مجلّه مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی بابل، سال اول، شماره دوم، تابستان ۱۳۸۵، صفحه ۹- ۱۸

بررسی تاثیر شکل دبی‌سنج روی ضریب کالیبراسیون

محمد حسن جوارشکیان[۱،*]، امیر کریمی [۲]، محمد رضا یزدان زاد[۲]
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

چکیده
در این مقاله جریان حول یک دبی سنج در یک لوله با مقطع دایره‌ای به منظور تعیین تاثیر شکل آن بر ضریب کالیبراسیون با استفاده از یک روش شبیه‌سازی عددی انجام گردیده است. در این تحقیق از روش المان‌های حجمی محدود که فشار به عنوان متغیر اصلی می‌باشد و از شبکه‌های ترکیبی با سازمان و بدون سازمان استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که شکل بیضوی با نسبت قطرهای زیاد، دارای بالاترین ضریب کالیبراسیون بوده و گرد کردن لبه‌های یک دبی سنج لوزی شکل استاندارد، کارایی آن را بالاتر می‌برد.

واژه‌های کلیدی: *دینامیک سیالات عددی، کالیبراسیون ، دبی سنج ، فشار مبنا*

The Effect of body shape on annubar factor

M.H. Javareshkian, A. Karimi, M.R. Yazdanzad
Mechanical Engineering Department, Tabriz University

Abstract
In this paper, flow analysis around an annubar in a circular pipe has been carried out using computational fluid dynamics. A pressure-based implicit procedure to solve the Navier-Stokes equation on hybrid, structure and unstructured, mesh with finite volume formulation is used. It is found that the annubar factor for elliptical shape with high slenderness ratio has the highest annubar factor and rounding of the edges of a standard diamond shaped annubar improve its performance.

Keywords: *Computational Fluid Dynamics, Calibration, Annubar Factor, Pressure-Based*

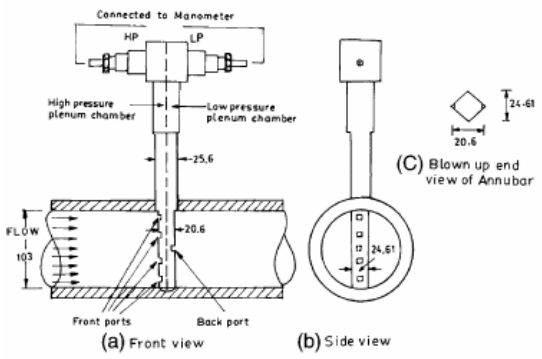
۱- دانشیار ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد تبدیل انرژی
* **نویسنده مکاتبه کننده:** **تلفن:** ۰۴۱۱-۳۳۹۳۰۴۵ **پست الکترونیک:** djavaresh@tabrizu.ac.ir

۱- مقدمه

اندازه‌گیری نرخ جریان سیال در لوله‌ها تقریباً در همه صنایع مهندسی به طور گسترده مورد نیاز است. دبی سنج‌هایی که به صورت مانع بر سر راه جریان قرار می‌گیرند مثل ونتوری، اریفیس و نازل‌ها با گستردگی زیاد در ابزارهای سنجش برای جریان مدار بسته، در تحقیقات و صنعت به خاطر استحکام و سادگی و قابلیت اعتمادشان استفاده می‌شوند. آنها دبی را با استفاده از قانون برنولی با اندازه گیری اختلاف فشار در دو طرف یک مانع موجود در مسیر، اندازه گیری می‌کنند. این ابزارها در جریان‌های مدار بسته، خطوط جریان را آشفته می‌کنند، در نتیجه انرژی افت می‌کند. در کاربردهای خاص و لوله‌های بزرگ که نیاز به کمترین افت انرژی و آشفتگی در جریان است، یک لوله پیتو می‌تواند برای اندازه گیری پروفیل سرعت در مقطع عرضی جریان استفاده شود. نوع دیگری از این خانواده متشکل از یک میله دارای چندین سوراخ برای اندازه گیری فشارکل متوسط ورودی و یک سوراخ در قسمت پشت دبی سنج برای اندازه گیری فشار استاتیک سیال می‌باشد (شکل (۱)). این دبی سنج میله‌ای شکل، قسمتی از مقطع عرضی لوله را می‌پوشاند و سرعت متوسط را بر پایه اندازه گیری فشار دینامیکی در مکان‌های خاص در لوله محاسبه می‌کند. اساس کار آن به صورت کامل در مراجع [۶-۱] موجود است. این دبی سنج از دو قسمت تشکیل شده که توسط صفحه‌ای از هم جدا شده‌اند. چند ورودی جهت اندازه گیری فشار متوسط کل در اتاقک بالا دست و یک یا چند سوراخ برای اندازه گیری فشار پایین دست تعبیه شده است (شکل (۱)) . مساحت سوراخ‌ها مساوی بوده و از محور تقارن دبی سنج به یک فاصله قرار گرفته اند.

بسته به اندازه لوله، ۴ ورودی یا بیشتر در برابر مسیر جریان ایجاد می‌شود. به کارگیری قانون برنولی بین مقطع بالادست و پایین‌دست دبی سنج سرعت متوسط جریان را می‌دهد و عبارت نرخ جریان جرمی از رابطه (۱) به دست می‌آید [۷] :

$$Q_m = KF_aYA\sqrt{2r\Delta p} \qquad (۱)$$



شکل ۱- تصویر نمادین از دبی سنج (ابعاد به mm هستند)

برای سیالات غیر قابل تراکم در دمای محیط ضریب انبساط حرارتی، F_a، وفاکتور گسترش پذیری،Y، را می‌توان برابر واحد گرفت و بنابراین تنها پارامتر مجهول در معادله (۱) ضریب کالیبراسیون، K، است. ضریب کالیبراسیون به دلیل پدیده تشکیل گردابه در پشت دبی سنج، به شدت به اندازه و شکل آن بستگی دارد[۷]. اشکال مختلف مثل دایره، لوزی، نیم دایره و بیضی برای دبی سنج پیشنهاد شده است [۳]. به هر حال نوع دایره ای یا لوزی به طور گسترده در طراحی‌های تجاری به کار می‌روند[۲] . بر طبق نظرات میلر[۲] ،ضریب کالیبراسیون برای شکل لوزی با افزایش اندازه لوله و عدد رینولدز افزایش می‌یابد. همچنین این دبی سنج سبب افت فشار دائمی کمتر در خانواده دبی سنج‌های اختلاف فشاری می‌گردد[۱] .

سینگ و همکارانش [۵] به صورت تجربی تأثیر عدد رینولدز را روی ضریب کالیبراسیون و افت فشار دائمی مطالعه کردند. آنها آزمایش‌هایی در یک لوله به قطر ۱۰۳ میلیمتر با استفاده از یک دبی سنج لوزی شکل، ۴ ورودی (۲۰/۱×۲۴/۶ میلیمتر) که بعد ۲۴/۶ میلیمتری افقی بوده، دریافتند که ضریب کالیبراسیون برای افزایش عدد رینولدز از۵۰۰۰۰ تا ۷۴۳۰۰۰، از ۰/۵۳۵به ۰/۵۲می‌رسد و کاهش ضریب افت فشار دائمی مربوطه از ۰/۸به ۰/۶۵ خواهد بود. آنها ضریب افت فشار دائمی را به صورت نسبت افت فشار اضافی ناشی از نصب دبی سنج به فشار دینامیکی تعریف کردند. همچنین مشاهده کردند که انحراف در پروفیل سرعت به علت آشفتگی‌های بالادست اثر قابل توجهی بر ضریب کالیبراسیون نمی‌گذارد. در این تحقیق، مطالعه بر روی میدان جریان وکانتور فشار حول مقطع

دبی سنج با استفاده از یک روش عددی حجم محدود که فشار به عنوان متغیر اصلی می‌باشد ارائه و اثرشکل‌های مختلف مثل لوزی، دایره و بیضی بر ضریب کالیبراسیون انجام پذیرفته است.

۲- روش محاسباتی

روابط ریاضی به کار رفته در این شبیه سازی عبارتند از معادلات بقای جرم و اندازه حرکت برای جریان پایدار که معادله بقای جرم را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(r u_i)=0 \qquad (۲)$$

بقای اندازه حرکت برای جهت i ام در مختصات مرجع لخت ، به فرم زیر نوشته می‌شود.

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(r u_i u_j)=-\frac{\partial p}{\partial x_j}+\frac{\partial t_{ij}}{\partial x_j}+r g_i+F_i \qquad (۳)$$

که t_{ij} تانسور تنش برشی است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$t_{ij}=\left[m\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right]-\frac{2}{3}m\frac{\partial u_i}{\partial x_i}d_{ij} \qquad (۴)$$

جمله دوم طرف راست اثر Volume Dilation می‌باشد.

برای محاسبه فشار، روش به کار رفته از الگوریتم SIMPLE به دست آمده است. برای جریان آشفته، متغیرهای جریان به مولفه‌های متوسط و عبارت نوسانی تجزیه شده و در معادلات جایگذاری شده‌اند. متوسط گیری زمانی منجر به معادله اندازه حرکت متوسط می‌شود. در این متوسط گیری معادله پیوستگی بی تغییر می‌ماند. اما در معادلات ممنتوم جملات اضافی، $\left(r\overline{u_i'u_j'}\right)$، پدید می‌آیند که اثر آشفتگی را نشان می‌دهند و به منظور رسیدن به حل‌های مناسب نیاز به مدل شدن دارند

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(r u_i u_j)=-\frac{\partial p}{\partial x_j}+\frac{\partial}{\partial x_j}\left[m\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}-\frac{2}{3}d_{ij}m\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\right)\right]+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(-r\overline{u_i'u_j'}\right) \qquad (۵)$$

۲-۱- مدل متلاطم

در جریان سیال، نوسانات کوچک فرکانس بالا حتی برای جریان‌های پایا نیز موجودند و جهت محاسبه آنها روش متوسط گیری زمانی به کار گرفته شده که منجر به جملات اضافی می‌شود. برای رسیدن به جواب مطلوب، این جملات اضافی باید به صورت کمیات قابل محاسبه بیان شوند.

در این مورد از مدل k-ε استاندارد استفاده شده است که مدلی نیمه تجربی بر پایه معادلات انتقال برای انرژی جنبشی متلاطم، k، و نرخ اتلاف آن، ε، می‌باشد.

$$r u_i\frac{\partial k}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(m+\frac{m_t}{s_k}\right)\frac{\partial k}{\partial x_i}\right]+G_k+G_b-re-Y_m \qquad (۶)$$

و

$$r u_i\frac{\partial e}{\partial x_i}=\frac{\partial}{\partial x_i}\left[\left(m+\frac{m_t}{s_e}\right)\frac{\partial e}{\partial x_i}\right]+G_{1e}\frac{e}{k}\left(G_k+G_{3e}G_b\right)-G_{2e}\frac{re^2}{k} \qquad (۷)$$

که G_k تولید انرژی جنبشی تلاطمی ناشی از گرادیان‌های سرعت متوسط را نشان می‌دهد و از رابطه

$$G_k=m_t S^2 \qquad (۸)$$

محاسبه می‌شود که S اندازه نرخ متوسط تنش است و از رابطه (۹) به دست می‌آید.

$$S=\sqrt{2S_{ij}S_{ij}} \qquad (۹)$$

رابطه نرخ تنش متوسط به فرم زیر است:

$$G_b \text{ و } S_{ij}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \qquad (۱۰)$$

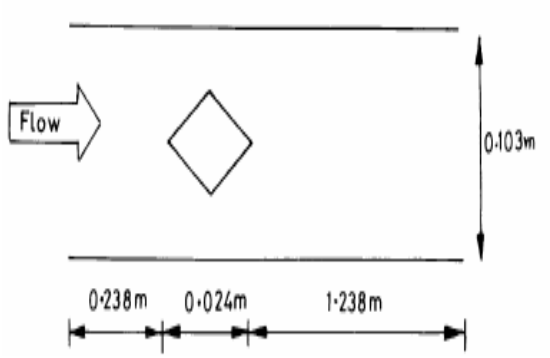
تولید انرژی جنبشی تلاطمی ناشی از شناوری را معرفی می‌کند که در صورت نبود گرادیان دما صفر می‌شود. ویسکوزیته آشفتگی یا گردابی، m_t، با استفاده از معادله داده شده محاسبه می‌گردد.

$$m_t=rC_m\frac{k^2}{e} \qquad (۱۱)$$

مقدار ثابت‌های مدل استفاده شده $s_k=۱$، $s_e=۱/۳$، $C_m=۰/۰۹$ ، $C_{1e}=۱/۴۴$ ، $C_{2e}=۱/۹۲$ می‌باشد.

۲-۲- دامنه محاسباتی و پارامترها

ناحیه جریان تحلیل شده در این شبیه سازی شامل یک دبی سنج است که در یک لوله به قطر ۱۰۳میلیمتر قرار گرفته ولوله دارای طولی معادل ۱۵ برابر قطر آن(D) است. فاصله دبی سنج از ابتدا تا انتهای لوله به ترتیب۲D و۱۲ D است. حجم داخل لوله همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده به سه ناحیه تقسیم می‌شود .



شکل ۲- محدوده استفاده شده در این شبیه سازی

در شبیه‌سازی فوق از شبکه بدون سازمان استفاده شده و برای محاسبه تنش‌ها روی دیواره ضخامت اولین سلول طوری در نظر گرفته شده که Y^+ در محدود ۲۰ تا ۵۰۰ قرار گیرد. ۴ ورودی در مکان‌های مناسب در برابر جریان، جهت تخمین فشار متوسط کل و یک سوراخ در انتها برای دریافت فشار مرجع پشت در نظر گرفته شده است. پروفیل سرعت توسعه یافته در رژیم جریان لایه‌ای توسط روش تئوری معلوم می‌باشد و برای جریان آشفته بر طبق قانون نمایی، ضریب نما (مرجع [۸]) با توجه به عدد رینولدز مشخص و پروفیل مذکور معلوم می‌باشد که در هر دو حالت، داده‌های توزیع سرعت در مقطع ورودی به عنوان شرط مرزی معلوم وارد شبیه سازی می‌شود. در رژیم آشفته، لازم است k و e معلوم فرض شود که با فرض شدت آشفتگی جریان ۰/۰۱ امکان محاسبه آنها فراهممی شود.

شکل مقطع عرضی دبی سنج شدیداً ضریب کالیبراسیون را تحت تاثیر قرار می‌دهد. بنابراین در این تحقیق یک مطالعه پارامتری روی سه شکل کاربردی که معمولا" استفاده می‌شود (لوزی-دایره-بیضی) انجام گردیده است. پارامترهای مختلف مورد مطالعه قرار گرفته و بازه تغییرات استفاده شده به شرح زیر است :

۱-اثر عدد رینولدز برای هر سه شکل و برای انسداد ثابت در لوله مطالعه شده است.

۲-برای شکل لوزی یک تحلیل مقایسه‌ای برای داشتن لبه‌های تیز و لبه‌های گرد شده در گوشه‌های قطری(عمود به جریان) انجام شده است . برای عرض ورودی دبی سنج (d) و انسداد ثابت شعاع گوشه‌ها از ۱ تا ۴ میلیمتر با گام ۰/۵ میلیمتر تغییر داده شده است.

۳- برای شکل بیضی نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک که نسبت منظری نامیده می‌شود با ثابت نگه داشتن قطر کوچک (عمود بر جریان) تغییر داده شده است . بیشترین مقدار ضریب منظری استفاده شده برابر ۸ است و انتظار می‌رود بیضی در این حالت مثل صفحه تخت عمل کند [۷] .

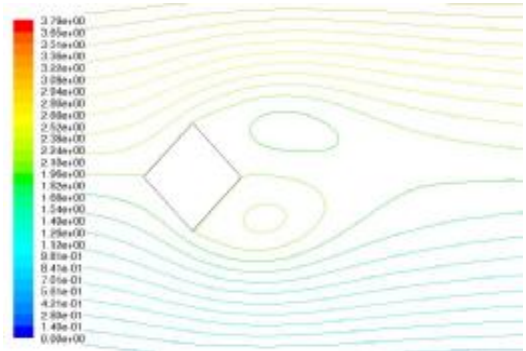
۴-اثر انسداد بر ضریب کالیبراسیون برای شکل‌های لوزی و دایره بررسی شده است. ابعاد مقطع عرضی دبی سنج با ثابت نگه داشتن قطر لوله جهت تحلیل اثر انسداد در اعداد رینولدز مختلف تغییر کرده است.

۳- نتایج و بحث

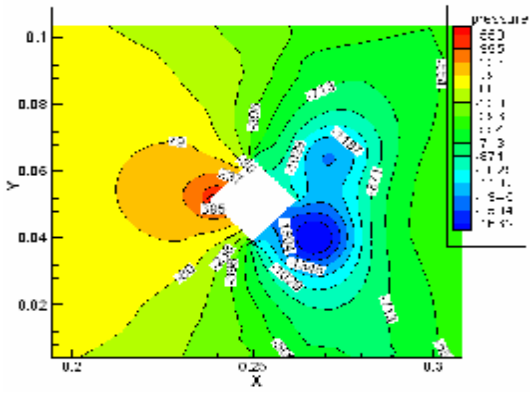
یک مطالعه پارامتری روی مشخصه‌های دبی سنج با شبیه سازی عددی انجام و نتایج در شکل‌های ۳ تا ۲۵ ارایه شده است. اثر شکل جسم روی ضریب کالیبراسیون تحلیل و جهت طراحی بهینه مقایسه شده است. همچنین اثر انسداد و مناسب بودن دبی سنج برای جریان‌هایی با عدد رینولدز کم بحث شده است. شکل (۳) خطوط جریان و شکل (۴) پروفیل توزیع فشار استاتیک را حول دبی سنج لوزی شکل در رینولدز ۱۵۰۰۰۰ نشان می‌دهد، با جدایش سیال، فشار استاتیک کاهش می‌یابد و حتی مقادیر منفی در ناحیه گردابه پیدا می‌کند(شکل (۴)). این پدیده منجر به اختلاف فشار زیاد در دو طرف دبی سنج می‌شود. بنابراین ضریب کالیبراسیون برای این شکل کوچک است. به هر حال به دلیل حساسیت کم طرف فشار پایین به جریان، تقریباً مقادیر ثابت ۰/۴۴ برای ضریب کالیبراسیون مشاهده می‌شود. بیشینه مقدار برای تغییر عدد رینولدز از ۵۰۰۰۰ تا ۷۴۳۰۰۰ تغییر ٪ ۰/۶ ± می‌باشد. همچنین به منظور بررسی تاثیر عدد رینولدز بر ایجاد گردابه و فشار،

خطوط جریان و پروفیل‌های فشار ثابت برای دبی سنج لوزی شکل در رینولدزهای ۷۰۰۰، ۲۰۰۰۰، ۳۵۰۰۰۰، ۵۰۰۰۰۰ و ۷۴۳۰۰۰ در اشکال ۵ تا ۱۴ آورده شده است.

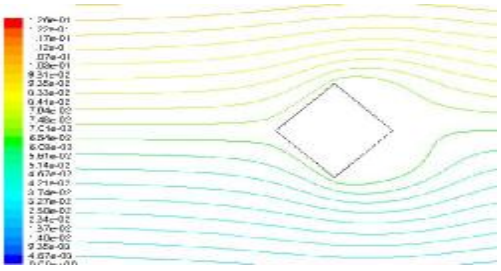
اگر لبه‌های تیز، گرد شوند اندازه گردابه کاهش می‌یابد، با مقایسه پروفیل‌های خطوط جریان و توزیع فشار در شکل‌های ۳، ۴، ۱۵ و ۱۶ مطلب مذکور را تصدیق می نماید البته ممکن است این تغییر منجر به افزایش در مقدار ضریب کالیبراسیون گردد. از این رو لبه‌ها در نقاط جدایش با یک شعاع خاص گرد شده‌اند. مشاهده گردید که اندازه گردابه با افزایش شعاع گوشه‌ها کاهش یافت. همان طور که در شکل ۱۷ نشان داده شده ضریب کالیبراسیون در عدد رینولدز ۵۰۰۰۰ با افزایش شعاع گوشه افزایش می‌یابد که می‌تواند به خاطر کاهش در اندازه گردابه به سبب تاخیر در جدایش باشد.



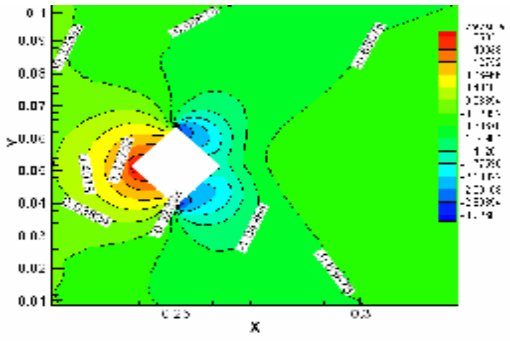
شکل۳- توزیع خطوط جریان حول دبی سنج لوزی شکل در رینولدز ۱۵۰۰۰۰



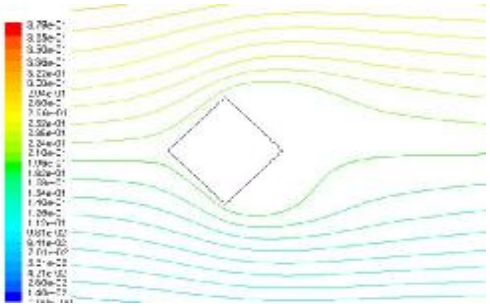
شکل ۴- توزیع فشار حول (Pa)دبی سنج در رینولدز ۱۵۰۰۰۰



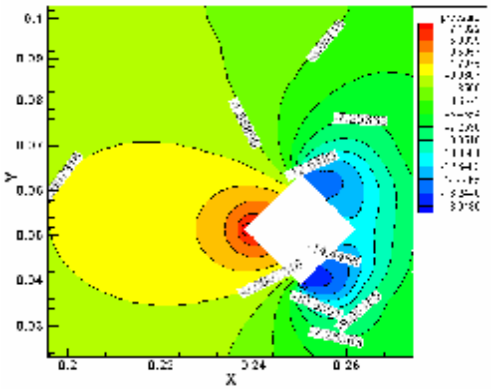
شکل ۵- خطوط جریان در رینولدز ۷۰۰۰



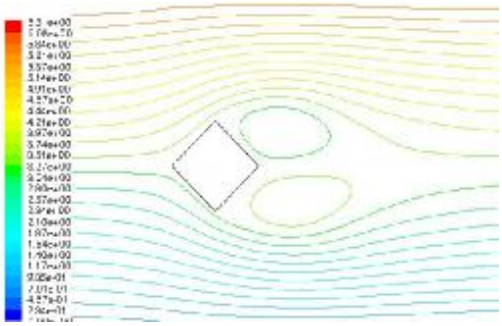
شکل ۶- خطوط فشار ثابت در رینولدز ۷۰۰۰



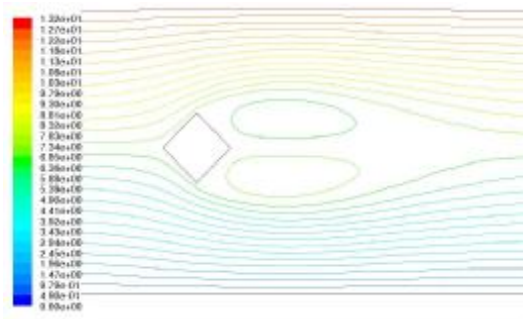
شکل۷ – خطو جریان در رینولدز ۲۰۰۰۰



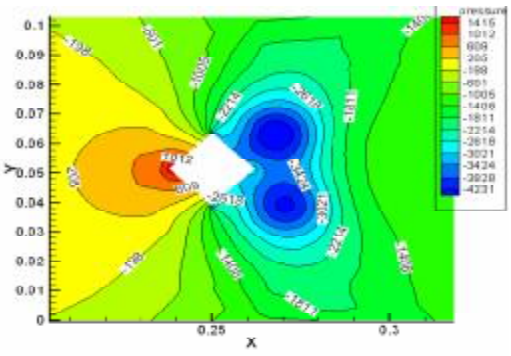
شکل ۸- خطوط فشار ثابت در رینولدز ۲۰۰۰۰



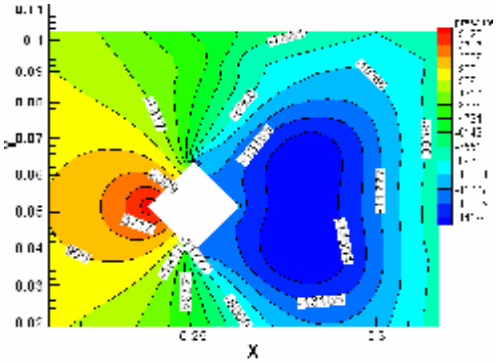
شکل۹ – خطوط جریان در رینولدز ۳۵۰۰۰۰



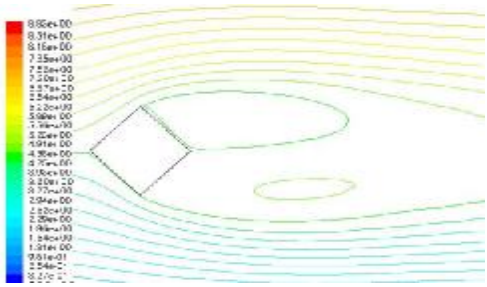
شکل۱۳ – خطوط جریان در رینولدز ۷۴۳۰۰۰



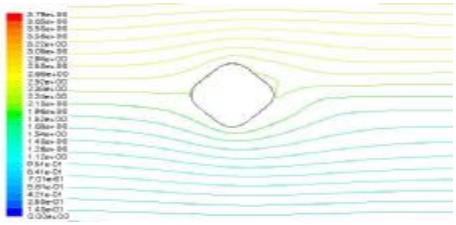
شکل ۱۰- خطوط فشار ثابت در رینولدز ۳۵۰۰۰۰



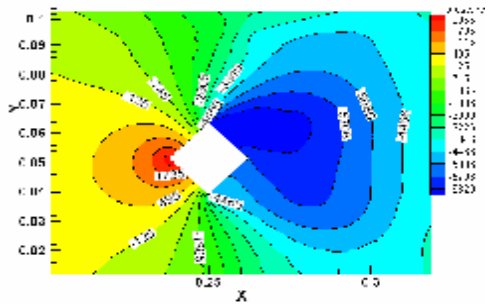
شکل ۱۴- خطوط فشار ثابت در رینولدز ۷۴۳۰۰۰



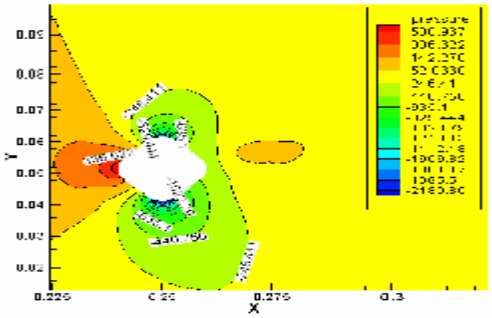
شکل ۱۱– خطوط جریان در رینولدز ۵۰۰۰۰۰



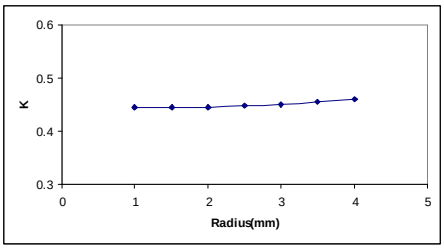
شکل۱۵- توزیع خطوط جریان حول دبی سنج لوزی شکل با گوشه‌های گرد شده با شعاع۰/۰۰۵ متر در رینولدز ۱۵۰۰۰۰



شکل ۱۲- خطوط فشار ثابت در رینولدز ۵۰۰۰۰۰



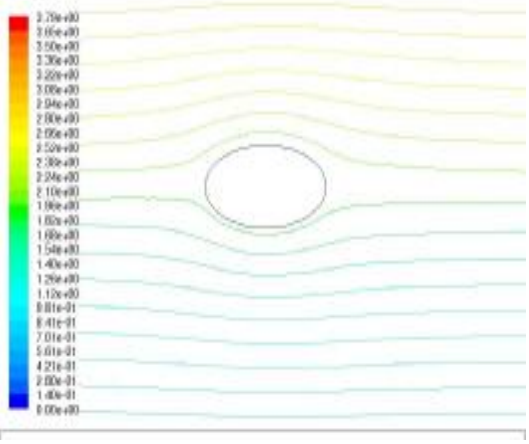
شکل ۱۶- توزیع خطوط فشار ثابت حول دبی سنج لوزی شکل با گوشه‌های گرد شده با شعاع ۰/۰۰۵متر در رینولدز ۱۵۰۰۰۰



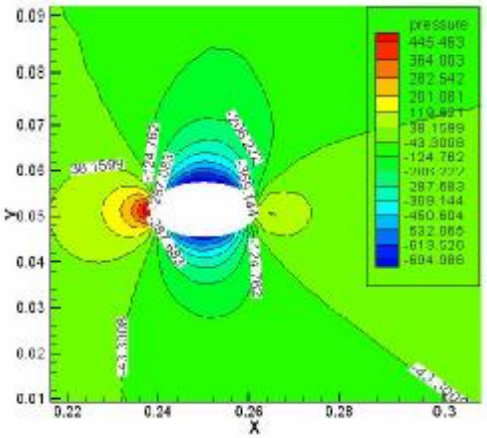
شکل۱۷- ضریب کالیبراسیون برای شکل لوزی

جریان حول دبی سنج بیضوی، به منظور رسیدن به یک افزایش در ضریب کالیبراسیون با تشکیل گردابه کمتر تحلیل شده است، خطوط جریان و توزیع فشار حول دبی سنج فوق در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ در رینولدز ۱۵۰۰۰۰ نشان داده شده اند. تغییرات ضریب کالیبراسیون و ضریب افت فشار دائمی با نسبت منظری در عدد رینولدز۵۰۰۰۰ به ترتیب در شکل(۲۰) ارائه شده است. دیده می‌شود که ضریب کالیبراسیون ابتدا با افزایش در نسبت منظری افزایش می‌یابد و سپس ثابت می‌ماند(شکل ۲۰).

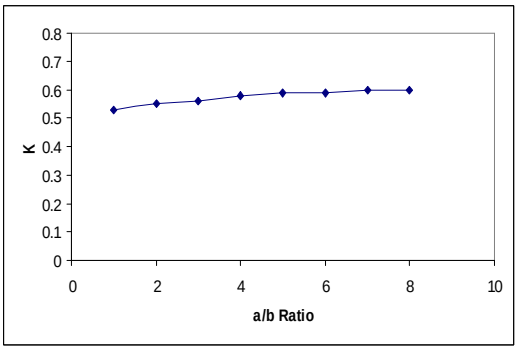
جریان حول دبی سنج دایروی به منظور مقایسه نحوه تشکیل خطوط جریان و مقادیر فشار با هندسه‌های دیگر دبی سنج در شکل‌های ۲۱و۲۲ در رینولدز ۱۵۰۰۰۰ نشان داده شده است



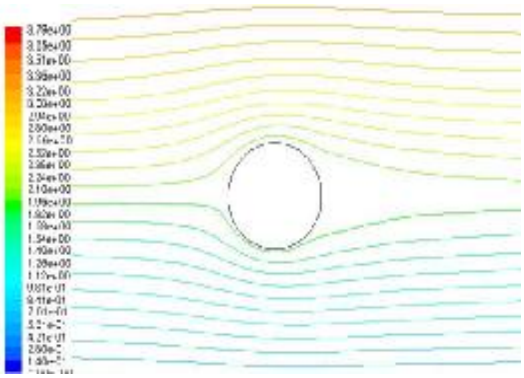
شکل ۱۸- توزیع خطوط جریان حول دبی سنج بیضی شکل در رینولدز ۱۵۰۰۰۰



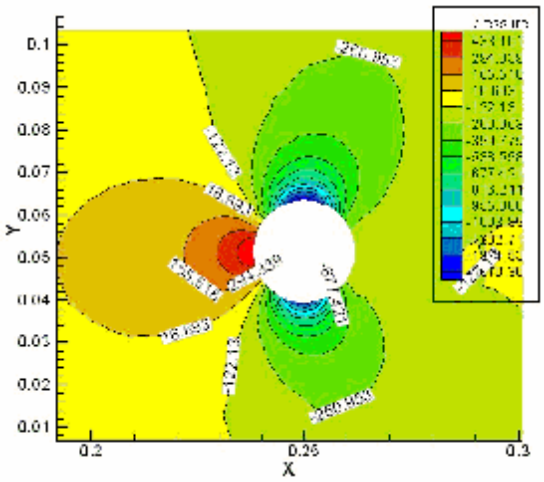
شکل ۱۹- توزیع خطوط فشار ثابت حول دبی سنج بیضی شکل در رینولدز ۱۵۰۰۰۰



شکل۲۰-تغییرات ضریب کالیبراسیون با تغییر ضریب منظری

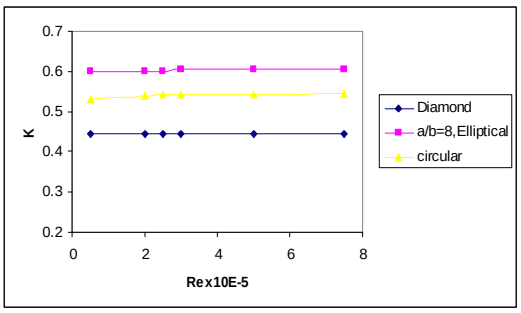


شکل ۲۱- توزیع خطوط جریان حول دبی سنج دایروی شکل در رینولدز ۱۵۰۰۰۰



شکل ۲۲- توزیع خطوط فشار ثابت حول دبی سنج دایروی شکل. در رینولدز ۱۵۰۰۰۰

مقایسه مقادیر ضریب کالیبراسیون برای ۳ نوع شکل در رینولدزهای مختلف در شکل (۲۳) نشان داده شده است. شکل فوق نشان می‌دهد که ضریب کالیبراسیون برای دبی سنج لوزی شکل کمترین و برای بیضوی بیشترین است (ضریب منظری ۸). تغییر در مقدار متوسط ضریب کالیبراسیون روی بازه اعداد رینولدز آزمایش شده برای شکل لوزی کمینه (٪۰/۶ ±) و برای شکل دایره ای بیشینه است(٪۵/۷ ±) تغییرات برای شکل بیضوی (٪ ۱/۸ ±) مقدار متوسط است. تغییرات کم در ضریب کالیبراسیون باعث خطای کمتر در اندازه گیری در نرخ تخلیه دبی سنج می‌شود که عموماً بر پایه مقادیر متوسط ضریب کالیبراسیون می‌باشد.

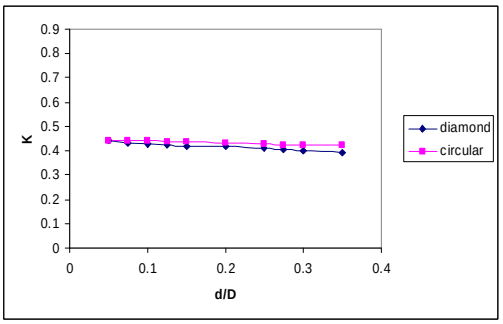


شکل۲۳-مقایسه ضریب کالیبراسیون برای سه شکل

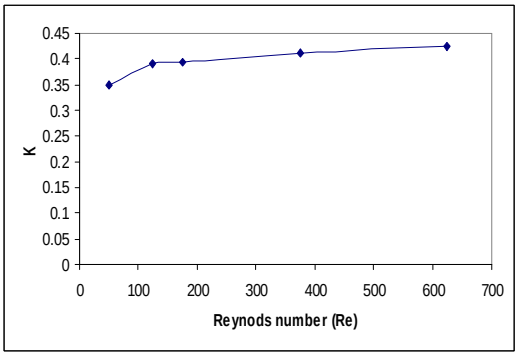
سطح جریان عبوری از لوله به دلیل ورود دبی سنج کاهش می‌یابد. فاکتور انسداد عموماً به صورت نسبت مساحت مسدود شده بوسیله دبی سنج به سطح واقعی مقطع عرضی لوله تعریف می‌شود و برای دبی سنج از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$\text{ضریب انسداد} = \frac{d.D}{p/4D^2} = \frac{4}{p}\left(\frac{d}{D}\right)$$

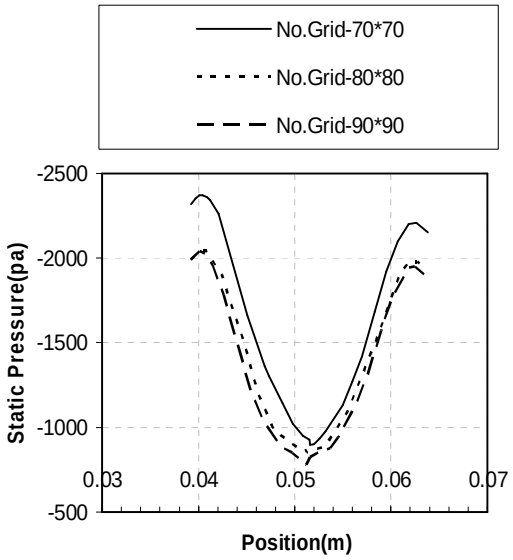
ضریب کالیبراسیون با افزایش ضریب انسداد یک روند کاهشی را برای هر دو شکل نشان می‌دهد که می‌تواند مربوط به شتاب سیال و افزایش در اختلاف فشار ثبت شده توسط دبی سنج باشد. همچنین مقادیر ضریب کالیبراسیون در اعداد رینولدز کم برای دبی سنج لوزی شکل به وسیله تغییر دادن خواص جریان سیال تحلیل و در شکل (۲۴) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود ضریب کالیبراسیون با افزایش عدد رینولدز به بالای ۴۰۰ زیاد می‌شود و سپس مقدار ثابتی را نشان می‌دهد که خیلی نزدیک به مقادیر مشاهده شده برای رژیم جریان آشفته می‌باشد (شکل ۲۵). بنابراین ضریب کالیبراسیون می‌تواند روی بازه بزرگی از اعداد رینولدز تا مرز بحرانی ثابت باشد.



شکل۲۴-تغییرات ضریب کالیبراسیون برای شکل دایره ای و لوزی در رینولدز ۵۰۰۰۰



شکل۲۵-تغییرات ضریب کالیبراسیون برای رینولدز کم



شکل ۲۶: استقلال شبکه

به منظور بررسی استقلال نتایج از شبکه، جریان حول دبی سنج لوزی شکل با شبکه‌های مثلثی و تعداد گره‌های ۷۰×۷۰، ۸۰×۸۰ و ۹۰×۹۰ حل شده و توزیع فشار استاتیک در قسمت پایین دست لوزی به دست آمده است. با توجه به شکل (۲۶) می‌توان به این نتیجه رسید که نتایج در شبکه ۸۰×۸۰ اختلاف کمی نسبت به شبکه ۹۰×۹۰ دارد. لذا در این تحقیق از شبکه مثلثی با تعداد گره ۸۰×۸۰ برای آزمایش فوق استفاده شده است و در بقیه شبیه سازی‌ها پس از استخراج نتایج استقلال از شبکه، آنها تجزیه و تحلیل شده است.

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق پارامترهای مهم در کارکرد دبی سنج با استفاده از یک روش عددی بر مبنای المان حجمی محدود مورد بررسی قرار گرفته است. بر پایه تحلیل انجام شده می‌توان چنین نتیجه گیری کرد:

۱- گرد کردن لبه‌های تیز شکل لوزی ضریب کالیبراسیون را زیاد می‌کند ولی آن را نسبت به تغییر عدد رینولدز حساس می‌کند.

۲- دبی سنج دایره ای شکل مقادیر بزرگ‌تری از ضریب کالیبراسیون را در مقایسه با شکل لوزی نشان می‌دهد.

۳- شکل بیضی با ضریب منظری زیاد بیشترین مقدار ضریب کالیبراسیون را با توجه به شکل‌های تحلیل شده نشان می‌دهد. تغییر در ضریب کالیبراسیون با تغییر در عدد رینولدز برای این شکل ٪۱/۸ ± است که خطای محاسبات دبی جرمی را کمینه می‌کند.

۴- ضریب کالیبراسیون در خانواده دبی‌سنج‌های اختلاف فشاری دارای کمترین افت فشار است و تقریباً در بازه بزرگی از رینولدزها ضریب کالیبراسیون ثابتی دارد .

فهرست واژه‌ها

μ	ویسکوزیته دینامیکی موثر $[Ns/m^2]$
G_b	ترم چشمه (شناوری)
δ	تابع دلتای کرونکر
G_k	ترم چشمه (سینتیکی)
τ	تانسور تنش برشی $[N/m^2]$
K	ضریب کالیبراسیون(= دبی تئوری /دبی واقعی)
ε	آهنگ اتلاف توربولانسی $[Nm^2/Kg]$
k	انرژی جنبشی توربولانسی $[N\ m]$
ρ	چگالی سیال $[Kg/m^3]$
p	فشار استاتیک $[N/m^2]$
Δp	اختلاف فشار $[Pa]$
Q	دبی جرمی واقعی $[Kg/s]$
μ_t	ویسکوزیته توربولانسی/گردابی
Re_D	عدد رینولدز جریان در لوله
A	مساحت لوله $[m^2]$
S	مدول آهنگ متوسط تانسور تنش برشی
σ_k، σ_e، C_m، C_{1e}، C_{2e}	ثوابت مدل توربولانسی
S_m	جرم اضافه شده به فاز پیوسته
d	ماکزیمم بعد دبی سنج عمود بر جریان $[m]$
t	زمان $[s]$
u	سرعت متوسط طولی $[m/s]$
x	مختصات طولی $[m]$
D	قطر لوله $[m]$
y	فاصله عمودی از خط مرکزی $[m]$
F_a	ضریب انبساط حرارتی برای مساحت
Y	ضریب گسترش پذیری

F_i نیروهای حجمی خارجی (همچنین شامل ترمهای چشمه مستقل از مدل)

Y_m فاصله نوسانی

g شتاب گرانش

Suffix i,j نمادسازی جهات برای المانها

مراجع

1. R.C. Baker, Flow Measurement Handbook, Cambridge University Press, London, (1987).
2. R.W. Miller, Flow Measurement Engineering Handbook, second ed., McGraw-Hill Publishing Company, New York, (1989) 11.27–40.
3. E.B. Jones, Instrumentation Technology Handbook, New–nwss Butlerworths, (1976).
4. D.W. Spitzer (Ed.), Flow Measurement: Practical Guides for Measurement and Control, Instrument Society of America, North California, USA, (1991).
5. S.N. Singh, V. Seshadri, A.K. Agrawal, Characteristics of a self-averaging pitot type probe, Indian Journal of Engineering and Material Sciences 1, (1994)153–157.
6. B.G. Liptak, Flow Measurement, Chilton Book Company, Randor, PA, (1993).
7. H. Schlichting, Boundary Layer Theory, eighth ed., Mcgraw Hill Book Company, New York, (1998).
8. Hinze, J.O., Turbulence, 2nd ed. New York : McGraw-Hill, (1975).