



## مقایسه تاثیر مدل های مختلف توربولانسی بر نمایش چرخش و برگشت جریان

محمد مقیمان<sup>1</sup>، سیده مهناز مدیر خازنی<sup>2</sup>، فاطمه ظهوریان<sup>3</sup>

<sup>1</sup>استاد تمام مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی؛ mmoghiman@yahoo.com  
<sup>2</sup>کارشناس مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی؛ smm.modir@gmail.com  
<sup>3</sup>کارشناس مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی؛ f.zohouriann@gmail.com

### چکیده

ویژگی های آن می باشد. جریان های توربولانسی سبب اختلاط بهتر سوخت و هوا و در پی آن ایجاد احتراق با شرایط مطلوب می گردند. یک جریان سیال را زمانی توربولانت گویند که تمام مقادیر ترانسپورت آن مثل جرم، مومنتوم و انرژی به صورت پرودیک دارای نوسانات غیر معمول در زمان و فضا باشند. چنین شرایطی اختلاط متغیرهای ترانسپورت را بهبود می بخشد.

از جمله پارامترهایی که در جریان های توربولانسی جهت احتراق بهینه حائز اهمیت هستند می توان به پارامترهای برگشت و چرخش جریان اشاره نمود. در پدیده برگشت جریان، سیال به دلیل سرعت بالا سبب ایجاد نوعی خلا در مناطقی که طی می کند می گردد. در جایی سرعت رفت کاهش پیدا کرده و نیروی کمتری وارد می کند سپس نیروی بازگشت دهنده با نیروی رفت برابر شده و سبب سکون جریان و در نقاط بعدی که سرعت رفت باز هم کمتر می گردد سبب بازگشت جریان می شود. به این حالت، جریان برگشتی یا جریان معکوس گفته می شود. همچنین در مورد چرخش می توان گفت که آن یک پدیده سه بعدی در جریان مایعات است. این پدیده در مدل هایی با مقطع دایره ای رخ می دهد که در آن برخی از ذرات در عین اینکه که همراه جریان سیال در حال حرکت به جلو هستند یک خط سیر مارپیچی را حول محور طولی مدل، دنبال می کنند. سیستم های احتراقی که بر اساس اصول حرکت سیال در حال چرخش به منظور تسهیل فرآیند احتراق عمل می کنند به طور فزاینده ای مورد استفاده گسترده قرار گرفته اند. جریان های چرخشی امروزه در ماشین آلات مدرن احتراق مانند مشعل پالایشگاه و یا ایستگاه برق، محترق کننده های توربین های گاز و موتورهای احتراق داخلی استفاده می گردد [1].

بسیاری از تحقیقات صورت گرفته از مدت ها پیش تا به امروز بر روی این موضوع تمرکز نموده اند. از جمله این مطالعات می توان به تحقیقات خلیل ام صغر<sup>1</sup> و دوستان [2] که شبیه سازی عددی جریان گردابه ای محدود با استفاده از مدل توربولانسی اصلاح شده  $k-\epsilon$  را مورد بررسی قرار داده اند و همچنین مطالعات جرج مارتینز و

در این پژوهش، چرخش و برگشت جریان به صورت عددی در یک کوره برای جریان های متلاطم با استفاده از سه مدل مختلف توربولانسی مورد بررسی قرار گرفته است. جهت تعیین مناسب ترین مدل برای نشان دادن ویژگی های توربولانسی جریان، از نرم افزار فلوئنت استفاده گردیده است. مدل های مقایسه شده عبارتند از مدل RSM (مدل تنش رینولدز) که ویژگی های جریان را مستقیماً از معادلات ترانسپورت محاسبه می کند و مدل های  $k-\epsilon$  standard و  $k-\epsilon$  RNG که از مفهوم ویسکوزیته گردابه ای در محاسبات خود استفاده می نمایند. نخست متناسب با دقت نتایج مورد نظر یک شبکه بندی بر روی مدل کوره انجام گردیده و ضمن اعمال شرایط مرزی حاکم، نتایج حاصل از مدل های مختلف با یکدیگر و همچنین با مقادیر تجربی مقایسه شده اند. نتایج نشان می دهند که مدل RSM در نمایش جریان برگشتی بهتر از دو مدل دیگر عمل می کند اما این مدل بسیار آهسته همگرا می شود و هزینه و زمان محاسباتی زیادی را می طلبد لذا در صورت اهمیت داشتن این دو فاکتور، بهتر است از مدل  $k-\epsilon$  RNG که تفاوت خیلی کمی با مدل RSM در نمایش جریان برگشتی دارد ولی سریع تر همگرا می شود استفاده گردد. در مورد چرخش جریان می توان گفت که مدل  $k-\epsilon$  Standard بهتر از دو مدل دیگر چرخش را نشان می دهد. علاوه بر این، از لحاظ این ویژگی، مدل RNG بر مدل RSM برتری دارد.

**کلمات کلیدی:** برگشت جریان - چرخش جریان - مدل RSM - مدل  $k-\epsilon$  Standard - مدل  $k-\epsilon$  RNG

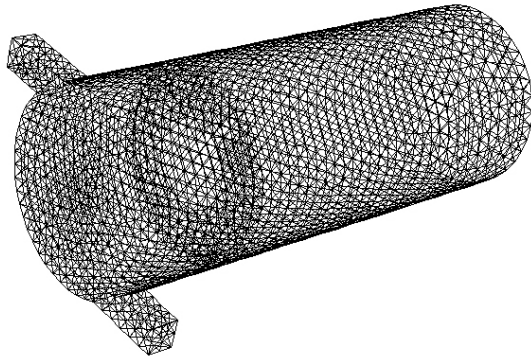
### مقدمه

فرآیند احتراق امروزه کاربرد چشمگیری در صنعت و زندگی روزمره افراد دارد لذا بررسی ویژگی های آن و نحوه رسیدن به یک احتراق موثر و بهینه، بحث حائز اهمیتی می باشد که می تواند رهاوردهایی چون کاهش هزینه ها و مصرف سوخت و افزایش بازدهی احتراق را در بر داشته باشد.

یکی از مهمترین پارامترهایی که در فرآیند توسعه شعله و بهینه کردن مصرف سوخت تاثیر بسزایی دارد جریان توربولانس و

<sup>1</sup> Khalid M. Saqr et al

سلول‌های شبکه اجازه می‌دهد که در نواحی منتخب از دامنه سیال به صورت خوشه‌ای دربیایند و در نتیجه باعث بالا رفتن سرعت محاسبات و کاهش پراکندگی عددی می‌گردد [6]. تعداد کل شبکه‌ها برابر با 36321 و اعتبار سنجی اندازه شبکه بندی هندسه طوری صورت گرفته است که به ازای کوچک تر نمودن شبکه تغییری در نتایج حاصل نگردد.



شکل 2: چگونگی شبکه بندی مدل کوره شبیه سازی شده

#### معادلات

فرمول‌های گسترده ای برای محاسبات جریان‌های توربولانت به کار رفته‌اند. به عنوان نمونه فرمول به کار رفته برای مدل k-ε-Standard به صورت زیر می‌باشد:

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho v_j \varepsilon) = \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\mu_t}{\partial \varepsilon} + \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_1 \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_2 \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$$

و فرمول مشابه با فرمول 2، با جمله چشمه متفاوت برای محاسبه k به کار می‌رود. هر چند که دو مدل k-ε-Standard و k-ε-RNG هر دو از مفهوم ویسکوزیته گردابه ای جهت محاسبات خود استفاده می‌کنند ولی فرمول‌های به کار رفته جهت محاسبه k و ε در این دو مدل متفاوت می‌باشند. فرمول‌های مدل RNG به شرح زیر می‌باشند [7]:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + \quad (3)$$

$$G_k + G_b - \rho\varepsilon - Y_m \quad (4)$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b)$$

$$- C_{2\varepsilon} G_b - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R$$

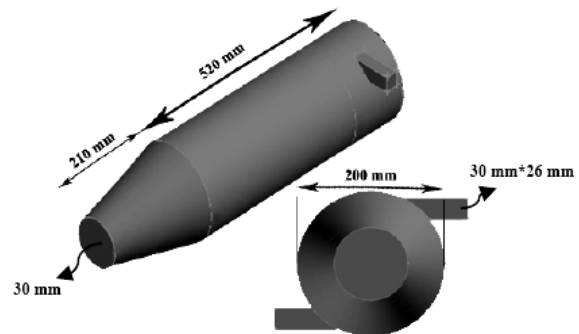
دوستان<sup>2</sup> [3] که تحلیل چرخش در داخل سیلندر با استراتژی‌های متفاوت بر روی چرخه‌های بیش از حد گسترش یافته را انجام داده‌اند و نیز تلاش‌های صورت گرفته توسط کناوس و دوستان<sup>3</sup> [4] بر روی کاربرد مدل‌های مختلف توربولانسی جهت محاسبه جریان سیال و فرآیندهای احتراق در مدل بخاری چوبی با مقیاس کوچک، اشاره کرد که اطلاعات جالب توجهی را در اختیار قرار می‌دهند.

با وجود تعدد و تنوع پروژه‌های انجام شده بر روی این موضوع، اکثریت پژوهش‌های انجام شده جهت یافتن مدل مناسب برای نمایش صحیح ویژگی‌های جریان‌های توربولانسی به بررسی یک مدل خاص پرداخته‌اند. بنابراین این نیاز احساس می‌شود که تحقیقات بیشتری جهت مقایسه بین مدل‌های مختلف و پیدا کردن بهترین مدل برای نمایش ویژگی‌های جریان توربولانت در یک کوره مورد نیاز است.

هدف از این تحقیق شبیه سازی جریان برگشتی و ویژگی‌های چرخش در یک کوره با استفاده از سه مدل k-ε-Standard, RSM و k-ε-RNG در نرم افزار فلوئنت و مقایسه این سه مدل از نظر دقت، زمان و هزینه محاسباتی می‌باشد.

#### مدل سازی فیزیکی

هندسه کوره نشان داده شده در شکل 1، به کمک نرم‌افزار گمبیت<sup>4</sup> شبیه‌سازی گردیده است.



شکل 1: مدل فیزیکی کوره شبیه سازی شده به صورت سه بعدی به همراه نمایش ابعاد

جهت اختلاط بهتر، محل ورود هوا طوری قرار گرفته که جریان هوا برای چرخش بیشتر به صورت مماسی وارد گردد. یک تیغه نیز در مسیر جریان در راستای همین منظور قرار داده شده است.

برای شبکه‌بندی مطابق شکل 2 با در نظر گرفتن زمان اجراء هزینه‌های محاسباتی و پراکندگی عددی از نوع شبکه تتراهدرال<sup>5</sup> استفاده گردیده است. شبکه تتراهدرال بیش از یک دهه است که برای بیشتر مسائل کاربردی از جمله شبیه سازی جریان‌های داخلی و خارجی در صنعت به کار می‌رود [5]. این نوع شبکه‌بندی به

<sup>2</sup> Jorge martins et al

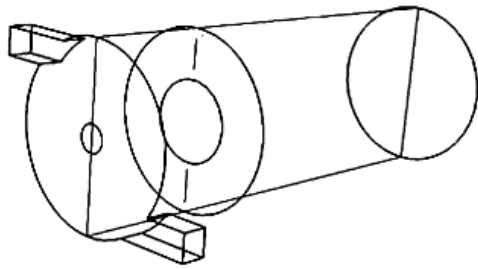
<sup>3</sup> Knaus et al

<sup>4</sup> GAMBIT

<sup>5</sup> Tetrahedral

در محاسبات مربوط به مدل RSM معادلات ریاضی مربوطه عبارتند از:

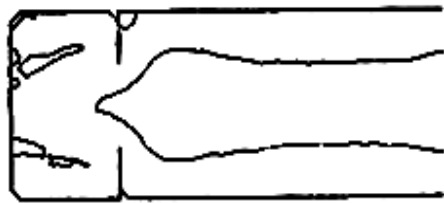
$$\begin{aligned} \frac{Dv'_i v'_j}{Dt} = & -(\overline{v'_i v'_k} \frac{\partial v_j}{\partial x_k} + \overline{v'_j v'_k} \frac{\partial v_i}{\partial x_k}) - 2\nu \frac{\partial \overline{v'_i} \partial \overline{v'_j}}{\partial x_k \partial x_k} + \quad (5) \\ & - \frac{p'}{\rho} (\frac{\partial v'_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v'_j}{\partial x_i}) + \\ & \frac{\partial}{\partial x_k} \left[ \nu \frac{\partial \overline{v'_i v'_j}}{\partial x_k} + \overline{v'_i v'_j v'_k} - \frac{p'}{\rho} (v'_i \delta_{jk} + v'_j \delta_{ik}) \right] \end{aligned}$$



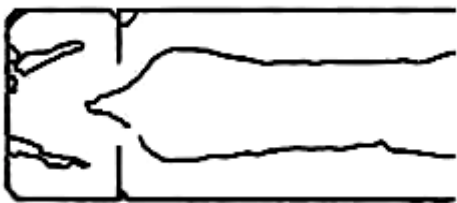
شکل 3: صفحه محوری مورد استفاده جهت رسم کانتورهای سرعت صفر



شکل 4: کانتور سرعت محوری صفر در مدل k-ε Standard



شکل 5: کانتور سرعت محوری صفر در مدل k-ε RNG



شکل 6: کانتور سرعت محوری صفر در مدل RSM

در شکل 7، مقایسه قابلیت سه مدل برای نشان دادن جریان برگشتی از طریق رسم نمودار سرعت محوری در طول کوره برای سه مدل انجام شده است. در نمودار سرعت محوری در طول کوره هر مدلی که طول خط سرعت منفی آن بزرگتر باشد، بدین معناست که جریان در آن مدل برگشت بیشتری داشته است. همانطور که در شکل 7 قابل مشاهده است در مدل RSM جریان برگشت بیشتری داشته است. مدل k-ε RNG با اندکی تفاوت از نظر میزان برگشت جریان در مقام دوم قرار می‌گیرد و مدل k-ε Standard کمترین برگشت جریان را نشان می‌دهد.

## نتایج

### نتایج برگشت جریان

در بهینه سازی راندمان احتراق دو هدف اساسی وجود دارد: سوزاندن کامل سوخت تا حد امکان و سوزاندن آن با کمترین مقدار هوای ممکن. واضح است که احتراق ناقص سبب هدر رفتن سوخت می‌شود. همچنین استفاده از هوای زیاد باعث کاهش حرارت سیستم می‌گردد [8]. راه های زیادی برای انجام احتراق به طور کامل و کاهش هوای لازم برای احتراق وجود دارد. یکی از این روشها طراحی کوره به نحوی است که در آن جریان برگشتی ایجاد گردد. استفاده از جریان معکوس در اتاقکهای احتراق سبب ایجاد یک احتراق پایدار حتی در دماهای پایین می‌گردد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که در حالتی که جریان معکوس ایجاد می‌شود احتراق در دمای پایین تری نسبت به حالت عادی آغاز می‌گردد [9] و شعله پایدارتری خواهیم داشت.

یکی از پارامترهایی که برای نمایش جریان برگشتی به کار می‌روند، پارامتر سرعت می‌باشد. شکل‌های 4 تا 6 کانتورهای سرعت- صفر هستند که بر روی صفحه عمودی در راستای محور نشان داده شده در شکل 3 رسم شده‌اند. کانتورهای سرعت-صفر کانتورهایی هستند که به ما نشان می‌دهند که در چه مکان‌هایی سرعت رفت با سرعت جریان برگشتی از نظر مقداری برابر شده و در نتیجه سرعت صفر گردیده است. بنابراین فضای موجود در یک طرف خط سرعت-صفر فضایی است که در آن سرعت برگشت بیش از سرعت رفت بوده و فضای طرف دیگر روند بالعکس برقرار می‌باشد. بنابراین این کانتور برای نشان دادن جریان برگشتی بسیار مناسب به نظر می‌آید.

همانطور که در شکل‌های 4 و 5 و 6 قابل مشاهده است، در مدل k-ε Standard کانتور موفق به مدل کردن کامل جریان برگشتی نگردیده است و برگشت خیلی کمی را نشان می‌دهد در حالی که مدل k-ε RNG برگشت جریان را به خوبی نشان می‌دهد و مدل RSM نیز به مراتب نسبت به مدل دیگر جریان معکوس را بهتر به نمایش درمی‌آورد.

## k-ε RNG برگشت بهتری را مدل کرده و مدل k-ε Standard

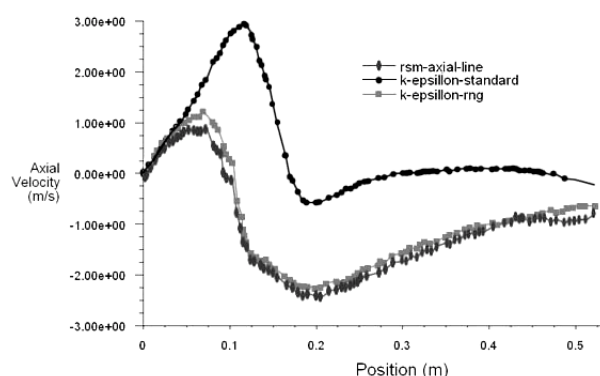
ضعیف‌ترین مدل در نمایش جریان برگشتی می‌باشد.

### نتایج چرخش جریان

همان‌طور که گفته شده اهداف اساسی در بهینه سازی راندمان احتراق، سوزاندن سوخت به طور کامل با کمترین میزان استفاده از جریان هوا می‌باشد. یکی از روش‌های دیگری که جهت این منظور استفاده می‌گردد ایجاد چرخش در جریان هوا می‌باشد. ایجاد چرخش در جریان سبب ایجاد احتراق موثر و همچنین کاهش آلاینده‌ها می‌گردد [10]. ایجاد چرخش در جریان هوا در یک کوره می‌تواند از سه روش استفاده نمود. یکی از این روش‌ها استفاده از تیغه در مسیر جریان هواست. روش دیگر مماسی وارد کردن جریان است و سومین روش چرخاندن دهانه ورودی جریان می‌باشد. در این مطالعه از دو روش اول جهت ایجاد چرخش در جریان استفاده گردیده است. بدین منظور جریان هوا از بالا و پایین مقطع دایره‌ای کوره به طور مماسی وارد می‌گردد. همچنین یک تیغه با قطر دایره داخلی 30mm در فاصله 130mm از ابتدای کوره قرار داده شده است.

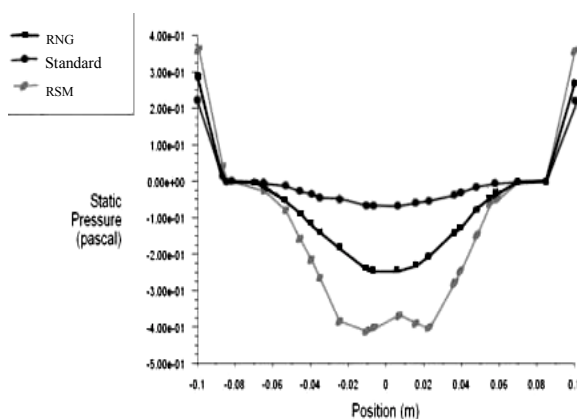
جهت مدل‌سازی نوع پراکندگی ابعادی ذرات از مدل روزین-رامرلر استفاده گردیده است. برای تعیین اینکه کدام مدل توربولانسی در نمایش چرخش جریان موفق‌تر از دو مدل دیگر عمل کرده است بهترین روش استفاده از کانتورهای تعقیب ذرات و تعیین عمر آن‌هاست. از این طریق می‌توان به راحتی فرآیند چرخش جریان را مورد بررسی قرار داد. هر میزان که ذرات بیشتری موفق به عبور از تیغه و رسیدن به انتهای کوره گردند بدین معناست که آن ذرات چرخش بهتری داشته و در نتیجه مدل توربولانسی به کار رفته چرخش را بهتر مدل کرده است. شکل‌های 9، 10 و 11 که در ادامه آمده است، کانتورهای تعقیب ذرات و تعیین عمر آن‌ها به ترتیب برای مدل‌های k-ε Standard، k-ε RNG و RSM می‌باشند. این تصاویر نماینده ذرات عبور کرده از پره و میزان چرخش جریان در کوره می‌باشند. نرم افزار این امکان را به ما می‌دهد که از تعداد کل ذرات تعقیب شده، تعدادی از این ذرات که موفق شده‌اند خود را به انتهای کوره برسانند و تعداد ذراتی که مسیرشان ناتمام مانده است، اطلاع داشته باشیم.

در کانتور به دست آمده از مدل k-ε Standard تعداد ذرات تعقیب شده 24 ذره بوده است. از این تعداد ذره، 15 ذره موفق گردیده‌اند که خود را به انتهای کوره برسانند و تعداد 9 ذره نتوانسته‌اند که مسیر خود را تا به انتها طی کنند. شکل 10 که مربوط به مدل k-ε RNG می‌باشد نتیجه داده است که از تعداد 24 ذره تعقیب شده 12 ذره به انتهای مسیر رسیده و 12 ذره در میانه راه باقی مانده‌اند. شکل 11 نیز نماینده مدل RSM است که در آن ذرات دقیقاً مشابه مدل k-ε RNG عمل کرده‌اند بدین معنا که از 24 ذره 12 ذره به انتها رسیده و 12 ذره باقی مانده‌اند.



شکل 7: مقایسه نمودارهای سرعت محوری بر حسب مکان در طول کوره برای سه مدل بر روی یک خط محوری

یکی از پارامترهای دیگری که می‌تواند در نشان دادن جریان برگشتی مورد استفاده قرار بگیرد، پارامتر فشار استاتیکی است. مقایسه فشارهای استاتیکی در طول کوره نشان دهنده این مطلب است که در هر مدلی که فشار در طول کوره از نظر مقداری منفی‌تر گردد جریان به میزان بیشتری برگشت کرده است. در شکل 8 نمودار فشار بر حسب مکان در طول کوره برای سه مدل k-ε Standard، k-ε RNG و RSM بر روی یک دیاگرام جهت مقایسه رسم شده‌اند. همانطور که در این شکل قابل مشاهده است در مدل k-ε RNG فشار استاتیکی نسبت به مدل k-ε Standard مقدار منفی بیشتری پیدا می‌کند و این مقدار در مدل RSM به مراتب بیشتر از دو حالت دیگر است. بنابراین مدل RSM بیشترین برگشت را مدل کرده است و پس از آن مدل k-ε RNG با کمی دقت کمتر نسبت به مدل RSM ولی باز هم به خوبی برگشت جریان را نمایش می‌دهد. مدل k-ε Standard بسیار ضعیف عمل کرده و برگشت خیلی کمی را نشان می‌دهد.



شکل 8: مقایسه نمودارهای فشار بر حسب مکان در طول کوره برای سه مدل بر روی یک خط محوری

بر اساس مقایسات انجام شده برای مدل کردن جریان برگشتی در سه مدل بر مبنای پارامترهای سرعت و فشار مدل RSM برگشت را به مراتب بهتر از دو مدل دیگر نمایش می‌دهد. پس از آن مدل

قرار دادن تیغه در میان کوره استفاده گردید. برای تحلیل برگشت جریان از کانتورهای سرعت محوری صفر و نمودارهای سرعت محوری و فشار استاتیکی در طول کوره استفاده گردید.

نتایج حاصل از تمام نمودارها نشان می‌دهد که مدل RSM در نمایش جریان برگشتی عملکرد مطلوبی را دارد. در مقایسه با این مدل، مدل k-ε RNG با دقت اندکی کمتر باز هم برگشت جریان را با دقت نسبتاً خوبی نشان می‌دهد. ولی مدل k-ε Standard در نمایش جریان معکوس بسیار ضعیف عمل می‌کند. با وجود عملکرد ضعیف مدل k-ε Standard در نمایش جریان برگشتی این مدل چرخش جریان را نسبت به دو مدل دیگر، بهتر نمایش می‌دهد و دو مدل دیگر در نشان دادن برگشت جریان، عملکرد تقریباً مشابهی دارند.

### فهرست علائم

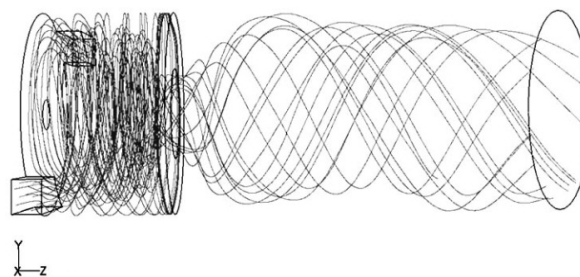
$C_\mu$	ثابت تجربی با مقدار 0.09
$G_k$	تولید انرژی جنبش توربولانسی به دلیل گردابان سرعت متوسط
$G_b$	تولید انرژی جنبش توربولانسی به دلیل خاصیت شناوری
$k$	انرژی جنبشی توربولانسی
$p$	فشار، Pa
$t$	زمان، s
$v$	سرعت، m/s
$x_i$	نمایندگی جهت
$Y_m$	سهم انبساط نوسان کننده در تراکم توربولانس نسبت به نرخ کلی اتلاف

### علائم یونانی

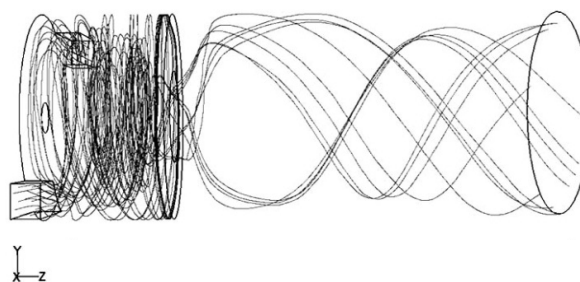
$\alpha_k$	عدد پرنتل موثر معکوس برای انرژی جنبشی توربولانسی
$\varepsilon$	نرخ اتلاف انرژی جنبشی توربولانسی
$\mu_{eff}$	ویسکوزیته موثر، Pa.s
$\mu_t$	ویسکوزیته گردابه‌ای توربولانت، Pa.s
$\nu$	ویسکوزیته سینماتیک، $m^2/s$
$\rho$	چگالی، $kg/m^3$

### مراجع

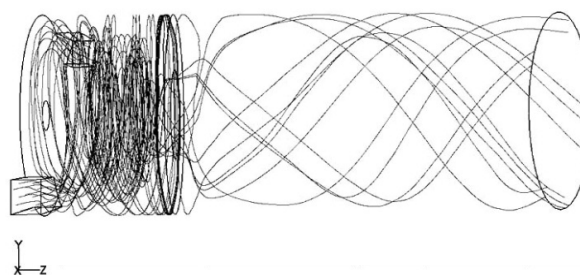
- [1] N. Syred., 2006, "A Review of Oscillation Mechanisms and the Role of the Precessing Vortex Core (PVC) in Swirl Combustion Systems". *Progress in Energy and Combustion Science*, 32 pp 93-161.
- [2] Khalid M.Saqr., Hossam S.Aly., Mazlan A.Wahid., And Mohsin M.Sies., 2009. "Numerical Simulation of Confined Vortex Flow Using a Modified k-ε Turbulence Model". *CFD letters*, 1(2), December.
- [3] Jorge Martins., Bernardo Ribeiro., And Senhorinha Teixeira., 2009. "IN-CYLINDER SWIRL



شکل 9: نمایش ذرات عبور کرده از پره در مدل k-ε Standard



شکل 10: نمایش ذرات عبور کرده از پره در مدل k-ε RNG



شکل 11: نمایش ذرات عبور کرده از پره در مدل RSM

همانطور که از مقایسه کانتورها قابل فهم است با توجه به اینکه مدل k-ε Standard از 24 ذره موفق به عبور دادن بیشترین تعداد ذره یعنی 15 ذره گردیده است، این مدل در نشان دادن چرخش جریان نسبت به دو مدل دیگر بهتر عمل کرده است. دو مدل k-ε RNG و RSM هر دو با عبور دادن تعداد مساوی ذرات یعنی 12 ذره از 24 ذره موجود، در نمایش چرخش جریان تقریباً به طور مشابه عمل کرده‌اند. هرچند که با دقت در کانتورها می‌توان دریافت که این دو مدل در نوع چرخش کاملاً متفاوتند. همچنین مقایسه کانتورهای نشان می‌دهد که در مدل k-ε RNG ذرات عمر بیشتری نسبت به مدل RSM داشته‌اند.

### نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این پژوهش سه مدل توربولانسی k-ε Standard, k-ε RNG و RSM جهت مطالعه نحوه نمایش چرخش و برگشت در جریان در یک کوره شبیه‌سازی شده، مورد بررسی قرار گرفتند. جهت ایجاد چرخش در جریان از روش‌های مماسی وارد کردن سیال و همچنین

transfer and fluid flow inside a pent-roof type combustion chamber using dynamic model”.

*International communications in Heat and Mass Transfer*, 37(9), November, pp 1366-1375

- [8] J. Raloff., 2006. “Stagnation point reverse flow combustor”. *Science News*, 125, June.
- [9] B. Liu., R.E. Hayes., Y. Yi., J. Mmbaga., M.D. Checkel , And M. Zheng., 2007. “Three dimensional modeling of methane ignition in a reverse flow catalytic converter”. *Computer & Chemical Engineering*, 31(4), February, pp 292-306.
- [10] Masterthesis, Akmal Nizam Bin Mohammed., 2008. “SWIRL FLOW IN COMBUSTION CHAMBERS”. MS Thesis, Universiti Teknologi Malaysia, MA, November.
- ANALYSIS OF DIFFERENT STRATEGIES ON OVER-EXPANDED CYCLES”. 20<sup>th</sup> International Congress of Mechanical Engineering, November 15-20, Brazil.
- [4] H. Knaus., S. Richter., S. Unterberger., H. Maier., And K.R.G Hein., 2000, “On the application of different turbulence models for the computation of fluid flow and combustion processes in small scale wood heaters”, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2(1-3) , December, pp 99-108.
- [5] Misc Fluent Preprocessing., 2006. Miscellaneous Title. URL [www.fluent.com/software/gambit](http://www.fluent.com/software/gambit).
- [6] Booklet, Choosing the Appropriate Grid Type., 2006. Fluent 6.3 User’s Guide. On the WWW, at <http://my.fit.edu/>,September. HTML file.
- [7] Yasin Varol., Hakan F. Oztop., Mujdat Firat., and Ahmet Koca., 2010. “CFD modeling of heat