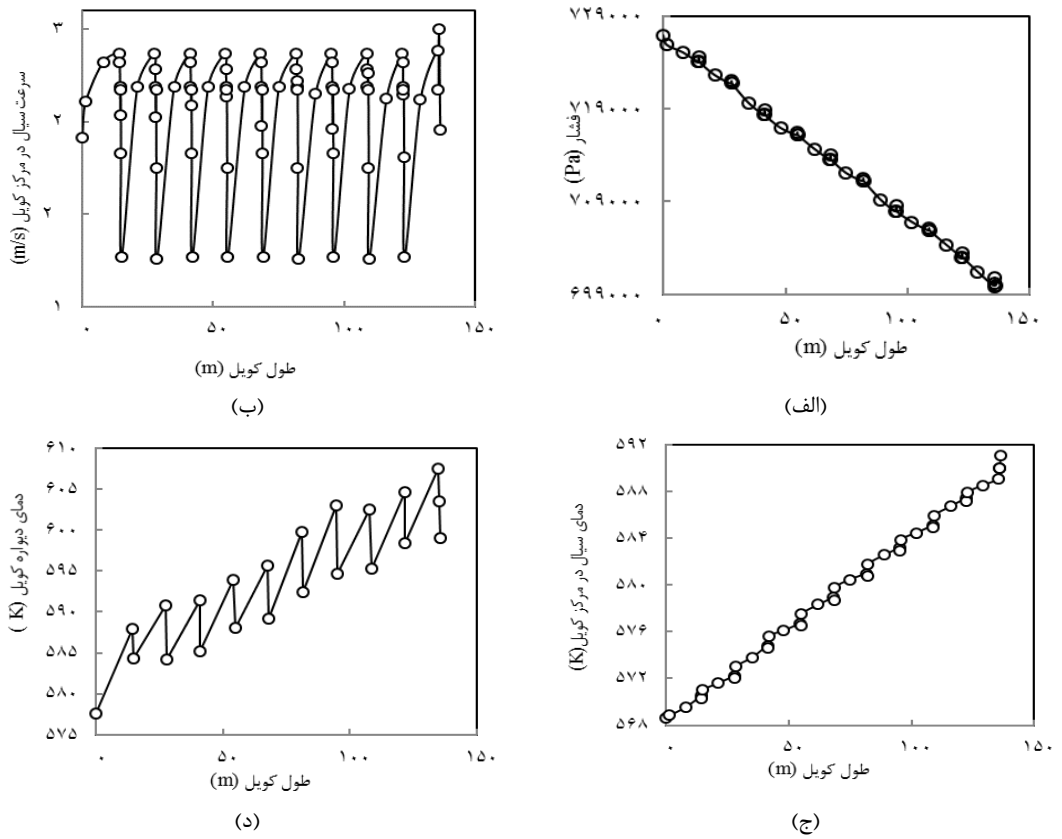
[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

است. علت وجود نوسان دمای سیال در محل خم‌ها ناشی از تغییرات محلی سرعت و فشار در آن محل‌ها بوده که روی دمای سیال نیز تاثیر گذار می باشد. با توجه به شار ثابت گرمایی وارد شده به کویل، دمای دیواره در طول کویل افزایشی است که در نمودار شکل۶ (د) روند افزایش دمای دیواره خارجی کویل نشان داده شده است که همان طور که مشاهده می‌شود دمای دیواره خارجی کویل نیز تحت تاثیر وجود خم‌ها دارای نوسان می‌باشد.



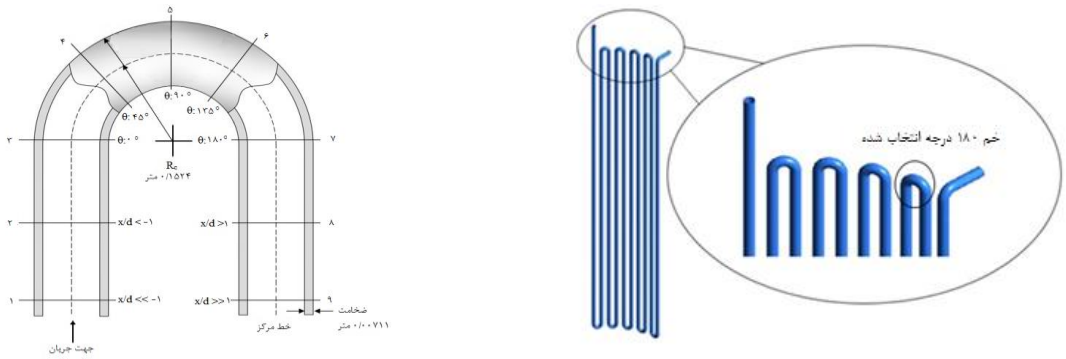
شکل ۵: نقاط انتخاب شده برای رسم نمودار تغییر پارامترها



شکل۶: نمودار روند تغییر پارامترها در راستای مرکز در طول کویل (الف) فشار سیال (ب) سرعت سیال (ج) دمای سیال (د) دمای دیواره خارجی کویل

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

با بررسی نمودارهای فوق مشاهده شد که نمودار متغیرها مطلقا صعودی و یا مطلقا نزولی نیست و دارای نوساناتی در نواحی خاص می باشد. این نواحی خاص همان نه خم U شکل با زاویه ۱۸۰ درجه در طول کویل می‌باشد. به دلیل کوتاه بودن فواصل در خم‌ها نوسان پارامترها در آن در نمودارهای طول کویل مشخص نیست. لذا برای بررسی این نقاط خاص، یک خم (خم هشتم از کویل) انتخاب شده و نمودار تغییر پارامترها برای این خم در نقاطی از طول آن (نقاط ۱ تا ۹) در سه راستای داخل[1]، خارج[2] و مرکز[3]رسم و بررسی شده است که در شکل ۷ نشان داده شده است.



(ب) (الف)

شکل ۷: (الف) ناحیه انتخاب شده برای بررسی پارامترها (ب) نقاط انتخاب شده در خم ۱۸۰ درجه

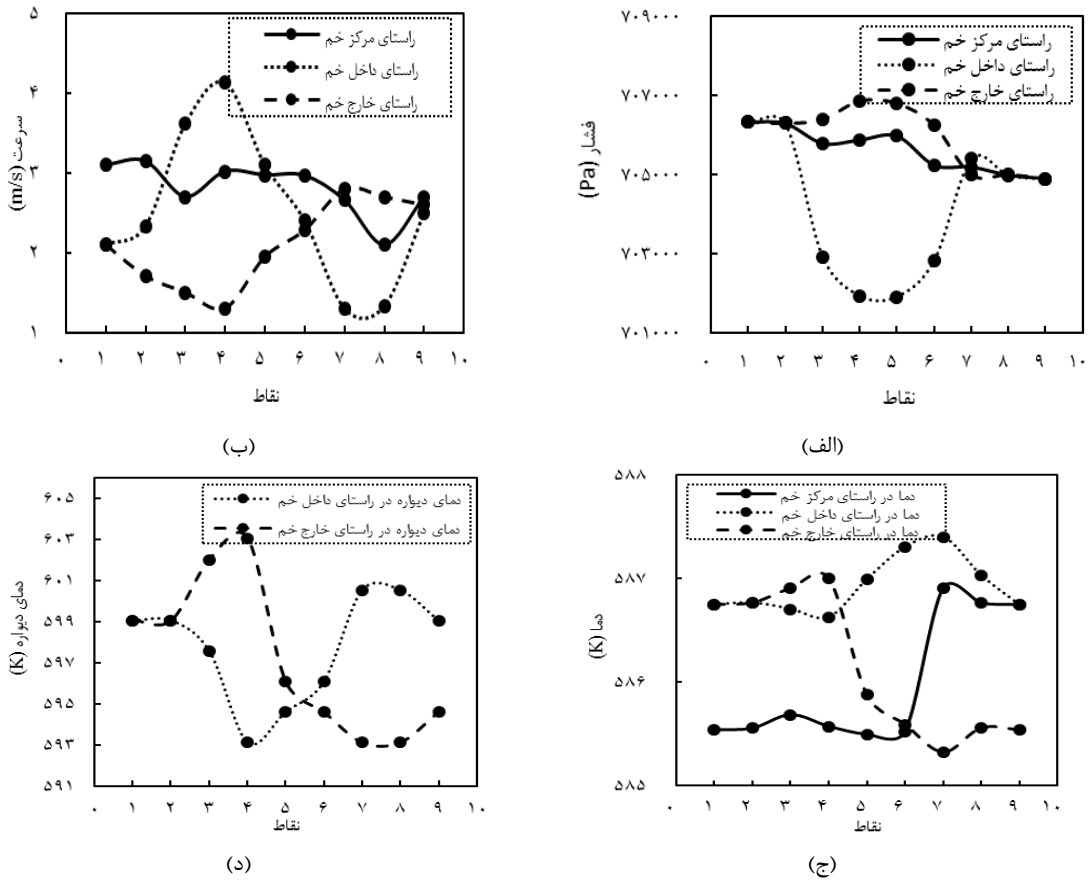
درهندسه‌های خمیده، یک نیروی گریز از مرکز از سمت مرکز به طرف خارج خم به سیال وارد می شود. اثر نیروی گریز از مرکز به وجود آمده که در معادله ناویر-استوکس هم آورده شده باید با پدیده‌ای تعدیل گردد. پس توزیع فشار در سیال به گونه‌ای تغییر می کند که نیروی ناشی از فشار با نیروی گریز از مرکز بالانس شود. چون جهت نیروی گریز از مرکز به سمت خارج خم است، خارج خم به ناحیه پرفشار و داخل خم به ناحیه کم فشار تبدیل و جریان سیال از ناحیه پرفشار خارج خم به ناحیه کم فشار داخل خم برقرار می‌گردد و توزیع فشار متفاوت در داخل و خارج خم ایجاد می‌شود. تعدیل نیروی گریز از مرکز سبب پیدایش جریان ثانویه و گردابه‌های دین نیز می شود. در شکل ۸ نمودارهای روند تغییر پارامترها در خم در سه ناحیه مرکز، خارج و داخل نشان داده شده است.

در شکل ۸ (الف) تغییر فشار سیال در خم در سه ناحیه مرکز، خارج و داخل نشان داده شده است. ماکزیمم اختلاف فشار ایجاد شده در خم برابر۴۹۵۲ پاسکال می‌باشد. تا زمانیکه سیال به خم نرسیده است فشار در سه ناحیه برابر است ولی به محض ورود سیال به خم، بعد از نقطه ۲، به علت ایجاد نیروی گریز از مرکز و تعدیل آن با گرادیان فشار، فشار در خارج خم افزایش می‌یابد. افزایش فشار در خارج خم با افزایش نیروی گریز از مرکز متناسب بوده و تا موقعیتی که نیروی گریز از مرکز در خم افزایش یابد، حدود نقطه ۴ در نمودار، فشار نیز برای بالانس با این نیرو افزوده می‌شود و پس از آن به علت کاهش نیروی گریز از مرکز، فشار در خارج خم نیز کاهش می‌یابد. به علت حذف نیروی گریز از مرکز ناشی از اتمام هندسه خمیده، در نقطه ۷، فشار به حالت قبل باز می‌گردد. در داخل خم تا محدوده نقطه ۴ به علت توزیع فشار ناشی از نیروی گریز از مرکز، فشار کاهش یافته و بعد از آن با کاهش اثر نیروی گریز از مرکز، فشار افزایش می‌یابد. این روند در سایر مطالعات نیز تایید شده است [۱۰، ۴۰ و ۴۱].

1- Inner
2- Outer
3- Center

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

با توجه به نوسان فشار سیال در خم، سرعت نیز تحت تاثیر آن تغییر می‌کند. اثر نیروی گریز از مرکز، تغییر فشار و القا شدن جریان های ثانویه به جریان اصلی در طول خم منجر به تشکیل نقاط کمینه و بیشینه در پروفایل سرعت و حتی تفاوت سرعت در داخل و خارج خم می‌گردد. فشار و سرعت رابطه معکوس داشته و جایی که فشار کاهش می‌یابد، سرعت افزوده می شود و هر کجا فشار افزایش می‌یابد، سرعت کم می‌شود. با توجه به تغییرات فشار، در ناحیه داخل خم قبل از ورود سیال، سرعت به بیشترین مقدار خود رسیده و بعد از خروجی از خم، سرعت به حداقل خود می‌رسد. علت وجود نوسانات در سرعت در شکل۶ (ب) همین مساله می‌باشد. نتایج مشابه توسط محققان دیگر نیز ارائه شده است[۴۰ و۴۱و ۴۲]. اختلاف بیشینه و کمینه سرعت سیال در خم حدود ۲/۸۳ متر بر ثانیه است. در شکل۸ (ب) نمودار سرعت در مرکز، داخل و خارج خم نشان داده شده است. طبق شکل۶ (ج) دمای سیال در طول کویل افزایشی است ولی در نقاطی تحت تاثیر سرعت موضعی سیال و افزایش و یا کاهش زمان ماند، دمای آن تغییر می‌کند. نوسان سرعت در خم، سبب نوسان دما به صورت شکل۸ (ج) می‌شود. دمای سیال در داخل و خارج خم به پارامترهایی نظیر سرعت سیال، شدت و قدرت جریان های ثانویه و گردابه های دین مرتبط است و برآیند این اثرات، دما در سیال را تعیین می‌کند. کاهش سرعت سبب افزایش زمان ماند سیال در کنار دیواره شده و دما افزایش پیدا می‌کند. ایجاد جریان ثانویه سیال در خم ها نیز باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابه جایی و بالا رفتن دما می‌شود. قبل از ورود سیال به خم و بعد از خروج آن، با تغییر هندسه خم در نقاط ابتدایی و انتهایی، سیر افزایشی دما مشاهده می‌شود. دمای سیال در این خم در حدود ۲ کلوین تغییر می‌کند. در داخل خم تا نقطه ۴ چون سرعت سیال افزایش می‌یابد، زمان تماس سیال با دیواره کم شده و دما کاهش پیدا می‌کند. در نقطه۷ در داخل خم چون مینیمم سرعت سیال اتفاق می‌افتد زمان ماند سیال در کنار دیواره زیاد شده و دمای آن بالا می‌رود.

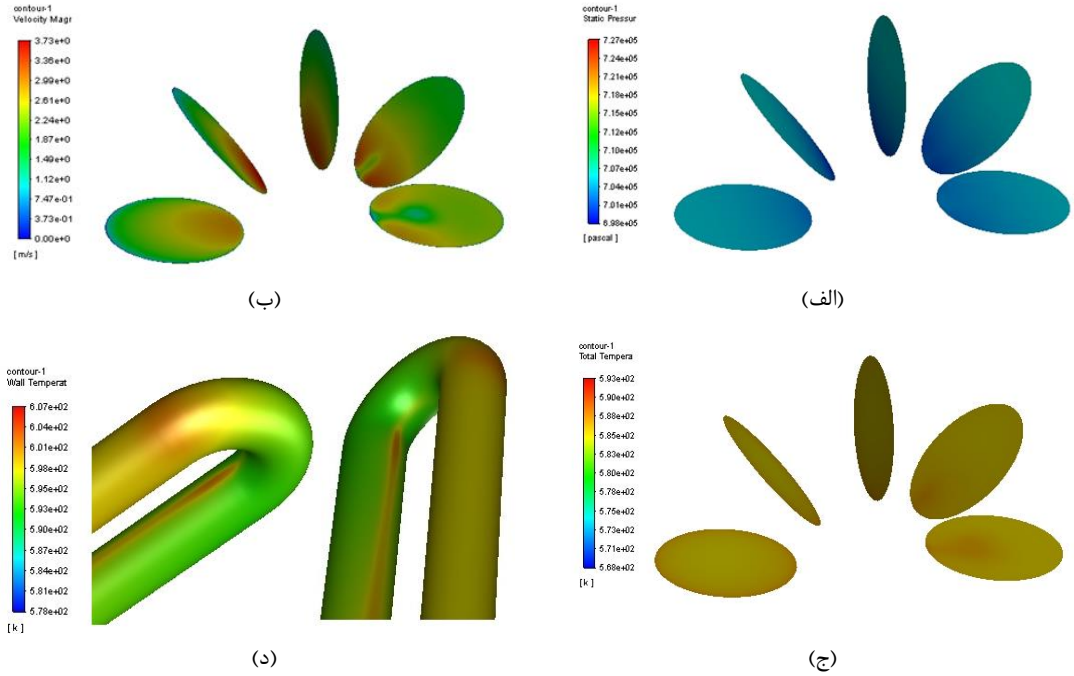


شکل۸: نمودار روند تغییر پارامترها در راستای مرکز، داخل و خارج خم (الف) فشار سیال (ب) سرعت سیال (ج) دمای سیال (د)دمای دیواره خارجی کویل

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

طبق شکل۶ (د) دمای دیواره در طول کویل روند افزایشی دارد. اما تحت تاثیر خم و تغییر سرعت سیال در مجاورت دیواره ها نوسان می‌یابد. در شکل۸ (د) روند تغییر دمای دیواره در خم نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود در دمای دیواره خم حدود ۱۰ کلوین اختلاف دما پدید می‌آید. افزایش و کاهش دمای دیواره در نقاط مختلف، ناشی از تغییر سرعت در کنار دیواره می‌باشد. دمای دیواره با سرعت سیال به صورت معکوس رابطه دارد. هرچه سرعت سیال در نزدیکی دیواره کاهش یابد، دمای دیواره افزایش می‌یابد. از آنجاییکه ضریب انتقال حرارت جابجایی اجباری تابعی از سرعت سیال و در واقع عدد رینولدز است وقتی سرعت سیال کاهش می‌یابد میزان تلاطم جریان و در نتیجه ضریب انتقال حرارت کمتر شده و در نتیجه نمی‌تواند گرمای زیادی را از سطح داغ دور نماید.

برای مقایسه تغییر پارامترها و وابستگی آنها به یکدیگر، در شکل۹روند تغییر فشار، سرعت، دمای سیال و دمای دیواره به صورت کانتور نشان داده شده است.



شکل۹: کانتور پارامترها در طول خم (الف) فشار سیال (ب) سرعت سیال (ج)دمای سیال (د)دمای دیواره از منظر داخل و خارج خم

بر اساس کانتورهای نشان داده شده در شکل۹ در راستای داخل خم فشار افزایشی، سرعت کاهشی، دمای سیال افزایشی و دمای دیواره کویل نیز افزایشی می‌باشد. در راستای خارج خم فشار کاهشی، سرعت افزایشی، دمای سیال کاهشی و دمای دیواره کویل نیز کاهشی می‌باشد.

۵- جمع بندی

در این تحقیق یک کویل حاوی روغن که در قسمت تشعشع یک کوره صنعتی گرم می‌شود، با استفاده از تکنیک CFD توسط نرم افزار فلوئنت 2019 R1 در سه بعد شبیه سازی شده و تغییر پارامترهای کلیدی در طول کویل مورد بررسی قرارگرفت. نمودار متغیرهای رسم شده نشان می‌دهد که این نمودارها مطلقا صعودی و یا مطلقا نزولی نیست و دلیل آن هندسه خمیده کویل است. وجود ۹ خم ۱۸۰ درجه در کویل سبب نوسان در روند تغییر پارامترها در طول کویل می‌شود. در هندسه خمیده خم، دو نقطه خاص که تغییرات اصلی در آن ها اتفاق می‌افتد، پدید می‌آید. نقطه اول بعد از ورود سیال به خم در زاویه

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

۴۵ درجه و نقطه دوم در مکان خروج سیال از خم در زاویه ۱۸۰ می‌باشد. در خم، ۴۹۲۹ پاسکال بیشینه اختلاف فشار سیال، ۲/۸۳ متر بر ثانیه بیشینه اختلاف سرعت سیال، ۲ کلوین بیشینه اختلاف دمای سیال و حدود ۱۰ کلوین بیشینه اختلاف دمای دیواره مشاهده می‌شود. طبق نتایج حاصل از این مدلسازی در نقاط خروج سیال از خم در راستای داخل خم شامل نقاط ۱۷، ۳۳، ۴۹ و ۶۵ سرعت به کمترین مقدار خود رسیده و دما افزایش می‌یابد. احتمال تخریب روغن به علت دمای بالا و رسوب آن در دیواره به علت سرعت کم سیال و ایجاد پدیده نقطه داغ در این نقاط زیاد می‌باشد و این نقاط را تبدیل به نقاط حساس و بحرانی در طول کویل می‌کند.

فهرست علامت‌ها

علایم انگلیسی

ثابت مدل Realizable k- ε	C_1
ثابت مدل Realizable k- ε	C_2
ثابت مدل Realizable k- ε	C_μ
ثابت مدل Realizable k- ε	$C_{1\varepsilon}$
ثابت مدل Realizable k- ε	$C_{2\varepsilon}$
ضریب متغیر مدل Realizable k- ε	$C_{3\varepsilon}$
انرژی کل بر واحد جرم، J/ kg	E
نیروی حجمی خارجی، N	$\vec{F}$
جمله تولید انرژی آشفتگی در اثر شناوری، J/ m^3 s	G_b
جمله تولید انرژی آشفتگی در اثر گرادیان سرعت، J/ m^3 s	G_k
ثابت گرانش، m/ s^2	g
آنتالپی تشکیل جزء j بر واحد جرم، J/ kg	h_j
شار نفوذ جزء j ، kg/ m^2 s	J_j
انرژی جنبشی آشفتگی، J/ kg	k
فشار، Pa	p
معکوس متوسط مقیاس زمانی برشی،1/s	S
تنسور سرعت کشش متوسط	S_{ij}
گرمای واکنش، J/ m^3 s	S_h
جرم فاز پراکنده اضافه شده به فاز پیوسته، kg	S_m
جمله منبع در معادله انرژی جنبشی آشفتگی، J/ m^3 s	S_k
جمله منبع در معادله پراکندگی انرژی جنبشی آشفتگی، J/ m^3 s	S_ε
زمان، s	t
سرعت جریان عمود بر بردار گرانشی، m/ s	u
سرعت جریان موازی با بردار گرانشی، m/ s	v
سرعت، m/ s	$\vec{v}$
محور مختصات در جهت i یا j، m	x_i, x_j
سهم نوسانان در اغتشاش تراکم پذیر	Y_m

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]
[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

علایم یونانی

ε	پراکندگی انرژی جنبشی آشفتگی، m^2/s^3
η	نسبت مقیاس زمانی برشی آشفته به متوسط
μ	ویسکوزیته مولکولی، $kg/m\,s$
μ_t	ویسکوزیته آشفتگی، $kg/m\,s$
ρ	دانسیته، kg/m^3
$\sigma_k, \sigma_\varepsilon$	عدد پرانتل آشفتگی
τ	تنش برشی، $kg/m\,s^2$

مراجع

[1] S.Wongwises, P., Naphon, A review of flow and heat transfer characteristic in curved tubes, Journal of Renewable and Sustainable energy reviews, 10 (2006) 254-256.

[2] M. Ghobadi, Experimental measurement and modelling of heat transfer in spiral and curved Channels. PhD Thesis. Memorial university of newfoundland. 2014.

[3] V. Subhashini, V., Kumar, D. P., Krishna., A Review on the Potential Applications of Curved Geometries in Process Industry, Ind. Eng. Chem. Res., 47 (2008) 3291-3337.

[4] S.L. Dixon, *Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery*, 3th ed., Pergamon, UK, 1979.

[5] S. Cheah, C., Iacovides, H., Jackson, D. C., Launder, LDA investigation of the flow development through rotating ducts, Transactions of ASME, 118 (1996) 590-596.

[6] W. R Dean, Note on the Motion of a Fluid in a curved pipe, Phil. Mag.,4 (1927) 208-233.

[7] W. R Dean, The Streamline Motion of a Fluid in a curved Pipe, Phil. Mag., 5 (1928) 673-693.

[8] M. Anwer, R.M.C., So, Swirling turbulent flow through a curved pipe, Experiments in Fluids, 14 (1993) 85-96.

[9] J. Azzola, J. A.C., Humphrey ,Developing turbulent flow in a 180° curved pipe and its downstream tangent, https://doi.org/10.1115/ 1.3242565, 1984.

[10] Md. Safayet Hossain, Md., Ishtiaque Hossain, Computational investigation of turbulent flow development in 180° channel with circular cross section, EJERS, 3 (12) (2018) 98-105.

[11] H. Sugiyama, D., Hitomi, Numerical analysis of developing turbulent flow in a 180° bend tube by an algebraic Reynolds stress model, International Journal for Numerical Methods in Fluids, 47 (2005) 1431-1449.

[12] M. Moshfeghian, The effect of a 180° bend on turbulent heat transfer coefficient in a pipe, Bachelor of Science, Oklahoma State University, Oklahoma, 1974.

[13] Y.G. Lai, R.M.C., So, H. S., Zhang, Turbulence-driven secondary flows in a curved pipe, Theoret. Comput. Fluid Dynamics, 3 (1991) 163-180.

[14] K. Pradhan, K., Sahoo, K., Roul, M., Awad, K., Barik, Heat transfer characteristics of an 180° bend pipe of different cross sections using nano‑enhanced ionic liquids, https://doi.org /10.1007/s42452-020-2915-9, (2020).

[15] P. S. Dutta, N., Kumar, N., Nandi, Numerical study on flow separation in 90° pipe bend under high Reynolds number by k-ε modeling, Eng. Sci. Technol. Int. J. 9 (2016) 904-910.

[16] Y. Wang, Q., Dong, R., Wang, Numerical investigation on fluid flow in a 90-degree Curved pipe with large curvature ratio, http://dx.doi.org/ 10.1155/2015/548262, 2015.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

[17] A. M. Taylor, J. H., Whitelaw, M. J., Yianneskis, Curved ducts with strong secondary motion: Velocity measurements of laminar and turbulent flow, ASME Journal of Fluid Engineering, 104 (1982) 350-359.

[18] R. Tarodiya, S., Khullar, B. K., Gandhi, CFD Modeling of Multi-Sized Particulate Slurry Flow through Pipe Ben, Journal of Applied Fluid Mechanics, 13(4) (2020) 1311-1321.

[19] K.S. Mushatet, Ali, M, Ayad, CFD analysis for turbulent flow and heat transfer in U-tube, J. Eng. Appl. Sci., 13(14) (2018) 11122-11134.

[20] K.S. Mushatet, Ali, M, Ayad, 3D numerical simulation of turbulent flow and heat transfer in a U-tube of different configurations. Int. J. Eng. Technol. 7(4) (2018) 3902-3908.

[21] T. H. Biranjee, S., Abhishek, Review on heat transfer and fluid flow within U-pipe and bend pipe, IJRTER., 3(4) (2017) 319-25.

[22] C. Koushik, K., Prakash, Steady and Unsteady Forced Convective Heat Transfer Analysis in 180 Degree Bend, https://doi 10.1080/01457632.2019 .1675248, (2019).

[23] S. Seyfi, B., Mirzayi, H., Seyyedbagheri, CFD Modeling of Black Powder Particles Deposition in 3D 90-degree Bend of Natural Gas Pipelines, https://doi.org/10.1016/j.jngse.2020 .103330, (2020).

[24] M. Akbari, M., Vaghefi1, Y., Chiew, Effect of T-shaped spur dike length on mean flow characteristics along a 180-degree sharp bend, https://doi. 10.2478/johh-2020-0045, (2020)

[24] W.E. Labo, J.E., Evans, Heat Transfer in the Radiant Section of Petroleum Heaters, AIChE, 35 (1939) 743-758.

[25] S. Osuwan, F. R., Steward, A mathematical simulation of radiant heat transfer in a cylindrical furnace. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 50(4) (1972) 441-560.

[26] J.J. De Saegher, T., Detemmerman, G.F., Froment, Three-dimensional simulation of high-severity internally finned cracking coils for olefins production. Oil Gas Sci. Technol. vol. 51(2) (1996) 245–260.

[27] T., Detemmerman, G.F., Froment, Three-dimensional coupled simulation of furnaces and reactor tubes for the thermal cracking of hydrocarbons, Oil & Gas Science and Technology – Rev., 53(2) (1998) 181-194.

[28] G.J. Heynderickx, A.J.M., Oprins, G.B., Marin, E., Dick, Three-dimensional flow patterns in cracking furnaces with long flame burners, AIChE J., 47 (2001) 388-410.

[29] A.J.M. Oprins, G.J., Heynderickx, G.B., Marin, Three-dimensional asymmetric flow and temperature fields in cracking furnaces, Ind. Eng. Chem. Res., 40 (23) (2001) 5087–5094.

[30] A.J.M. Oprins, G.J., Heynderickx, Calculation of three-dimensional flow and pressure fields in cracking furnaces. Chem. Eng. Sci., 58 (2003) 4883–4893.

[31] G. Sowers, C. Reed, Dynamic optimization of ethylene furnaces cracking propane, 13th Ethylene Producers Conference 366,(2001).

[32] A. Fahiminezhad, S.M, Peyghambarzadeh, M., Rezaeimanesh, Mathematical modelling and industrial verification of EDC cracking furnace, JChPE., 54(2) (2020) 165-185.

[33] F. Fang, T., Qiu, W., Zhou, Coupled simulation of recirculation zonal firebox model and detailed kinetic reactor model in an industrial ethylene cracking furnace, Chinese Journal of Chemical Engineering. 25(8) (2017) 1091-1100.

[34] M.,Rezaeimanesh, A.A.,Ghoreyshi, S.M., Peyghambarzadeh, S. H,. Hashemabadi, A coupled CFD simulation approach for investigating the pyrolysis process in industrial naphtha thermal cracking furnaces, https://doi.org/10.1016/j.cjche.2021.03.028**,** (2021)

[35] J. Tu, G., Yeoh, C., Liu, *Computational Fluid Dynamics*, 6th ed, https://doi.org/10.1016 /C2015-0-06135-4, 2018.

[36] B. Bird, E. S., Warren, N. L., Edwin , *Transport Phenomena*, 2nd ed, John wiley & sons, Inc., NY, 2002.

[37] T. Shih, W., Liou, A., Shabbir, Z., Yang, J., Zhu, A new k-ε eddy viscosity model for high Reynolds number turbulent flows, Computers Fluids, 24 (1995) 227-238.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

[38] R R. Chowdhury, M. M., Alam, K.M., Sadrul Islam, Numerical modeling of turbulent flow through bend pipes, Mech. Eng. Res. Journal, 10 (2016) 14-19.

[39] Y. Wang, Q., Dong, R., Wang, Numerical investigation on fluid flow in a 90-degree Curved pipe with large curvature ratio, http://dx.doi.org/10.1155/2015/548262, (2015).

[40] N. Zhang, T., Qiu, B., Chen, CFD Simulation of propane cracking tube using detailed radical kinetic mechanism, Chinese J. Chem. Eng., 21(12) (2013) 1319-1331.

[41] https://www.iist.ac.in/sites/default/files /people/pdf.

[42] P., Naphon, J., Suwagrai, Effect of curvature ratios on the heat transfer and flow developments in the horizontal spirally coiled tubes, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50 (2007) 444–451.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

رزومه



الهام امینی متولد نجف‌آباد اصفهان است (۱۳۵۸). لیسانس خود را از دانشگاه اصفهان (۱۳۸۱) در رشته مهندسی شیمی- طراحی فرایندهای صنایع نفت و فوق لیسانس خود را در رشته مهندسی شیمی- صنایع پتروشیمی (۱۳۸۶) از دانشگاه صنعتی امیرکبیر اخذ نموده است. ایشان دارای بیش از ده سال سابقه اشتغال در پتروشیمی شهید تندگویان بوده و هم اکنون مشغول به تحصیل در دوره دکترای مهندسی شیمی دانشگاه آزاد واحد ماهشهر می‌باشد. مدلسازی و شبیه‌سازی فرایندها، سیستم های نوین مدیریتی و مطالعات استراتژیک از جمله فعالیت های ایشان می باشد.



سید محسن پیغمبر زاده متولد ساری می باشد (۱۳۵۹). ایشان دارای مدرک لیسانس مهندسی شیمی- طراحی فرایندهای صنایع نفت (۱۳۸۲) از دانشگاه تهران، فوق لیسانس مهندسی شیمی- مهندسی فراوری و انتقال گاز (۱۳۸۵) از دانشگاه صنعت نفت و دکترای مهندسی شیمی (۱۳۹۱) از دانشگاه تهران است. تخصص ایشان در زمینه های انتقال حرارت بالاخص جابه جایی اجباری و جوشش، مباحث مربوط به مایعات حاوی ذرات معلق مانند افزایش انتقال حرارت در نانو سیالات و تشکیل رسوب در مبدل های حرارتی می باشد. نتایج کار ایشان در بیش از صد مجله معتبر به چاپ رسیده و به عنوان یکی از محققان در فهرست ۲ درصد برتر محققان پر استناد دنیا شناخته شده است. در حال حاضر ایشان عضو هیات علمی و دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر می باشد.



سروش زرین آبادی متولد آبادان می باشد(۱۳۵۴). تحصیلات خود را در رشته مهندسی شیمی- صنایع پتروشیمی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد ماهشهر (۱۳۷۶) به پایان رسانده و بلافاصله با اعمال بورسیه توسط دانشگاه آزاد اسلامی ماهشهر در مقطع کارشناسی ارشد مهندسی شیمی مشغول به تحصیل شد. ایشان دکترای تخصصی خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (۱۳۸۹) دریافت نمود. زمینه های تخصصی ایشان جداسازی به روش استخراج فوق بحرانی و ترمودینامیک می باشد. ایشان هم اکنون عضو هیات علمی و استادیار پایه ۱۸ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز می باشد.



سید حسن هاشم آبادی متولد بیرجند(۱۳۴۹)، فارغ التحصیل لیسانس مهندسی شیمی- صنایع پتروشیمی (۱۳۷۱)، فوق لیسانس مهندسی شیمی (۱۳۷۴) و دکترای مهندسی شیمی (۱۳۸۱) از دانشگاه امیرکبیر است. کاربرد دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در مهندسی شیمی، رئولوژی سیالات، اندازه‌گیری جریان (میترینگ سیالات)، انتقال حرارت، خشک کن‌های صنعتی و طراحی فنی و اقتصادی فرآیندها از جمله فعالیت های ایشان بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی و استاد تمام در دانشگاه علم و صنعت می باشد.

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]

چکیده انگلیسی:

Effect of bends on the heat transfer and hydrodynamics of hot oil in the coils of the radiation section of an industrial furnace

Elham Amini[1], Seyyed Mohsen Peyghambarzadeh[2*], Soroush Zarrinabadi[3] , Seyyed Hasan Hashemabadi[4]

[1]Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran
[2*]Department of Chemical Engineering, Mahshahr Branch, Islamic Azad University, Mahshahr, Iran
[3]Department of Chemical Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran
[4]CFD Research Laboratory, School of Chemical, Petroleum and Gas Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran

Received: July 2021, Accepted: August 2021

Abstract

In this study, a three-dimensional steady state simulation of the coil containing hot oil in the radiation section of the vertical cylindrical furnace of an industrial unit was investigated use to Fluent 2019 R1. This coil has nine U-shaped bends with an angle of 180 degrees. Using computational fluid dynamics, flow velocity and pressure, fluid outlet temperature, and coil wall temperature in different parts of the system were calculated. To validate the model, comparison of the simulation results of the coil wall temperature at the end of the fluid path and the fluid temperature at the outlet with industrial values has been performed. Comparison of the computed wall temperature and fluid temperature at the coil outlet with the industrial values showed deviations of about 6% and 0.44%, respectively. The presence of bends in the coil caused some fluctuations in the parameters along the coil. Centrifugal force due to the curved geometry of the coil changed the pressure distribution, and this pressure change caused the fluid velocity and temperature, and wall temperature to fluctuate, so that in the bend, the pressure fluctuated about 4952 Pa, fluid velocity changed up to 2.83 m/s, the fluid temperature varied to about 2 K, and the wall temperature difference was about 10 K.

Key words: Simulation, Hot oil furnace coil, Computational fluid dynamics, 180-degree bend.

*corresponding author: **peyghambarzadeh@gmail.com**

Cite this article as: Elham Amini, Seyyed Mohsen Peyghambarzadeh, Soroush Zarrinabadi, Seyyed Hasan Hashemabadi, Effect of bends on the heat transfer and hydrodynamics of hot oil in the coils of the radiation section of an industrial furnace. Journal of Energy Conversion, 2021, 8(3), 30-46. DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3

[Downloaded from jeed.dezful.iau.ir on 2026-11-08]

[DOR: 20.1001.1.20089813.1400.8.3.5.3]