

ICHMT2012-6220

بررسی مدل‌های آشفتگی در شبیه‌سازی عددی جریان سه‌بعدی جت برخوردکننده به یک مکعب گرم با یک لایه اپکسی بر روی آن

محسن کهرم^۱، امیر امیدوار^۲، مهدی نوروزی^۳، مجید زمانی^۴

^۱دانشیار گروه مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ mohsen.kahrom@yahoo.co.uk

^۲دانشجوی دکتری مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ am.omidvar@gmail.com

^۳دانشجوی دکتری مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ norozi347@yahoo.com

^۴دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد؛ msc.zamani@gmail.com

چکیده

در این مقاله به شبیه‌سازی سه‌بعدی یک مکعب گرم تحت تأثیر یک جت برخوردکننده، به منظور پیش‌بینی میدان جریان، خصوصیات آشفتگی و خواص انتقال حرارت پرداخته شده است. برای شبیه‌سازی این جت برخوردکننده، نتایج مدل‌های مختلف آشفتگی مانند RSM، $RNG\ k-\epsilon$ و $SST\ k-\omega$ با یکدیگر مقایسه و با نتایج تجربی تطبیق داده شده است. تحلیل حاضر نشان می‌دهد که به‌طور کلی مدل $SST\ k-\omega$ و RSM در مقایسه با مدل $RNG\ k-\epsilon$ ، تطابق بهتری را با نتایج تجربی خصوصاً در مناطق با گرادیان شدید مانند نقاط سکون روی مکعب دارد.

واژه‌های کلیدی

واژه‌های کلیدی به تعداد حداکثر ۵ واژه پس از چکیده درج شود.

مقدمه

مقدمه

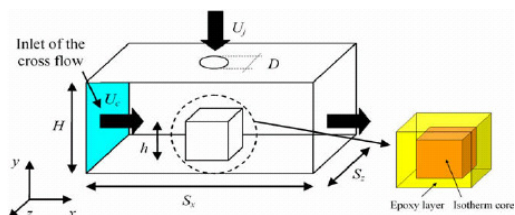
جت برخوردکننده دارای کاربردهای گسترده‌ای در مسایل مهندسی و عملی می‌باشد. از جمله موارد مورد استفاده از این جت می‌توان به خشک‌کن‌ها، سرد کردن تدریجی فلز و شیشه، شکل‌دهی پلاستیک، خنک‌کاری ثانویه در تولید چدن، خنک‌کاری ترانزیستورها، خنک‌کاری پره‌های توربین، خشک کردن پارچه و کاغذ و هم‌چنین گرم کردن تولیدات شیشه‌ای اشاره کرد. به‌طور کلی می‌توان گفت جت برخوردکننده گزینه مناسبی برای استفاده در کاربردهایی است که به نرخ انتقال حرارت و جرم بالا نیاز است. از این روی تکنیک پرتاب جت سرمایشی و گرمایشی، نظر محققان بسیاری را به خود جلب کرده است. این گستره‌ی استفاده از جت برخوردکننده به دلیل پتانسیل بالای جت پرتابی در افزایش انتقال حرارت موضعی و انتقال جرم می‌باشد [۱،۲].

روند کنونی توسعه دستگاه‌های الکترونیکی مبین این مطلب است که گرمای منتشر شده از قطعات الکترونیکی به صورت مداوم در حال افزایش می‌باشد. در این‌گونه قطعات، اغلب از کانال‌های با جریان اجباری به عنوان روشی برای خنک‌کاری قطعات استفاده

می‌شود [۳]. به منظور اینکه کانال جریان اجباری پاسخگوی بار حرارتی تولید شده باشد، یک روش ممکن این است که جریان کانال به یک جت برخوردکننده و یک جریان کانال با سرعت پایین تقسیم شود [۴]. اگر چه اکثر تحقیقات بر روی جت برخوردکننده استوانه‌ای با مقطع دایروی متمرکز شده است اما بررسی اثر شکل و نحوه پرتاب جت با هندسه‌های مختلف بر مشخصه‌های جریان و انتقال حرارت نیز یکی از موضوعات بررسی شده در این زمینه می‌باشد [۵]. از موضوعات مهم دیگری که در تحلیل جت برخوردکننده مورد بررسی قرار می‌گیرد مشخصه‌های جریانی و انتقال حرارتی جت برخوردکننده در نقاط با گرادیان شدید مانند نقاط سکون است [۶]. در مقاله حاضر، جریان جت برخوردکننده به یک مکعب گرم با یک لایه اپکسی بر روی آن به‌صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی شده است و نتایج این تحلیل در مدل‌های مختلف توربولنسی با یکدیگر مقایسه گردیده است. همچنین نتایج سه مدل توربولنسی RSM، $RNG\ k-\epsilon$ و $SST\ k-\omega$ در نقاط با گرادیان شدید و نقاط سکون مورد تجزیه و تحلیل و مقایسه قرار گرفته است.

خصوصیات سیال و هندسه مسأله

همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است حوزه محاسباتی، کانالی مستطیل شکل همراه با یک مکعب در وسط دیوار پایین می‌باشد. کانال دارای دو جریان ورودی است: یک ورودی افقی با سرعت کم و یک جت دایروی برخوردکننده به مرکز مکعب گرم. جت پرتابی از بین نازل مدوری که در وسط صفحه بالایی قرار دارد، وارد کانال می‌شود. مکعب از یک هسته دما ثابت ۷۰ سانتیگرادی تشکیل شده است که با یک لایه اپوکسی با ضریب هدایت حرارتی کم و ضخامت ۱/۵ میلی‌متر پوشیده شده است (شکل ۱).

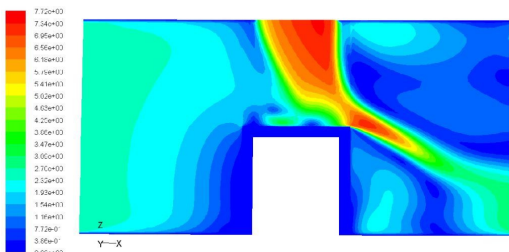


شکل ۱: نمای کلی از فضای محاسباتی و مکعب گرم شده.

برخوردکننده هر دو 20°C در نظر گرفته شده است. برای هر دو سرعت سیال ورودی جریان، شرط سرعت ورودی با سرعت متوسط ارائه شده در جدول (۱) استفاده شده است.

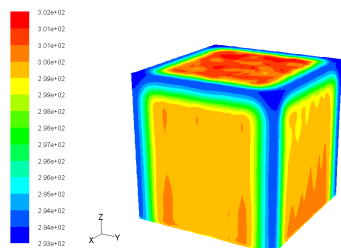
نتایج

در شکل (۳) کانتور مقدار سرعت سیال جت برخورد کننده در مقطع XZ کانال ارائه شده است. انحراف جریان توسعه یافته جت در جهت جریان سیال کانال مشهود است. نتایج به دست آمده از حل به کمک هر سه مدل آشفتگی نزدیک به هم بوده ولی نتایج مدل آشفتگی RSM دقت بهتری در شبیه سازی جریان را نشان می دهد.



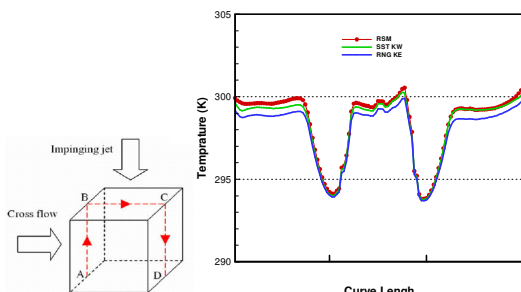
شکل ۳: کانتور مقدار سرعت در مقطع میانی صفحه XZ.

در شکل (۴) کانتور دما بر روی مکعب گرم شده مشاهده می شود. در مقایسه ای که میان انتقال حرارت از مکعب گرم با مقادیر آزمایشگاهی مرجع [۳] انجام گرفته تطابق خوبی مشاهده گردید. در شکل، کاهش ناگهانی دما در نزدیکی لبه های مکعب مشاهده می شود.



شکل ۴: کانتور دمای سطوح مکعب گرم شده.

در شکل (۵) توزیع دمای سطح در مسیری از صفحه XY ارائه شده است. روند افزایشی دما در نزدیکی سطح پایینی مکعب (نقاط A و D) به دلیل آدیباتیک بودن دیواره است.



شکل ۵: توزیع دمای سطح در مسیری از صفحه XZ و $z/h=0$

سرعت متوسط عبور جریان از مقطع، U_c و سرعت متوسط جت برخورد کننده، U_j ، به ترتیب برابر $2/4$ و $6/5$ متر بر ثانیه می باشد. جزئیات هندسی و خواص سیال در جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. جریان سیال سرد کننده درون کانال، هوا می باشد.

جدول ۱: جزئیات هندسه و جریان.

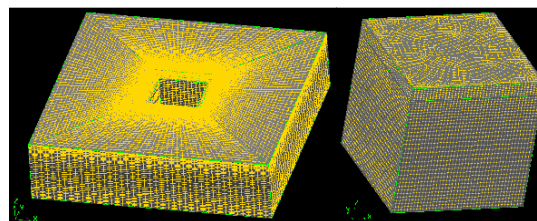
مقدار	ابعاد
12 mm	قطر نازل D
15 mm	ارتفاع مکعب h
2h=30 mm	ارتفاع کانال H
4h=60 mm	طول و عرض کانال S_x, S_z
5341	عدد رینولدز جت $Re_j = U_j D / \nu$
4932	عدد رینولدز جریان $Re_c = U_c H / \nu$

جدول ۲: جزئیات هندسه و جریان

هوا	لایه ایوکسی	
1006.43	1668.5	حرارت مخصوص
1.225	1150.0	دانسیته
0.0242	0.236	ضریب هدایت
1.46×10^{-5}	-----	لزجت سینماتیکی

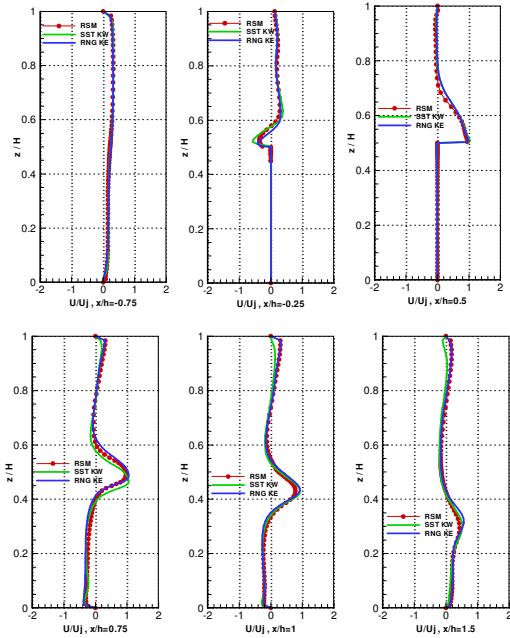
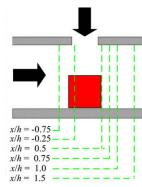
جزئیات حل عددی

برای تحلیل این مسأله، معادلات پیوستگی، ناویر-استوکس و انرژی سه بعدی برای سیال تراکم ناپذیر حل شده است. حل عددی معادلات حاکم مربوطه، توسط کد Fluent 6.3.26 به روش حجم محدود به صورت طرح فشار مبنا و الگوریتم PISO جهت حل توأم فشار-سرعت انجام شده است. انتگرال گیری زمانی نیز به صورت ضمنی مرتبه دو انجام گرفته است. گام زمانی برابر $5/3115 \times 10^{-6}$ ثانیه در نظر گرفته شده است. برای بررسی تقابلی های پیچیده به خصوص در نزدیکی دیوار و ناحیه لایه برشی و نیز ساختارهای پیچیده جریانی، باید شبکه بندی به اندازه کافی متراکم باشد تا بتوان همه خواص را در تمام نقاط حوزه حل به همراه گردابه های موجود در آن نقاط پیش بینی کرد؛ بر این اساس، شبکه محاسباتی متشکل از $859,421$ سلول سازمان یافته شش وجهی است. در نزدیکی دیواره های جامد، شبکه ها به اندازه کافی برای پوشش دادن تمام لایه های مرزی ریز شده اند. در شکل (۲) دو نمای شبکه بندی مشاهده می شود.

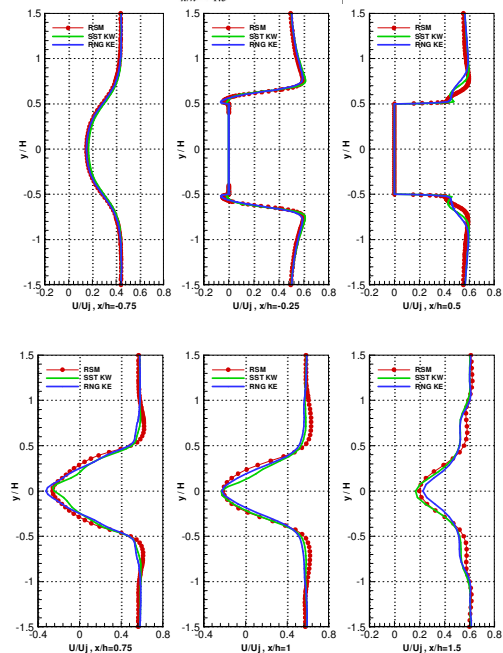
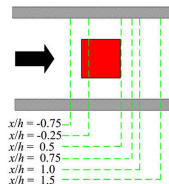


شکل ۲: نمای شبکه محاسباتی از دو منظر.

در دیواره های بالا و پایین شرط عدم لغزش برقرار است. شرایط مرزی متقارن برای دیواره های کنار و برای جریان خروجی، شرط فشار خروجی استفاده شده است. دمای کانال جریان و جت

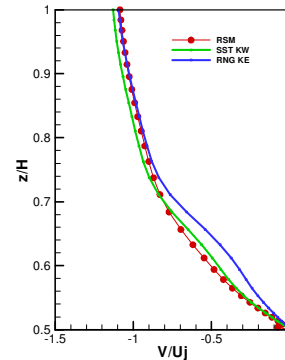


شکل ۷: مولفه X سرعت (U/U_j) در صفحه xz و $y/h = 0$.



شکل ۸: مولفه X سرعت (U/U_j) در صفحه xz و $y/h = 4/15$.

شکل (۶) مولفه سرعت در جهت y ، (V/U_j) ، در مرکز جت ورودی، به صورت تابعی از فاصله عمودی z/h نشان می‌دهد. در این شکل نتایج مرتبط به دو مدل توربولنسی $RNG k-\epsilon$ و $SST k-\omega$ با نتایج مدل RSM مقایسه شده است. در همه مدل‌های فوق مقادیر مولفه سرعت در جهت y ، در فاصله $0 \leq z/H \leq 0.75$ به صورت نمایی و در فاصله $z/H \geq 0.75$ به صورت خطی کاهش می‌یابد. در ناحیه نمایی، مدل $RNG k-\epsilon$ مقادیر کمتری برای مولفه سرعت در جهت y را پیش‌بینی می‌کند.



شکل ۶: مولفه y سرعت در مرکز جت ورودی (V/U_j) در راستای z و در موقعیت $x/h = 0$ ، $y/h = 0$.

در شکل (۷) مولفه X سرعت (U/U_j) در صفحه xz و $y/h = 0$ به صورت تابعی از فاصله عمودی (y/h) نزدیک مکعب نشان داده شده است. هر نمودار موقعیت‌های مختلف در راستای محور x را در مرکز مکعب نشان می‌دهد. اولین نمودار خطی به فاصله $0.75 h$ از بالادست جریان $(x/h = -0.75)$ که از مرکز مکعب عبور می‌کند را نشان می‌دهد. مولفه X سرعت (U/U_j) در پنج موقعیت دیگر یعنی $x/h = 1$ ، $x/h = 0.5$ ، $x/h = 0.75$ ، $x/h = -0.25$ و $x/h = 1.5$ نیز در پنج نمودار دیگر شکل (۷) نشان داده شده است. شکل (۷) نشان می‌دهد که در نواحی سکون، بین مدل‌های توربولانسی موجود $RNG k-\epsilon$ ، $SST k-\omega$ و RSM در حل تطابق خوبی وجود دارد. جدایی قوی‌ای در دیواره پشت رخ می‌دهد که همه مدل‌ها آن را پیش‌بینی کرده‌اند (نمودار سوم شکل (۷)).

شکل (۸) مولفه X سرعت (U/U_j) در صفحه xz را به صورت تابعی از فاصله عمودی z/h یا $4mm$ یا $y/h = 4/15$ نشان می‌دهد. نمودارهای ارائه شده مربوط به موقعیت‌های مشابه در شکل (۷) هستند. اولین نمودار در شکل (۸)، اثر انسداد مقابل دیواره جلویی مکعب را نشان می‌دهد. در نمودارهای سوم و چهارمی جریان کمکی پیش شده است و جدایش جریان از دیواره‌های کناری را به خوبی نشان می‌دهد. تطابق بین مدل‌های RSM و دو مدل دیگر در ناحیه گردابه‌ای پشت دیواره عقب در نمودارهای چهارم، پنجم و ششم مشهود است.

- [۲] Numerical and experimental study of turbulent impinging twin-jet flow, A. Abdel-Fattah, Department of Mechanical Power Engineering, Faculty of Engineering, Menoufia University, Shebin El-Kom, Egypt, 2006.
- [۳] Experimental Study of Heat Transfer in Turbulent Flows Over Wall-mounted Cubes, E.R. Meinders, , Ph.D. Thesis, Delft University of Technology, The Netherlands, 1998.
- [۴] Investigation of flow and heat transfer of an impinging jet in a cross-flow for cooling of a heated cube, D. Rundstrm, B. Moshfegh, ASME J. Electron. Pack. 128 , 150–156, 2006.
- [۵] Experimental study of turbulent round jet flow impinging on a square cylinder laid on a flat plate, Nam-Shin Kim, Andre´ Giovanni, Institut de Me´canique des Fluides de Toulouse, Alle´e du Pr. Camille Soula, 31400 Toulouse, France, 2007.
- [۶] Stagnation region heat transfer of a turbulent axisymmetric jet impingement, J. Lee, S.J. Lee, Exp. Heat Transfer 12 (1999) 137–156.

جمع بندی

شبیه‌سازی عددی جریان سه‌بعدی برخورد یک جت با جریان اصلی بر روی مکعب گرم‌شده انجام شد. در شبیه‌سازی جریانی از مدل‌های آشفتگی $RNG k-\epsilon$ ، $SST k-\omega$ و RSM استفاده گردید. مدل RSM نسبت به مدل‌های توربولنسی دیگر نتایج نزدیک‌تری را با نتایج آزمایشگاهی نشان داده است. هر سه مدل توربولنسی بررسی شده ویژگی‌های جریانی و حرارتی در مناطق با گرادیان زیاد را (نقاط سکون) به خوبی پیش‌بینی کردند.

مراجع

- [۱] Application of pressure and temperature sensitive paints for study of heat transfer to a circular impinging air jet, Quan Liu, A.K. Sleiti, J.S. Kapat, Mechanical, Materials and Aerospace Engineering Department, University of Central Florida, Orlando, FL 32816, USA, 2007.