



## بررسی تاثیر ابعاد حل بر دقت نتایج مدل تلاطمی $k-\omega$ در جریان توربولنس غیر پر بودیک شتاب دار در درون لوله

علی خالقی<sup>۱</sup>، محمود پسنبدیده فرد<sup>۲</sup>، علی رضا تیمورتاش<sup>۳</sup>، مجید ملک جعفریان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> و <sup>۲</sup> دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد  
<sup>۳</sup> گروه مکانیک دانشگاه بیرجند

### چکیده

اصولاً جریان متلاطم شتاب دار دارای ماهیتی بسیار پیچیده است که رفتار مشاهده شده از آن اغلب در هیچ نوع جریان غیر شتاب داری ملاحظه نمی شود. در این تحقیق عملکرد مدل های 1، 2، 3، 1D مدل تلاطمی  $k-\omega$  برای جریان شتاب دار درون لوله مورد بررسی قرار گرفت و جهت محک نتایج از نتایج آزمایشگاهی ارائه شده استفاده گردید. در این جریان رینولدز اولیه ۷۰۰۰ بوده که در مدت ۵ ثانیه به ۴۵۲۰۰ می رسد. سیال عامل آب می باشد. نتایج مبین این واقعیت هستند که تاثیر ابعاد حل برای مشخصه های اصلی جریان نظیر سرعت محوری، نوسانات سرعت، انرژی توربولنس، شدت توربولنس و ... نسبت به زمان و پیچیدگی ابعاد بیشتر قابل اغماض است. هر چند در برخی مشخصه ها مثل انرژی جنبشی توربولنس نتایج حل 1D بر نتایج تجربی منطبق تر است.

**واژه های کلیدی:** جریان شتاب دار، مدل  $k-\omega$  جریان غیر پر بودیک، جریان درون لوله، توربولنس

### مقدمه

رفتار مشخصه های سیال در جریان شتاب دار اصولاً با رفتار سیال در جریان یکنواخت کاملاً متفاوت است. بروز تاخیر در پاسخ به مشخصه های جریان یکی از بارزترین این ویژگیهاست. در این مقاله به بررسی میزان تاثیر ابعاد حل در دقت نتایج پرداخته می شود. موضوع مورد مطالعه جریان شتاب دار زمانی غیر پر بودیک متلاطم در یک لوله به قطر دو اینچ است که جریان در ابتدا با رینولدز ۷۰۰۰ وارد لوله می گردد و در طی ۵ ثانیه به ۴۵۲۰۰ می رسد. رینولدز براساس سرعت متوسط و قطر لوله محاسبه می شود. سیال عامل آب با چگالی  $1000 \text{ kg/m}^3$  و  $10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$  است. برای بررسی میزان تاثیر پارامتر بعد هندسی بر دقت نتایج و نیز اطمینان از نتایج حل های عددی، این تحقیق برای حالت 1، 2، 3D انجام شده است. مدل مورد استفاده  $k-\omega$  است که برای راستی از نتایج، چهار مقطع در راستای شعاعی به عنوان شاهد در نظر گرفته شده اند. شعاع های شاهد 0، 12، 21، 23.5 mm می باشند. این شعاع ها ضمن پراکندگی مناسب دارای مفادیر تجربی نیز هستند که به منظور تائید نتایج از آنها کمک گرفت می شود. نتایج تجربی مورد استفاده نتایج ارائه شده توسط هی. آریاران و وردی (He, Ariyaratne & Vardy) [1] می باشد. از طرفی چند پارامتر موثر و مشخصه اصلی مربوط به جریان جهت مقایسه لحاظ گردیده اند. این مشخصه های موثر شامل سرعت محوری، نوسانات سرعت محوری، شدت توربولنس و انرژی جنبشی در هر مقطع می شود.

### معادلات حاکم

مدل مورد استفاده  $k-\omega$  است که این مدل توسط ویلکوکس (Wilcox) [3] پیشنهاد شده است. جهت جلوگیری از وابستگی حل به دیمانسیون و همچنین ایجاد قابلیت تعمیم بیشتر نتایج تحلیل ها معادلات حاکم (پوستگی و منتوم) و همچنین معادلات مدل توربولنس از همان ابتدا توسط پارامترهای زیر بی بعد شده اند:

$$x^* = \frac{x}{\delta}, \quad y^* = \frac{y}{\delta}, \quad t^* = \frac{U_{\infty}}{\delta} t, \quad u^* = \frac{u}{U_{\infty}} \quad (1)$$

$$\omega^* = \frac{\delta}{U_{\infty}} \omega \quad (2)$$

$$\frac{1}{\text{Re}^*} = \frac{k^*}{\omega^*} \quad (3)$$

معادلات دیفرانسیل حل شده عبارتند از:

$$\frac{\partial k^*}{\partial t^*} = \beta^* k^* \omega^* + \frac{1}{\text{Re}^*} \left( \frac{\partial u^*}{\partial y^*} \right)^2 + \frac{\partial}{\partial y^*} \left( \left( \frac{1}{\text{Re}^*} + \frac{\sigma^*}{\text{Re}^*} \right) \frac{\partial k^*}{\partial y^*} \right) \quad (4)$$

$$\frac{\partial \omega^*}{\partial t^*} = \alpha^* \frac{\omega^*}{k^*} \frac{1}{\text{Re}^*} \left( \frac{\partial u^*}{\partial y^*} \right)^2 - \beta \omega^* + \frac{\partial}{\partial y^*} \left( \left( \frac{1}{\text{Re}^*} + \frac{\sigma^*}{\text{Re}^*} \right) \frac{\partial \omega^*}{\partial y^*} \right) \quad (5)$$

$$\alpha = 5/9, \quad \beta = 3/40, \quad \beta^* = 0.09, \quad \sigma = 0.5, \quad \sigma^* = 0.5 \quad (6)$$

و لزجت گردابه ای از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$v_t = k/\omega \quad (7)$$

### جنبه های عددی

معادله URANS و معادلات مدل اغتشاش وابسته به آن توسط برنامه های عددی تفاضل منتهای (FD) و time marching حل شدند. کدهای پیشرفته ای در روش جداسازی مرتبه دوم Crank-Nicholson بر روی یک شبکه غیر یکنواخت (ساختار یافته در جهت  $r$  برای 1D و  $r, x$  برای 2D و 3D) خدمت گرفته شد. شرایط مرزی شیب صفر در خط مرکزی لوله را بر مشخصه ها اعمال گردید. از ۲۰۰ نقطه در راستای شعاع، ۸۰۰ نقطه در راستای طول و ۵۰ نقطه در جهت محیط لوله برای شبکه بندی استفاده گردید. نقاط نزدیک به دیواره دارای تراکم بالاتری هستند به طوری که طول اولین المان شبکه ۰.۱ برابر طول المان مرکزی می -

۱ دانشجوی دکتری مکانیک ۰۹۳۶۷۲۲۱۹۷۰ khaleghi79@yahoo.com

۲ دکتری - دانشیار گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳ دکتری - استادیار گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

۴ دکتری - استادیار گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه بیرجند

باشد. گام زمانبندی  $5 \times 10^{-2}$  که برای هر سه مدل کارآمد می‌باشد، در نظر گرفته شد. در هر صورت نتایج به صورت مستقل از این مقادیر شبکه‌ای و گامها هستند.

### نتیجه‌گیری

شکل (۱) نمودار تغییرات سرعت محوری بر حسب زمان (رینولدز) را نمایش می‌دهد. شکل مبین انطباق دقیق حل‌های عددی با نتایج آزمایشگاهی است. شکل (۲) نوسانات سرعت محوری بر حسب رینولدز را ارائه می‌کند. نتایج حل‌های یک، دو و سه بُعدی نوسانات سرعت محوری نزدیک به نتایج آزمایشگاهی هستند. در مراحل اولیه شتاب‌گیری تا حدود نیمی از مدت زمان فرآیند شتاب‌گیری، نتایج عددی انطباق دقیقی بر آزمایش ندارند.

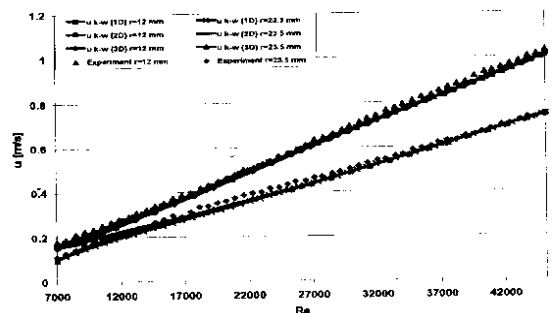
شکل (۳) نمایش دهنده تغییرات شدت توربولنس بر حسب رینولدز است. جز در مراحل اولیه شتاب‌دهی در ناحیه مرکزی لوله برای حل یک بُعدی در سایر موارد نتایج حل‌های عددی نزدیک به نتایج آزمایشگاهی نمی‌باشند. نکته حائز اهمیت در این مشخصه انطباق مشهودتر نتایج حل یک بُعدی در ناحیه مرکزی است.

شکل (۴) تغییرات انرژی جنبشی تلاطم را بر حسب رینولدز نشان می‌دهد. رفتار انرژی جنبشی تلاطم در جریان شتاب‌دار همانند شدت توربولنس و نوسانات سرعت دارای تأخیر معناداری است. این تأخیر که در جریان یکنواخت به هیچ عنوان مشاهده نمی‌شود تابع مقدار شتاب، فاصله از دیواره لوله، جنس سیال، قطر لوله و علامت شتاب (سرعت افزایشی یا کاهش‌ی بودن جریان) می‌باشد. میزان تأثیر هر یک از این عوامل در تحقیق مرجع [۴] آمده است.

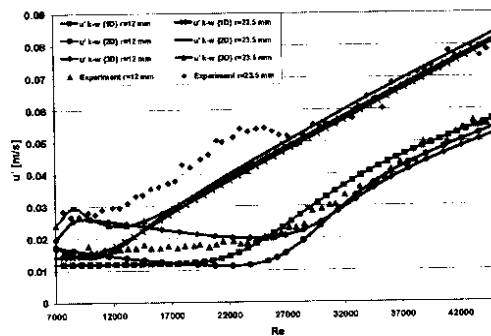
در شکل (۵) تغییرات انرژی جنبشی بر حسب شعاع لوله در زمان‌های مختلف آورده شده است که نتایج نشان‌دهنده این واقعیت هستند که کلیه حل‌های عددی مقدار کمی کمتری را نسبت به آزمایش محاسبه می‌کنند.

### شکل‌ها و نمودارها

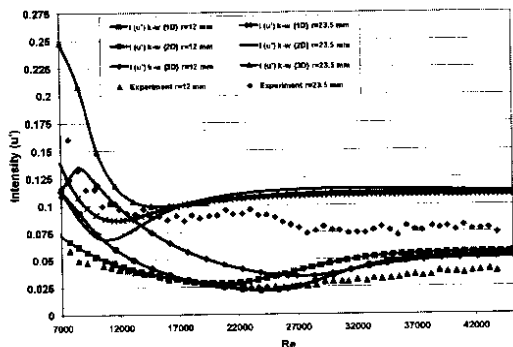
به جهت جلوگیری از افزایش تعداد شکل‌ها نمودارهای فقط برای دو مقطع ارائه می‌شوند.



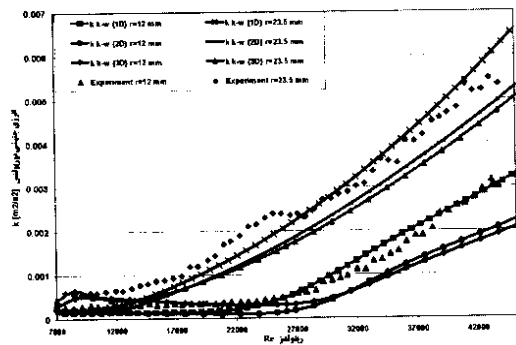
شکل ۱- تغییرات سرعت محوری با رینولدز



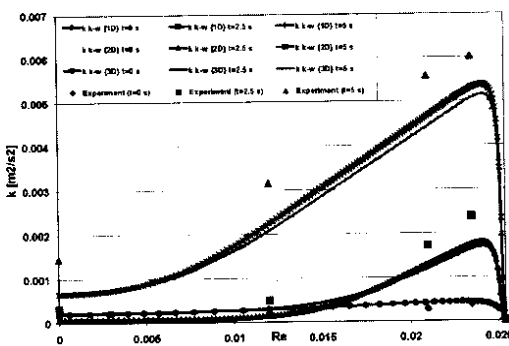
شکل ۲- تغییرات نوسانات سرعت محوری بر حسب رینولدز



شکل ۳- تغییرات شدت توربولنسی بر حسب رینولدز



شکل ۴- تغییرات انرژی جنبشی توربولنس بر حسب رینولدز



شکل ۵- تغییرات انرژی جنبشی توربولنس بر حسب شعاع در زمان‌های متفاوت

### مراجع

- 1-S. He, C. Ariyaratne, A.E. Vardy, A computational study of wall friction and turbulence dynamics in accelerating pipe flows, *Journal of the Computers & Fluids* 37, 2008, pp.674-689
- 2-He, S. and Jackson, J. D., A Study of Turbulence under Conditions of Transient Flow in a Pipe, *Journal of the Fluid Mech.* 408, 2000, 1-38.
- 3-Wilcox D. C., Reassessment of the Scale-Determining Equation for Advanced Turbulence Models, *AIAA Journal*, 26, 1299-1310, 1988
- ۴-پسندیده‌فرد محمود، ملک‌جعفریان مجید، خالقی علی، بررسی عملکرد مدل‌های رایج توربولنس برای جریان شتاب‌دار غیرپرودیک در لوله، یازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها (FD2008)، مقاله منتخب، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، خرداد ۱۳۸۷.