

مقایسه مدل های آشفتگی مختلف برای جریان ناپایدار در اطراف یک سیلندر دایره ای

# محدود در = 20000Re

چکیدہ

این مقاله عملکرد هشت رینولدز-میانگین ناییر استوکس (RANS) ، دو معادله مدل های آشفتگی و دو مقیاس زیر شبکه (SGS) مدلهای شبیه سازی غلتکی بزرگ(LES) در سناریوی جریان ناپایدار در اطراف سیلندر دایره ای محدود در یک نسبت جنبه (AR) 1. 0 و تعداد رینولدز RANS ه مشخص شده را مقایسه می کند. SST- میخص شده را مقایسه می کند. SST- محدوم که، در میان همه هشت مدل آشفته بررسی شده RANS ، مدل K-Omega-SST (یعنی 2003V توسط منتر و همکاران [1، 2] توسعه یافت که دارای بهترین عملکرد کلی (نزدیکترین به نتایج عددی دو مدل LES بررسی شده است که می تواند به عنوان راه حل تقریبا دقیق با توجه به مشی محاسباتی بسیار خوب توسط هر دو مدل LES در این مطالعه مورد استفاده قرار می گیرد) براساس توزیع ضریب فشار متوسط (ip Cp)، میانگین ضریب کشش (یعنی Cd)، میانگین پروفایل ساده در برخی از صفحه های مشخص (مانند ارتفاع متوسط صفحه و صفحه تقارن سیلندر) و توزیع میانگین استحکام تنش- برشی- لایه ای در دیوار پایین می باشد .

#### 1. مقدمه

مطالعه تجربی و عددی در ساختارهای جریان سه بعدی پیچیده در اطراف جسم غیرباریک یکی از فعال ترین زمینه های تحقیق در پویش اساسی سیال دهه های گذشته باقی می ماند، عمدتا به دلیل حضور گسترده چنین جریان هایی در طبیعت و برنامه های کاربردی مهندسی، مانند میدان باد در اطراف ساختمان های بلند، حمل و نقل آلودگی در اطراف پشته دودکش ، نیروی آیرودینامیک در برج های خنک کننده، میدان جریان در اطراف سازه های دریایی، تبادل گرما در صفحه مدارهای الکترونیکی و غیره می باشد [6-3] اگر چه بسیاری از مطالعات پیشین بر روی تجزیه و تحلیل سیلندر مربعی یا مدار دو بعدی اسماً نامحدود جریان گذشته (D2) تمرکز می کند، به تازگی بیشترین توجه به جریان ناپایدار در اطراف سیلندرهای کم ارتفاع محدود [7–12]، با یک انتها در جریان آزاد (یعنی جریان بسته آزاد) غوطه ور و انتهای دیگر بر روی یک دیوار صاف نصب می شود (یعنی. پایه پایانی)، که با واقعیت سازگار تر است. به همین ترتیب، با توجه به اثر ترکیبی جریان نفوذ آب از انتهای آزاد و لایه مرزی در نزدیکی پایین دیوار، ساختار جریان سه بعدی (D3) در اطراف سیلندر محدود معمولا بسیار پیچیده تر از پشت یک بی نهایت است.

می توان از پیشینه تحقیق موجود نتیجه گیری کرد که تمام شش عامل زیر می توانند اثرات بر ساختار جریان در اطراف سیلندر ارتفاع کم باشند [6-8]: 1). شدت آشفتگی نزدیک شدن جریان؛ 2) شکل مقطع سیلندر؛ 3) شماره Re اطراف سیلندر ارتفاع کم باشند [6-8]: 1). شدت آشفتگی نزدیک شدن جریان؛ 2) شکل مقطع سیلندر؛ 3) شماره Re (یعنی v / Re = UD / دی مخصی از سیلندر است، U - سرعت جریان آزاد است و v - ویسکوزیته سینماتیک سیال است)؛ 4) ضخامت مرز لایه در دیوار پایین نسبت به ارتفاع سیلندر (یعنی h / δ)؛ 5) نسبت ارتفاع سیلندر به عرض مشخصی سیلندر (یعنی A / B)؛ 6) نسبت انسداد کانال (یعنی A / B)؛ 5) نسبت ارتفاع سیلندر به عرض مشخصی سیلندر (یعنی A / B = 0 / H = 0)؛ 6) نسبت انسداد کانال (یعنی A / B)؛ 5) نسبت ارتفاع می اسداد به عرض مشخصی سیلندر (یعنی A / B = 0 / A)؛ 6) نسبت انسداد کانال (یعنی A / B = 0 / A) معاور یا یا دامنه محاسباتی می باشد). از یک طرف، میزان اثر مربوطه عوامل فوق الذکر ممکن است بطورقابل توجهی از یکدیگر متفاوت باشند زمانیکه آن به شرایط خاص می رسد. از سوی دیگر، با توجه به عوامل تاثیرگذار متعدد و میدان جریان پیچیده تحت این شرایط در گذشته، اکثرا محققان موی دیگر، با توجه به عوامل تاثیرگذار متعدد و میدان جریان پیچیده تحت این شرایط در گذشته، اکثرا محققان فقط در مورد هر یک از عوامل تاثیرگذار در هر مقاله برای ساده سازی مشکل بحث می کند، بنابراین، اثر یکپارچه به فقط در مورد هر یک از عوامل تاثیرگذار در هر مقاله برای ساده سازی مشکل بحث می کنند، بنابراین، اثر یکپارچه به

با توجه به اینکه تعداد رینولدز بالا همیشه منجر به ساختار بسیار پیچیده در آگاهی یک سیلندر دایره ای محدود می شود (به ویژه هنگامی که روی پایین دیوار غیر لغزش نصب شده است)، این مقاله بحث مفصلی در رابطه با سیلندر دایره ای محدود با 1 = AR را در تعداد نسبتا بالا Re نشان می دهد (یعنی 20000). هدف این مطالعه بطور کمی و کیفی مقایسه دقیق مدل های مختلف آشفتگی می باشد زمانیکه آن برای مشخصات میانگین ضریب فشار متوسط CPدرسطح ارتفاع سیلندر، میانگین ضریب کششی Cd سیلندر، میانگین-زمانی حوزه سرعت و فشار و توزیع میانگین تقویت استرس برشی تیرگی در دیوار پایین فرا می رسد.

# 2. پیکربندی و مدل عددی

## 2.1 تست پيکربندي

همانطور که پیکربندی مشابه هندسی توسط ژانگ و همکاران استفاده می شود [6,8]در این مطالعه نیز مورد استفاده قرارمی گیرد. همانطور که در شکل 1 نشان داده شده است، یک سیلندر دایره ای محدود با عرض غیر ⊣بعادی 1 = D و ارتفاع غیر ابعادی 1 = h بطور عمودی بر روی یک مرزصفحه نصب شده است، و طول (جریان) عرض (عرضی) و (تقاطع) ارتفاع دامنه محاسباتی به ترتیب300 = L ، 22D = Wو 21 = M هستند (که نسبت مسدود شدن مساحت را به 2.27٪ می دهد). علاوه بر این، بخش اتصال بین سیلندر و دیوار پایین در مبدأ سیستم مختصات قرار دارد بدین معناست که مرز ورودی در 10 Ωبالادست سیلندر و مرز خروجی در جریان پایین دست سیلندر D قرار دارد (یعنی 10D = 11، 200 = L2).

#### 2.2 معادلات حاكم

#### 2.2.1مدل های RANS . معادلات نینیرد استوکس(RANS)

میانگین-رینولدز D3 ناپایدار در این مطالعه استفاده شده است که می تواند با استفاده از میانگین توده جرم لحظه ای و معادلات حفاظت شتاب حرکت برای جریان های تراکم ناپذیر و ایزوترمال حاصل شود، همانطور که در زیر نشان داده شده است [6–8.]

$$\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\overline{u}_i \overline{u}_j + \overline{u'_i u'_j}) = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \overline{\tau}_{ij}}{\partial x_j}.$$
 (2)

 (یعنی =  $5V \times 5V = 10$  می باشد، که منجر به تعداد رینولدز  $2 \times 104 = 104$  می باشد). بدیهی است که اصطلاح تانسور فشار رینولدز (یعنی T = ij u ui) می تواند با استفاده از فرضیه ویسکوزیته بوسیصنک حاصل شود:

$$\overline{T}_{ij} = \overline{u_i' u_j'} = \frac{2}{3} k \delta_{ij} - v_t \left( \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} \right)$$
(3)

$$k = \frac{1}{2}\overline{u_i'u_i'} = \frac{1}{2}\left(\overline{u_x'u_x'} + \overline{u_y'u_y'} + \overline{u_z'u_z'}\right) \tag{4}$$

که k انرژی سینتیکی آشفته است،  $\delta$  آنماد دلتای کرونکر است و v t نشان دهنده ویسکوزیته آشفته جریان است. به منظور به دست آوردن ویسکوزیته آشفته tv ، مدل های متفاوت آشفته RANS اتخاذ می شود و با یکدیگر در اینجا مقایسه می شوند، از جمله مدل-K اپسیلون استاندارد (k = k) [13]، مدل-k ایپسیلون گروه رنورالیزاسیون k = k معایسه می شوند، از جمله مدل-K اپسیلون استاندارد (k = k) مدل-k ایپسیلون گروه رنورالیزاسیون (RNG k  $-\epsilon$ ) مدل آشفته قابل درک [15] ، مدل رینولدز-کم غیرخطی کوانتومی مکعبی لین k = k[16]، و مدل آشفتگی لاندر و شارما رینولدز کم k = k (ROG k  $-\epsilon$ )، مدل آشفته غیر خطی درجه دو شیه k = kاستاندارد بالا مدل رینولدز [19] ( k = 0 ( k = 0) و مدل آشفته غیر خطی درجه دو شیه [19].

برای خلاصه ارائه، جزئیات این مدل ها در اینجا ارائه نشده است، خوانندگان می توانید برای جزئیات به منبع {1319 } بیشتر مراجعه کنند.

# LES مدل هاى 2.2.2مدل

فیلتراسیون فضایی معادلات جرم و لحظه ای ناپایدار 3 Dدر یک جریان تراکم ناپذیر پذیر نیوتونی منجربه معادلات LESزیر می شود [20-22] :

که u و p به ترتیب حوزه سرعت و فشار فیلترشده هستند، Sij تنسور سرعت کششی مقیاس حل شده یا فیلتر شده است، و tijاسترس تنش ناشناخته SGS، نشان دهنده اثرات حرکت SGSدر زمینه های حل شده LES، که نیاز دارد با استفاده از اصطلاح SGSمدل سازی شود، به منظور بستن معادلات حاکم بالا، با استفاده از فرضیه لزوجت گردابی بوسیستیچ، تانسور استرس SGSرا می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\tilde{\tau}_{ij} = v_{sgs} \left( \frac{\partial \tilde{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \tilde{u}_j}{\partial x_i} \right) + \frac{1}{3} \delta_{ij} \tilde{\tau}_{ll} \,. \tag{8}$$

برای مدل SGS اسماگورینسکی [20, 21] :

$$v_{sgs} = (C_s \tilde{\Delta})^2 S$$
,  $S = (2\tilde{S}_{ij}\tilde{S}_{ij})^{\frac{1}{2}}$ ,  $\tilde{\Delta} = (\Delta x \Delta y \Delta z)^{\frac{1}{3}}$ .

برای مدل لزوجت گردابی یک معادله ای [22, 23]

$$\frac{\delta k_{sgs}}{\delta t} + \nabla \cdot \left(k_{sgs}\vec{U}\right) - \nabla \cdot \left(\left(v_{sgs} + v\right) \cdot \nabla k\right) = -D_{ij} : B_{ij} - C_E \cdot k^{\frac{3}{2}} / \tilde{\Delta}$$
$$v_t = C_k \tilde{\Delta} \sqrt{k_{sgs}}, \quad D_{ij} = symm \left(\nabla \vec{U}\right), \quad B_{ij} = \frac{2}{3} K_{sgs} I_{ij} - 2v_{sgs} dev(D_{ij}). \tag{10}$$

 ${
m E}$  که  ${
m sgs}$   ${
m sgs$ 

2.3 شرایط مرزی و برنامه های عددی

چهار نوع شرایط مرزی درگیر هستند:

1. ورودی: برای میدان سرعت، یک سرعت ثابت یکنواخت تجویز (یعنی u = 1, I v = I w = 0) و، برای میدان فشار، شرایط صفر گرادیان اعمال می شود (یعنی  $I \partial p \partial n = 0$ )

2. خروجی: برای میدان سرعت، شرایط جریان مرزی همرفتی تصویب می شود:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \vec{u}_c \frac{\partial \phi}{\partial n} = 0.$$
 (11)

که  $\phi$  برکلیه سه مولفه سرعت دلالت دارد (یعنی، u,v,w)، و u سرعت پیشرونده در مرز خروجی می باشد. برای میدان فشار، شرایط همگن دریشلت همگن مرز خروجی استفاده می شود (یعنی (p = 0 = 0)). 3. دیواره پایین و سطح مانع: شرایط مرزی بدون نفوذ بدون لغزش برای مقادیر سرعت (یعنی u = v = w = 0) تجویز شده و شرایط شیب صفر برای میدان فشار استفاده می شود.



شكل 1. شماتيك دامنه محاسباتي و سطح 1 مش كه توسط مدل هاي RANSمختلف استفاده مي شود.

4. مرزهای بالا و فرعی دامنه محاسباتی: شرایط لغو آزاد تجویز می شود بدین معنی است که مولفه سرعت طبیعی به مرز صفر است (یعنی /  $\partial ub/$  مرز صفر است (یعنی /  $\partial ub/$  مرز صفر است (یعنی /  $\partial ub/$  مرز صفر است (یعنی /  $\partial n = \partial pb \ \partial n = 0$  ,  $\partial n = \partial pb \ \partial n = 0$  ,

C ++. ماسازی های عددی با استفاده از عملیات منابع باز میدانی و کنترل (OpenFOAM))کتابخانه های .++ C ++ انجام شد. به طور خاص، PisoFoam، یکی از حل کننده های استاندارد ارائه شده توسط OpenFOAM ، برای مقابله حل معادلات حاکم فوق الذکر انتخاب شد. فشار الگوریتم مبهم با تقسیم کردن اپراتورها [24] (PISO)برای مقابله با سرعت فشار جفت شده بر روی یک شبکه در سیستم متمرکز در روش حجم محدود (FVM)استفاده می شود. برای برای برآوردن ویژگی محدودیتی، طرح محدود خطی TVD / NVD برای تمایز اصطلاح همرفتی معادلات انتقال اسکالر و طرح محدود خطی V استفاده می شود که برای نسخه بهبود یافته طرح محدود خطی TVD / NVD برای تمایز اصلاح همرفتی معادلات انتقال می اسکالر و طرح محدود خطی V استفاده می شود. برای زمینه های بردار می ایستد و محدود کننده با توجه به جهت میدان فرموله شده است، برای متمایز کردن برای زمینه های بردار می ایستد و محدود کننده با توجه به جهت میدان فرموله شده است، برای متمایز کردن شرایط همرفتی معادلات انتقال بردار اتخاذ شده است [25-28] ملاوه بر این، طرح خطی گاوس برای تفکیک کردن شرایط همرفتی معادلات انتقال بردار اتخاذ شده است [25-28] ملاوه بر این، طرح خطی گاوس برای تفکیک کردن مردت انتشار و اصطلاح گرادیان فشار در زمان مخالفت معادلات حاکم انتخاب شده است، برای محدود محدو روش محمدود توسی کردن محدود ترای فشار در زمان مخالفت معادلات حاکم انتخاب شده است، و مرتبه دوم روش مدت انتشار و اصطلاح گرادیان فشار در زمان مخالفت معادلات حاکم انتخاب شده است، و مرتبه دوم روش مردت ای مرد محم محدود کنده با توجه به مود مرد می این است، و مرتبه دوم روش محمد انتشار و اصطلاح گرادیان فشار در زمان مخالفت معادلات حاکم انتخاب شده است، و مرتبه دوم روش

3. نتايج و بحث

# 3.1 ضريب نفوذ متوسط و مشخصات فشار سطح

با توجه به این که در شرایط عادی، مدل های آشفتگی LES تقاضای بالاتری نسبت به رزولوشن مش محاسبه نسبت به مدل های مختلف آشفتگی RANS دارند ، دو سطح شبکه ها این مطالعه یعنی سطح 1 برای هشت مدل RANSو سطح 2 برای دو مدل LES استفاده می شود. همانطور که در جدول -1، برای سطح مش 1 نشان داده شده است، آن به طور کامل شامل حدود 3.26 میلیون نقاط شبکه، محدوده سیلندر به طور مساوی به 200 قسمت تقسیم شده است، و اندازه شبکه نزدیک به دیوار (به عنوان فاصله بین مرکز ثقل از سلول اول و مرز غیر لغزش تعریف شد) حدود 0.0016 است که منجر به فاصله در واحد های دیواری کمتر از 1.0 می شود (یعنی1.0). به هر حال، برای سطح 2 بهتر مش، آن به طور کامل شامل حدود 10.3 میلیون نقاط شبکه، محدوده سیلندر است که به طور مساوی به 248 قسمت تقسیم شده، و اندازه شبکه نزدیک به دیوار حدود 0.0005 است که منجر به فاصله در واحد های دیواری کمتر از 0.5 می شود (یعنی 0.5 ). علاوه بر این، گام زمانی به عنوان 20002 =  $\Delta$  ثابت شود، می تواند اطمینان حاصل کند که حداکثر تعداد کوانت-فریدریش-لووی (CFL) در همه موارد بزرگتر از 0.3 به منظور بهبود دقت زمانی و ثبات عددی نیست.

با توجه به وضوح شبکه بسیار دقیق تر، دو مدل LES استفاده می شود و مقادیر Cdدو مدل LESبا یکدیگر سازگار هستند (یعنی Cd = 0.802 سازگار هستند (یعنی LES برای مدل معادله لزوجت گردابی مدل مدل LES اسماگورینسکی )، منطقی است فرض کنیم که مقادیر Cd حاصل از اتخاذ دو مدل LES (حداقل تا حدودی) به عنوان مقدار دقیق میانگین زمان ضریب کشش در نظر گرفته می شود (یعنی 80 Cd-exact ~0 80از جدول 1، می توان نتیجه گرفت که مدل استاندارد K-Omega-SST (2003) و مدل K-Omega-SST (2003) دارای بهترین عملکرد در زمان ارزیابی مقدار Cd هستند (یعنی به ترتیب Cd = 0.766 و Cd = 0.761،) با شش مدل RSA k-εشيح (Cd = 0.703)، RANS، يعنى مدل غير خطى شورش (Cd = Re k- $\epsilon$  Launder-Sharma مدل پایین (Cd = 0.668)، مدل  $\epsilon$  مدل (Cd = 0.678)، مدل (Cd = 0.678) مقایسه می شود RNG k- $\epsilon$  (Cd = 0.612). معایسه می شود (Cd = 0.625) محل استاندارد (cd = 0.625)شکل 2 مقایسه کمی از توزیع میانگین ضریب سطح فشار (Cp) در محدوده سطح سیلندر را نشان می دهد (يعنى Z / D = 0.5). در واقع، نتايج عددي دو مطالعه تجربي موجود نيز براي مقايسه اضافه شده است، يعني ا اوكاماتو و ساناباشيري [7]، (AR=1, δ/D<0.11, ReD=2.5×104~4.7×104, H/D≈7)، (كاوامورا و همكاران [5]  $(AR=1, \delta/D=0.10, ReD=3.2 \times 104, H/D=15)$ . از شكل 2 واضح است كه حتى براى زمان (AR=1,  $\delta/D=0.10, ReD=3.2 \times 104, H/D=15)$ . متوسط پروفيل فشار سطح درسطح سيلندر نسبت به شش مدل أشفته باقي مانده RANS ، مدل استاندارد -K Omega و مدل K-Omega-SST دارای بهترین دقت و صحت پیش بینی هستند (به اشتراک گذاری بهترین سازگاری با نتایج پیش بینی دو مدل LES). بطور مشخص، در محدوده = [50، 120 درجه]، مشخصات میانگین

فشار مدل K-Omega-SST نزدیک به دو مدل LES، اما در محدوده = [120، 180°] است، مشخصات فشار متوسط مدل استاندارد K-Omega-SST نزدیکترین به مدل دو مدل LES است.

از جدول 1 و شکل 2، می توان نتیجه گرفت که از لحاظ میانگین ضریب کشش و میانگین توزیع فشار سطح در اواسط ارتفاع سیلندر، مدل استاندارد (Momega-SST (2003) و مدل (2003) K-Omega-Sotمی تواند منجربه دقت پیش بینی دقیق تر نسبت به شش مدل آشفته RANSبررسی شده دیگر (حداقل برای مورد شبیه سازی انجام شده در این مطالعه) شود. بنابراین، در دو بخش زیر، در زمان تحلیل دو جنبه دیگر میدان کم، تنها نتایج عددی دو مدل RANSذکر شده ارائه می شوند و با دو مدل بررسی شده هده 2003 عددی دو مدل عنور میدان

در این بخش، میانگین میدان های سرعت و فشار با بررسی میانگین زمانی خطوط خطی و خطوط فشار در دو نوع صفحه مشخصه بررسی می شود (یعنی ارتفاع میانی صفحه سیلندر (Z / D = 0.5)و تقارن صفحه = D / Y). (0)).

شكل 3 نشان مى دهد كه در ارتفاع ميانى صفحه سيلندر يك منطقه فشار قوى مثبت / منفى مى تواند قبل / پشت سيلندر به دليل اثر انسداد دايره اى سيلندر توليد مى شود. علاوه بر اين، روشن است كه همان توپولوژى را مى توان براى دو مدل LES و مدل K-Omega-SST از منظر جريان متوسط در اين صفحه، حاوى دو مراكز مارپيچ توزيع شده متقارن است (يعنى C و L) و يك گره زينتى (يعنى R در شكل 3). به هر حال، زمانى كه آن به مدل شده متقارن است (يعنى C و D) و يك گره زينتى (يعنى R در شكل 3). به هر حال، زمانى كه آن به مدل استاندارد D و D و يك گره زينتى (يعنى R در شكل 3). به هر حال، زمانى كه آن به مدل استاندارد D و D و يك گره زينتى (يعنى R در شكل 3). به هر حال، زمانى كه آن به مدل D و D و يك گره زينتى (يعنى R در شكل 3). به هر حال، زمانى كه آن به مدل استاندارد Z و D و يك مى اساس توپولوژى كلى ميانگين زمانى وجود دارد. موثر بودن درصفحه / Z مى استاندارد D و D و يك مى آيد، تفاوت ها براساس توپولوژى كلى ميانگين زمانى وجود دارد. موثر بودن درصفحه ا D و D و يك گره زينتى (يعنى م مانگين زمانى وجود دارد. موثر بودن درصفحه Z استاندارد S D و D و يك مى آيد، تفاوت ها براساس توپولوژى كلى ميانگين زمانى وجود دارد. موثر بودن درصفحه Z استاندارد S D و D مى آيد، تفاوت ها براساس توپولوژى كلى ميانگين زمانى وجود دارد. موثر بودن درصفحه Z استاندارد S D و D با سه مدل آشفته ديگر مقايسه مى شود ، همانطور كه توسط شكل 3 (د) تاييد شد. مكان R I-X. ... Th ينها D = 0.5 و D با سه مدل آشفته ديگر مقايسه مى شود ، همانطور كه توسط شكل 3 (د) تاييد شد. مكان X I R اسماگورينسكى S D مى براى همه چهار مدل آشفتگى ذكر شده دارد با توجه به اينكه LES (R) يراى مدل اسماگورينسكى S D مال مدل آشفتگى دكر شده دارد با توجه به اينكه S D مادله، S D مادل اسماگورينسكى S D مادله مى شود. مدل استاندارد ... مدان K-Omega-SST مدل ايرا و D ماد ماد با توجه به اينكه S D مادله، S D مادل ايراى مدل اسماگورينسكى S D مادل ايرا مدل استادارد ... S معادله، S D مادل S D مادل S D مادل ايرا و D مادل ايرا مدان S D مادل ايرا و D مادل ايرا و D مادل S D مادل که S D مادل و D ماد S D مادل که S D مادل ايرا و D مادل که S D مادل که که

شکل 4، جریانهای متوسط زمانه و خطوط فشار در صفحه تقارن را نشان می دهد و مقیاس رنگ مشابه برای همه موارد برای راحتی مقایسه استفاده می شود. بدیهی است، توپولوژی کلی تقریبا برای همه مدل های آشفته ارائه شده در این نمودار مشابه است، استثناء واقعیت این است که مدل استاندارد  $\omega - k$ نمیتواند برای پیش بینی زمان متوسط گرداب نعل اسبی و نقاط متقابل مربوطه در مقابل سیلندر استفاده شود، همانطور که در شکل 4 (d)تایید شده است. در نزدیکی پشت سر سیلندر، یک هسته حلقه در جهت عقربه های ساعت A (ناشی از جریان تخلیه و در منطقه بالایی واقع شده) و یک هسته حلقه در خلاف عقربه های ساعت B(باعث بوجود آمدن جریان نزدیک به  $ar{B}$ دیوار پایین و در منطقه پایین تر واقع شده) در تقارن صفحه برای همه چهار مدل های آشفتگی همزیستی می کند. علاوه بر این، جریان جدا شده از لبه جلو نوک سیلندر در انتهای سطح آزاد مجدد ضمیمه می شود و درنتیجه یک منطقه تجدید پذیر ثانویه جدا شده (مرکز آن با حرف بزرگ E در شکل 4 مشخص می شود) در انتهای نوک تمام چهار مدل آشفته شکل گرفته است. باید تأکید کرد که جریان میدان بیش از انتهای آزاد از لحاظ اهمیت مهم است زيرا انحنا ساده در اين منطقه به طور مستقيم به زاويه جريان تخليه پشت سيلندر مربوط مي شود. علاوه بر اين، شکل 4 (c ،b ،a) نشان می دهد که دو هسته اصلی هارمونیک می تواند در صفحه تقارن برای دو مدل LES مدل  $K - \omega - SST$  شناسایی که با H1و H2مشخص می شود. اما، هیچ پدیده های پیچیده ای را نمی توان در شکل 4 (d)برای استاندارد k-o model ابدست آورد.

از نمودارهای 4-3، می توان نتیجه گرفت که براساس میانگین جریان و خطوط فشار در هر دو صفحه سیلندر ارتفاع متوسط، صفحه متقارن ، مدل K-Omega-SST (با استفاده از یک مش نسبتا ضخیم) سازگاری بهتر با دو نوع هدل های آشفتگی LES خواهد داشت (با استفاده از یک مش بسیار بهتر) و در نتیجه برتر از مدل استاندارد -K omega omega است (با استفاده از همان مش درشت به عنوان مدل Omega ).

ميانگين	شبکه	ابعاد شبکه	گره ها	تعداد	گرہ	تعداد	شبکه با	ل آشفته
ضرايب	نزدیک	نزدیک	امتداد	در		ها	وضوح	

جدول 1: وضوح شبکه و میانگین ضریب کشیدن.Cd

كششى	ديوار	ديوار	محيط			
0.766	1	0.0016	200	3.26	سطح-1	مدل استاندارد <b>K-</b>
				ميليون		<i>(1998)</i> Omega
0.761	1	0.0016	200	3.26	سطح-1	مدل <i>K-Omega</i> –
				ميليون		SST
						(2003)
0.703	1	0.0016	200	3.26	سطح-1	مدل غیرخطی شیه
				ميليون		RSA <i>k-ɛ</i>
						(1993)
0.678	1	0.0016	200	3.26	سطح-1	مدل پایین کیوبیک لین
				ميليون		Re <i>k</i> -
						(1006)
0.000	1	0.0016	200	2.26	1	(1990)
0.688	1	0.0016	200	3.26	سطح-1	مدل قابل درک <b>K-E</b>
				ميليون		(1995)
0.631	1	0.0016	200	3.26	سطح-1	مدل پایین لاندر-شارما
				ميليون		Re <i>k-</i> <b>ɛ</b>
						(1974)
0.625	1	0.0016	200	3.26	سطح-1	مدل استاندارد <b>k-ɛ</b>
				ميليون		( <b>1972</b> )
0.612	1	0.0016	200	3.26	سطح-1	مدل- <i>k-ɛ</i> RNG
				ميليون		
0.802	0.5	0.0008	248	10.3	سطح-2	مدل تک معادله LES
				ميليون		ای(1986)
0.820	0.5	0.0008	248	10.3	سطح-2	مدل LESاسماگورینسکی
				ميليون		(1963)ظ







 ${
m Z}\,/\,{
m D}=0.5.$ شکل ${
m S}$ : مقایسه جریانهای متوسط و خطوط فشار در صفحه



Y / D = 0.شکل4: مقایسه جریانهای متوسط و خطوط فشار بر روی صفحه

3.3 توزيع تنش برشي تخت

هدف این بخش بررسی توزیع استرس برش بستر میانگین زمان می باشد و تصویر کامل تر تقویت استرس برش تخت (بر اساس شیب سرعت در ارتفاع D = 0.0001 ) در اطراف سیلندر برای مدل های مختلف آشفتگی را ارائه می دهد. شکل 5 مقایسه میانگین زمانی تشدید تنش برشی باند در طول خط متقارن در طرف بالادست سیلندر را نشان می دهد. واضح است که هر دو مدل K-Omega-SST و مدل استاندارد K-Omega. دارای همان ویژگی های اصلی (یعنی شکل کلی) به عنوان نتایج تجربی و عددی از روولوند و همکاران 2.0≈ | tmax | ?]، AR = .. [8] (| τmax | ≈1.45 و مينگ و همکارانReD = 1.7 × 105) .δ / H = 1 .δ / D = 1 .AR = 1 می باشد. به هر حال، زمانی که آن به محل و مقدار منفی ReD = 1.7 imes 105). ، $\delta / H = 1$ ، $\delta / D = 1$ ،1 ترین عامل تقویتی، مدل  $ext{K-Omega-SST}$ مرسد منجر به مقدار  $au = 1.3 \mid au = 1.3$ می شود که کمی دقیق تر از مدل استاندارد K-Omega (| πmax | ≈1.1) می باشد. علاوه بر این، مدل اسماگورینسکی LES و مدل تک معادله مدل LES منجر به مقدار au = 1.8 وau = 1.8 اau = 1.8 به ترتیب می شود که تقریبا یکسان با نتایج تجربی رولاند و همکاران می باشد  $[9] . (| au max | \approx 2.0)$  به دلیل مشبک محاسباتی بسیار دقیق تر توسط دو مدل  ${
m LES}$  تصویب شده است .علاوه بر این، شکل 6 تصویر کامل از افزایش میانگین استحکام برشی در اطراف سیلندر برای آشفتگی های مختلف مدل ها را مقایسه می کند. دو نقطه متقارن توزیع شده با بزرگترین استحکام برشی را می توان در زاویه  $[60^\circ, 60^\circ]= heta$ شناسایی کرد.( heta نشان دهنده زاویه اندازه گیری شده از محور X منفی)

برای هر مورد آزمون است، مطابق با نتیجه رولاند و همکاران  $[0^{\circ} \ 25] = \theta$  . بدیهی است، اختلاف مهمی نمی تواند با توجه به افزایش حداکثر تنش برشی باند در این مکان ها برای مدل های مختلف آشوب، با توجه به آن | تواند با توجه به افزایش حداکثر تنش برشی باند در این مکان ها برای مدل های مختلف آشوب، با توجه به آن |  $\approx$  | 100 - 100



19 0.36 0.56 0.72 0.92 1.13 1.50 1.88 2.25 2.63 3.00 3.38 3.75 4 1.5 0.5 ≻0 -0.5 -1.5 -2 (b) One-Equation Eddy Viscosity LES Model (Z/D=0.0001) (a) Smagorinsky LES Model (Z/D=0.0001) 0.18 0.54 0.90 1.03 1.26 1.62 1.98 2.34 2.70 3.06 3.42 3.78 4.14 4. 2040.60.80.91.11.21.21.21.31.51.71.92.12.3242.62.83.03.2343.63.83.94.14.34.5 1.5 0.5 -0.5 -1 -1.5 (c) K-Omega-SST Model (Z/D=0.0001) (d) Standard K-Omega Model (Z/D=0.0001)

شکل 5 : مقایسه تنش برشی بتونی در طول خط متقارن در طرف بالا سیلندر

شکل 6: مقایسه تصویر کاملی از میانگین تنش برشی بتونی در دیوارپایین

## 4. نتيجه گيرى

جریان آشفته گذشته سیلندر دایره ای محدود ( = 1AR) در تعداد رینولدز نسبتا بزرگ شبیه سازی شده است ( = 20000Re). تمرکز بر بررسی تاثیر مدل های آشوب های مختلف برای چندین مورد جنبه های جریان، یعنی میانگین ضریب اهرمی، میانگین ضریب فشار سطح، زمان میانگین سرعت و راندمان فشار و میانگین تقویت استرس برشی بتونی می باشد. می توان نتیجه گیری کرد بر اساس تمام جنبه های فوق، نتایج عددی مدل -K-Omega برشی بتونی می باشد. می توان نتیجه گیری کرد بر اساس تمام جنبه های فوق، نتایج عددی مدل -SST برشی بتونی می باشد. می توان نتیجه گیری کرد بر اساس تمام جنبه های فوق، نتایج عددی مدل -K-Omega برا استفاده از یک مش سخت نسبی) سازگاری بهتر با دو مدل های آشفته LES بررسی شده خواهد داشت (با استفاده از یک مش نازک تر) و بنابراین دقیق تر از مدل استاندارد SST و شش مدل آشفته باقی مانده دیگر RANS (با استفاده از مش سخت مشابه به عنوان مدل K-Omega-SST و شش مدل آشفته باقی مادده دیگر K-Omega-SST (با استفاده از مش سخت مشابه به عنوان مدل K-Omega-SST) می باشد. بنابراین، برتری مدل عددی کنونی تایید شده است و این مدل آشفتگی در سناریوی فشار نامطلوب شیب ها و جریان مجزا در اطراف یک سیلندر محدود بسیار توصیه می شود.

# 5. تشکر و قدردانی

نویسنده مایل است تا از حمایت مالی ارائه شده از سوی شورای تحقیقات و اکتشافات استرالیا (شناسه پروژه (DP150104644) و منابع محاسباتی ارائه شده توسط مرکز ابر کامپیوتر پاوسی با بودجه دولت استرالیا و استرالیای غربی. تشکر و قدردانی کند.

#### 6. References

- F.R. Menter, M. Kuntz, R. Langtry. "Ten years of industrial experience with the SST turbulence model". *Turbulence, Heat and Mass Transfer*, 4(1), 625-632 (2003).
- [2] F.R. Menter. "Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications". AIAA Journal, 32(8), 1598-1605 (1994).
- [3] C.H.K. Williamson, "Vortex dynamics in the cylinder wake," Annual Review of Fluid Mechanics. 28(1), 477-539 (1996a).
- [4] D. Sumner, J.L. Heseltine. "Tip vortex structure for a circular cylinder with a free end". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 96(6), 1185-1196 (2008).
- [5] T. Kawamura, M. Hiwada, T. Hibino, I. Mabuchi, M. Kumada. "Flow around a finite circular cylinder on a flat plate: Cylinder height greater than turbulent boundary layer thickness". *Bulletin* of JSME, 27(232), 2142-2151 (1984).
- [6] D. Zhang, L. Cheng, H. An, M. Zhao. "Direct numerical simulation of flow around a surfacemounted finite square cylinder at low Reynolds numbers". *Physics of Fluids*, 29(4), 045101 (2017).
- [7] S. Okamoto, Y. Sunabashiri. "Vortex shedding from a circular cylinder of finite length placed on a ground plane". *Journal of Fluids Engineering*, 114(4), 512-521 (1992).
- [8] D. Zhang, L. Cheng, H. An, S. Draper. "Flow around a surface-mounted finite circular cylinder completely submerged within the bottom boundary layer". Submitted to Physics of Fluids.
- [9] A. Roulund, B.M. Sumer, J. Fredsøe, J. Michelsen. "Numerical and experimental investigation of flow and scour around a circular pile". *Journal of Fluid Mechanics*, 534, 351-401 (2005).
- [10] O. Lehmkuhl, I. Rodríguez, R. Borrell, J. Chiva, A. Oliva. "Unsteady forces on a circular cylinder at critical Reynolds numbers". *Physics of Fluids*, 26(12), 125110 (2014).
- [11] J.A. Bourgeois, P. Sattari, R.J. Martinuzzi. "Alternating half-loop shedding in the turbulent wake of a finite surface-mounted square cylinder with a thin boundary layer". *Physics of Fluids*, 23(9), 095101 (2011).
- [12] D. Sumner, N. Rostamy, D.J. Bergstrom, J.D. Bugg. "Influence of aspect ratio on the mean flow field of a surface-mounted finite-height square prism". *International Journal of Heat and Fluid Flow*, 65, 1-20 (2017).
- [13] B.E. Launder, D.B. Spalding. "The numerical computation of turbulent flows". Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3(2), 269-289 (1974).
- [14] V. Yakhot, S.A. Orszag, S. Thangam, T.B. Gatski, C.G. Speziale. "Development of turbulence models for shear flows by a double expansion technique". *Physics of Fluids A: Fluid Dynamics*, 4(7), 1510-1520 (1992).
- [15] T.H. Shih, W.W. Liou, A. Shabbir, Z. Yang, J. Zhu. "A new k-ϵ eddy viscosity model for high reynolds number turbulent flows". Computers & Fluids, 24(3), 227-238 (1995).
- [16] F.S. Lien. "Low-Reynolds-number eddy-viscosity modelling based on non-linear stressstrain/vorticity relations". *Engineering Turbulence Modelling and Measurements*, 3, 91-100 (1996).
- [17] B.E. Launder, B.I. Sharma. "Application of the energy-dissipation model of turbulence to the calculation of flow near a spinning disc". *Letters in Heat and Mass Transfer*, 1(2), 131-137 (1974).
- [18] T.H. Shih, J. Zhu, J. Lumley. "A Realizable Reynolds Stress Algebraic Equation Model". NASA Technical Memorandum, 105993, (1993).

- [19] D.C. Wilcox. "Turbulence modeling for CFD (Vol. 2, pp. 103-217)". La Canada, CA: DCW Industries (1998).
- [20] Y. Zhiyin. "Large-eddy simulation: Past, present and the future". Chinese Journal of Aeronautics, 28(1), 11-24 (2015).
- [21] J. Smagorinsky. "General circulation experiments with the primitive equations: I. The basic experiment". Monthly Weather Review, 91(3), 99-164 (1963).
- [22] A. Yoshizawa. "Statistical theory for compressible turbulent shear flows, with the application to subgrid modeling". *The Physics of fluids*, 29(7), 2152-2164 (1986).
- [23] W. Rodi. "Comparison of LES and RANS calculations of the flow around bluff bodies". Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 69, 55-75 (1997).
- [24] O. Ubbink. "Numerical prediction of two fluid systems with sharp interfaces". Doctoral dissertation, University of London, (1997).
- [25] D. Zhang, C. Jiang, D. Liang, Z. Chen, Y. Yang, Y. Shi. "A refined volume-of-fluid algorithm for capturing sharp fluid interfaces on arbitrary meshes". *Journal of Computational Physics*, 274, 709-736 (2014).
- [26] D. Zhang, C. Jiang, D. Liang, L. Cheng. "A review on TVD schemes and a refined flux-limiter for steady-state calculations". *Journal of Computational Physics*, 302, 114-154 (2015).
- [27] D. Zhang, C. Jiang, C. Yang, Y. Yang. "Assessment of different reconstruction techniques for implementing the NVSF schemes on unstructured meshes". *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 74(3), 189-221 (2014).
- [28] D. Zhang, C. Jiang, L. Cheng, D. Liang. "A refined r-factor algorithm for TVD schemes on arbitrary unstructured meshes". *International Journal for Numerical Methods in Fluids*, 80(2), 105-139 (2016).