

مقاله علمی - پژوهشی

شبیه‌سازی و بررسی مشخصه‌های جریان حول شیر پروانه‌ای

فتح‌اله امی^{۱*}، حمیدرضا خدایاری^۲ و زهیر صبوچی^۳

۱-۲- دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

۳- پژوهشکده علوم و فناوری هوایی، پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری

*تهران، جلال آل احمد، پل نصر، صندوق پستی ۱۱۱-۱۴۱۱۵

ommi@modares.ac.ir

شیرهای پروانه‌ای به عنوان شیرهای کنترلی زمانی که افت فشار کمی از شیر مورد نیاز است، استفاده می‌شوند. نتایج حاصل از بررسی‌های عددی از حل معادلات جریان تراکم‌ناپذیر اطراف شیر پروانه‌ای به صورت سه‌بعدی در این مقاله ارائه شده است. به منظور حل معادلات جریان از نرم‌افزار تجاری CFX Ansys استفاده شده است. برای شبیه‌سازی اغتشاشات جریان از مدل توربولانسی k-ε استفاده شده است. پروفیل سرعت، توزیع فشار و انرژی جنبشی و شدت توربولانس عواملی هستند که ارائه‌دهنده مشخصه‌های جریان هستند. موقعیت دیسک در زوایای گشودگی ۰°، ۱۵°، ۳۰°، ۴۵°، ۶۰° و ۷۵° و همچنین سرعت‌های ورودی ۱ m/s، ۲ m/s و ۳ m/s بررسی شده است. گشتاور و عوامل عملکردی شیر نظیر ضریب جریان و ضریب گشتاور هیدرودینامیکی برای این زوایای گشودگی مختلف محاسبه شده است. نتایج حاصله از این شبیه‌سازی به منظور صحت‌سنجی با نتایج تجربی موجود مقایسه شده است. نتایج حاصله نشان‌دهنده وابستگی افت فشار در طول شیر و ضریب جریان و همچنین ضریب گشتاور هیدرودینامیکی به زاویه گشودگی می‌باشد. به طوری که با افزایش زاویه گشودگی ضریب جریان و ضریب گشتاور هیدرودینامیکی افت کرده و گشتاور و افت فشار در طول شیر افزایش می‌یابد. همچنین جدایش جریان نیز در زوایای گشودگی ذکر شده بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: شیر پروانه‌ای، ضریب گشتاور هیدرودینامیکی، ضریب جریان، توربولانس

مقدمه

شیر پروانه‌ای وسیله‌ای برای کنترل جریان می‌باشد که به صورت گسترده در صنایع مختلف نظیر خطوط نقل و انتقال نفت و گاز، خطوط لوله‌کشی آب، نیروگاه‌ها و غیره کاربرد دارد. این نوع از شیرها به دلیل

مونتاز ساده، کم‌هزینه بودن، زمان باز و بسته شدن کم و همچنین افت فشار کم در حالت کاملاً باز دارای کاربردهای فراوانی می‌باشد. اجزای اصلی این شیر همان‌طور که در شکل یک مشاهده می‌کنید شامل دیسک، شفت و بدنه شیر می‌باشد. محل قرارگیری شفت مرکز دوران دیسک بوده که باعث تغییر موقعیت آن از حالت موازی با جریان تا عمود بر آن می‌شود. مطالعات اولیه بر روی شیرهای پروانه‌ای شامل بررسی‌های تجربی و تحلیلی می‌باشد. سارپکایا (Sarpkaya) [۱] به صورت تئوری به پیش‌بینی کاویتاسیون و

۱. دانشیار (نویسنده مخاطب)

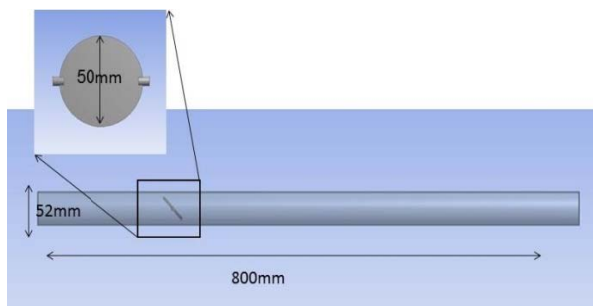
۲. دانشجوی دکتری

۳. استادیار

عددی مورد بررسی قرار داد. در این مقاله هدف، حل معادلات جریان اطراف دیسک دایروی شیر پروانه‌ای در زوایای گشودگی 0° ، 15° ، 30° ، 45° ، 60° و 75° و سرعت‌های ورودی $1 \frac{m}{s}$ ، $2 \frac{m}{s}$ و $3 \frac{m}{s}$ در حالت سه‌بعدی به منظور بررسی رفتار جریان اطراف شیر و پیش‌بینی گشتاور وارده بر دیسک و عوامل عملکردی شیر با استفاده از نرم‌افزار تجاری CFX می‌باشد.

هندسه و شرایط مرزی

به منظور مقایسه با نتایج تجربی چایوراپک (Chaiworapuek) [۹] در این مطالعه قطر دیسک دایروی شیر پروانه‌ای در نظر گرفته شده برابر با ۵۰mm و قطر لوله ۵۲mm می‌باشد. با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه توسط هوانگ و کیم، طول بالادست و پایین دست دیسک شیر پروانه‌ای به منظور جریان ورودی و همچنین خروجی کاملاً گسترش یافته باید حداقل ۲ و ۸ برابر طول دیسک باشد، بنابراین در این مقاله به منظور دقت در انجام محاسبات طول بالادست دیسک ۴ برابر و طول پایین دست آن ۱۲ برابر طول دیسک شیر پروانه‌ای در نظر گرفته شده است. شکل دو نشان‌دهنده هندسه و ابعاد شیر پروانه‌ای مورد نظر جهت انجام شبیه‌سازی می‌باشد



شکل ۲- هندسه و ابعاد شیر پروانه‌ای

شرایط مرزی مورد استفاده در این شبیه‌سازی نیز در شکل سه نشان داده شده است. شرط مرزی ورودی در سرعت‌های ورودی $1 \frac{m}{s}$ ، $2 \frac{m}{s}$ و $3 \frac{m}{s}$ تنظیم شده است. فشار در شرط مرزی خروجی برابر صفر بوده تا اختلاف فشار و افت فشار به درستی تعیین شود. دیواره لوله و دیسک شیر پروانه‌ای نیز دارای شرط مرزی دیواره بدون لغزش می‌باشند. در این شبیه‌سازی از خصوصیات فیزیکی آب به عنوان سیال مورد بررسی استفاده شده است. به منظور کاهش زمان حل و با توجه به تقارن در مسئله، نیمی از محیط جریان برای شبیه‌سازی مدل شده است.

با در نظر گرفتن طول مناسب در ورودی، جریان قبل از دیسک به صورت یکنواخت حاصل می‌شود. در خروجی کانال، جریان در حالت هیدرودینامیکی باید به صورت کاملاً توسعه یافته باشد.

مشخصه‌های گشتاور شیر پروانه‌ای پرداخت. موریس (Morris) و دالتون (Dutton) [۲] مشخصه‌های گشتاور آیرودینامیکی شیر پروانه‌ای را با استفاده از مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی به صورت تجربی مورد بررسی قرار دادند.



شکل ۱- شیر پروانه‌ای

نتایج حاصل از این بررسی نشان‌دهنده اثر پدیده جدایش جریان بر مشخصه‌های آیرودینامیکی گشتاور شیر پروانه‌ای می‌باشد. کیمورا (Kimura) [۳] مشخصه‌های افت فشار و کاویتاسیون برای شیر پروانه‌ای را به صورت تئوری مورد بررسی قرار داد. روابط ضرایب افت فشار تئوری حاصل شده و رابطه بین ضریب افت و عدد کاویتاسیون بحرانی مطالعه شد. اگاوا (Ogawa) و کیمورا [۴] به صورت تئوری، مطالعاتی به منظور پیش‌بینی مشخصه‌های گشتاور هیدرودینامیکی شیر پروانه‌ای انجام دادند. آن‌ها با استفاده از بررسی‌های تئوری و در نظر گرفتن اطلاعات تجربی اندازه‌گیری گشتاور، روابط مشخصه‌های گشتاور را به دست آوردند. در اثر گسترش سریع قدرت محاسباتی و روش‌های عددی، بسیاری از محققان با استفاده از گسترش روش‌های عددی و دینامیک سیالات محاسباتی به بررسی پدیده‌های جریان در شیر پروانه‌ای پرداخته‌اند. کیم (Kim) و هوانگ (Huang) [۵] جریان تراکم‌ناپذیر اطراف دیسک شیر پروانه‌ای را به صورت سه‌بعدی و با استفاده از روش‌های عددی مورد بررسی قرار دادند. مطالعات آن‌ها نشان‌دهنده توزیع فشار و سرعت جریان اطراف دیسک بود. لین (Lin) و شول (Schohl) [۶] با استفاده از نرم‌افزار تجاری Fluent نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دیسک نیمه‌باز را بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان‌دهنده صحت نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی در مقایسه با نتایج تجربی برای تخمین نیرو و ضرایب تخلیه می‌باشد. سونگ (Song) و پارک (Park) [۷] شیر پروانه‌ای را در جریان تراکم‌ناپذیر و در زوایای مختلف گشودگی به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی کردند. در نتایج به دست آمده، زمینه جریان نشان داده شده و مقادیر افت فشار، ضریب جریان و گشتاور هیدرودینامیکی محاسبه شده است. پرما (Perma) [۸] هندسه شیر پروانه‌ای و اثرات آن بر عملکرد شیر در موقعیت کاملاً باز را به صورت

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i \bar{u}_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \mu_t) \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \frac{\partial(\rho k)}{\partial y} \right] \quad (2)$$

که در آن

$$\mu_t = \rho c_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (3)$$

در این شبیه‌سازی جریان تراکم ناپذیر و دارای ویسکوزیته اطراف دیسک شیر پروانه‌ای برقرار است. الگوی جریان مورد نظر نشان‌دهنده جریان دارای اغتشاش می‌باشد. به همین منظور برای شبیه‌سازی جریان دارای توربولانس از مدل توربولانسی $k-\varepsilon$ استفاده شده است زیرا این مدل توربولانسی دارای توابع غیرخطی میرا کننده که در دیگر مدل‌های توربولانسی مورد نیاز است نبوده و بنابراین دارای دقت بیشتر و زمان حل کمتری می‌باشد [۱۰]. مدل $k-\varepsilon$ از معادله انتقال زیر جهت شبیه‌سازی جریان استفاده می‌کند

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho k \bar{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \mu_t \left[\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon \quad (4)$$

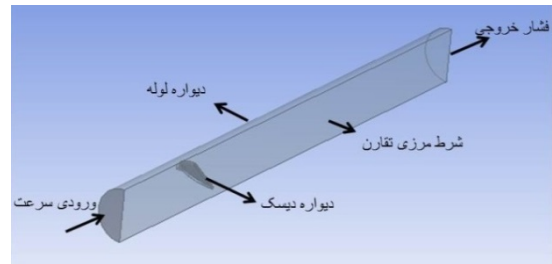
$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \varepsilon \bar{u}_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + c_{\varepsilon 1} \mu_t \left[\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \frac{\varepsilon}{k} - \rho c_{\varepsilon 2} \varepsilon \quad (5)$$

که در دیواره مقادیر k_{wall} و ε_{wall} برابر صفر می‌باشد. در این جریان پایا خواص فیزیکی و شرایط جریان مورداستفاده برای حل معادلات جریان در جدول ۱ نشان داده شده است.

مدل جریان تفکیک شده معادلات جریان را حل می‌کند. به روش تفکیک شده، ارتباط بین معادلات مومنتوم و پیوستگی با یک رویکرد پیش‌بینی تصحیح‌کننده حاصل می‌شود. قبل از اجرای شبیه‌سازی، شرایط اولیه باید در کل دامنه جریان تنظیم شود. فشار اندازه‌گیری برابر با صفر تنظیم شده است، درحالی‌که نرخ اتلاف اغتشاشات، انرژی جنبشی آشفتگی و سرعت برابر با مقادیر اولیه جریان تنظیم شده است. مقادیر اولیه برای شبیه‌سازی‌های میدان جریان در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر پارامترها و ثابت‌های مورداستفاده در شبیه‌سازی

مقدار	متغیر
$998 \frac{kg}{m^3}$	چگالی سیال
$0.0003 \frac{kg}{m \cdot s}$	ویسکوزیته سیال
3 و $2, 1 \frac{m}{s}$	سرعت ورودی
مقارن و پایا	مدل حل گر
توربولانس (مدل $k-\varepsilon$)	نوع جریان
101.3 kPa	فشار کاری

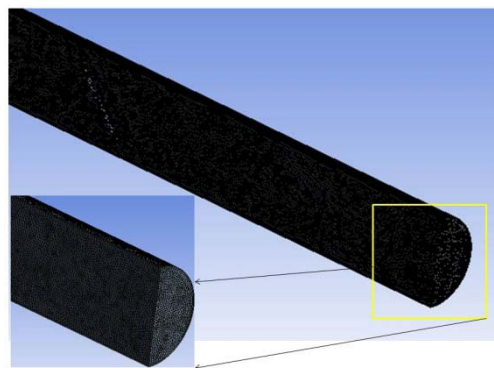


شکل ۳- شرایط مرزی برای محیط محاسباتی

شبکه محاسباتی

هندسه مسئله با ابعاد ذکر شده در قسمت قبلی توسط نرم‌افزار Design-modeler طراحی شده و شبکه محاسباتی آن نیز توسط نرم‌افزار ICEM-CFD شبکه‌بندی شده است.

شبکه چندوجهی مدل اصلی برای شبیه‌سازی‌های CFD در این مطالعه می‌باشد. سلول‌های چندوجهی ایجاد شده به‌طور معمول دارای ۱۴ وجه هستند و یک راه‌حل متعادل را از منظر هزینه‌های محاسباتی ارائه می‌دهند. یک مزیت بزرگ که مدل مش چندوجهی در مقایسه با مش چهارضلعی دارد این است که تولید آن‌ها نسبتاً آسان و کارآمد است و در نتیجه هزینه محاسباتی را کاهش می‌دهد. مدل پریسم برای تولید سلول‌های لایه‌مرزی در کنار دیواره استفاده شده است. این لایه از سلول‌ها به حل لایه‌مرزی و بهبود دقت حل جریان کمک می‌کند. شبکه محاسباتی دارای تعداد $325/150$ سلول می‌باشد.



شکل ۴- شبکه محاسباتی

معادلات حاکم

آب به عنوان سیال گذرنده از شیر انتخاب شده است. معادلات حاکم بر جریان پایای سیال نیوتونی حول شیر پروانه‌ای، روابط پیوستگی و مومنتوم می‌باشد که به ترتیب به صورت زیر بیان می‌شود

$$\nabla \cdot V = 0 \quad (1)$$

مشخصه‌های عملکردی شیر

توصیف یک شیر پروانه‌ای معمولاً شامل ارزیابی متداول‌ترین فاکتورهای عملکردی از جمله: افت فشار، گشتاور هیدرودینامیکی، ضریب جریان، ضریب افت و ضریب گشتاور هیدرودینامیکی است [۱۱]. افت فشار روی یک شیر اغلب به اختلالات ناشی از جریان مانند انسداد، جدایش جریان و اختلاط، نسبت داده می‌شود. برای شیرهای پروانه‌ای، افت فشار بستگی به پیکربندی زاویه دیسک و میزان جریان دارد. افت فشار با دیفرانسیل فشار مطلق بین فشار اندازه‌گیری شده در بالادست و فشار اندازه‌گیری شده در پایین‌دست مانند رابطه ۶ نشان داده می‌شود.

$$\Delta P_{\theta} = |P_{u\theta} - P_{d\theta}| \quad (6)$$

برای دبی مشخص، به دلیل تداخل کمتر در جریان، با افزایش زاویه گشودگی شیر، افت فشار کاهش می‌یابد. در این مطالعه، مطابق با [۱۱] فشارهای بالادست و پایین‌دست به ترتیب در فواصل دو برابر قطر شیر در بالادست و شش برابر قطر شیر در پایین‌دست اندازه‌گیری شده‌اند. عوامل اصلی در رابطه با انتخاب و بررسی شیرها ضریب جریان و ضریب گشتاور هیدرودینامیکی می‌باشد. این دو ضریب عواملی هستند که برای اطمینان از عملکرد مناسب شیر در سیستم لوله‌کشی استفاده می‌شوند. ضریب جریان به منظور ارتباط افت فشار در طول شیر به تخلیه از آن در زاویه گشودگی موردنظر مطرح می‌شود. با استفاده از ضریب جریان اندازه مناسب شیر برای بسیاری از کاربردها تعیین می‌شود. رابطه اصلی برای تخمین ضریب جریان در صنعت به صورت رابطه ۷ می‌باشد.

$$C_v = Q \sqrt{\frac{Sg}{\Delta P}} \quad (7)$$

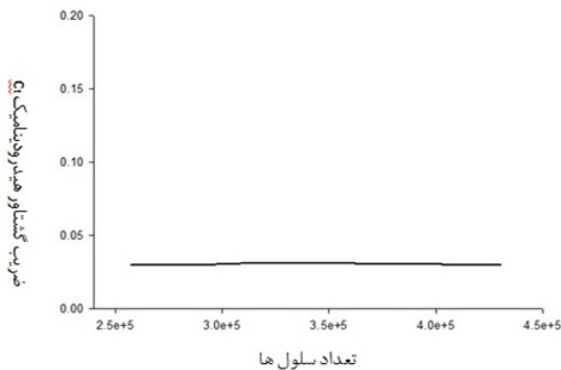
که در آن ΔP اختلاف فشار در فواصل دو برابر قطر دیسک در بالادست جریان و ۶ برابر قطر دیسک در پایین‌دست آن می‌باشد، Q دبی جریان و Sg گرانش ویژه سیال است که برای آب برابر با یک می‌باشد. گشتاور هیدرودینامیکی نیز از نیروی وارده در اثر برخورد سیال به دیواره دیسک و ایجاد گشتاور حول شفت حاصل می‌شود. ضریب گشتاور هیدرودینامیکی نیز از طریق رابطه ۵ محاسبه می‌شود که در آن T گشتاور اعمال شده توسط جریان و D قطر دیسک می‌باشد

$$C_t = \frac{T}{D^3 \Delta P} \quad (8)$$

در کنار عوامل قابل‌توجه ذکر شده، عامل دیگری که بر دقت شبیه‌سازی تأثیرگذار است، کیفیت شبکه‌بندی می‌باشد. به صورت تئوری، المان‌های بیشتر در هندسه، کیفیت بالاتر شبکه و دقت بیشتر در نتایج را در بر دارد ولی زمان محاسبات را هم‌زمان افزایش می‌دهد. شبیه‌سازی و تحلیل برای شبکه‌های با اندازه مختلف در زاویه گشودگی ۶۰ درجه انجام شده و ضریب گشتاور هیدرودینامیک

همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌کنید، محاسبه شده است تا میزان تغییرات نتایج با تعداد المان‌های شبکه مشخص شده و شبکه با هندسه بهینه انتخاب شود.

با توجه به راهنمای نرم‌افزار انسیس [۱۳] و انجام شبیه‌سازی با استفاده از شبکه‌بندی‌های مختلف توسط نرم‌افزار، شبکه بهینه که دارای ۳۳۵۱۵۰ تعداد سلول می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفت.



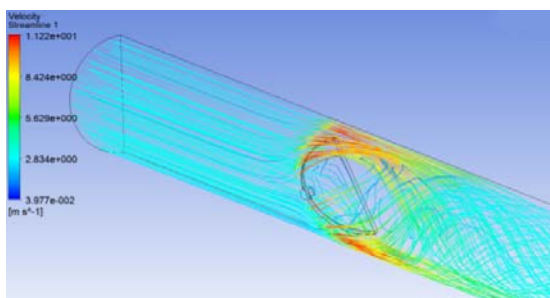
0.0297	0.0309	0.0297	0.0297	ضریب گشتاور هیدرودینامیکی
430240	325150	289127	256891	تعداد سلول‌ها

شکل ۵- بررسی استقلال نتایج از دقت در شبکه

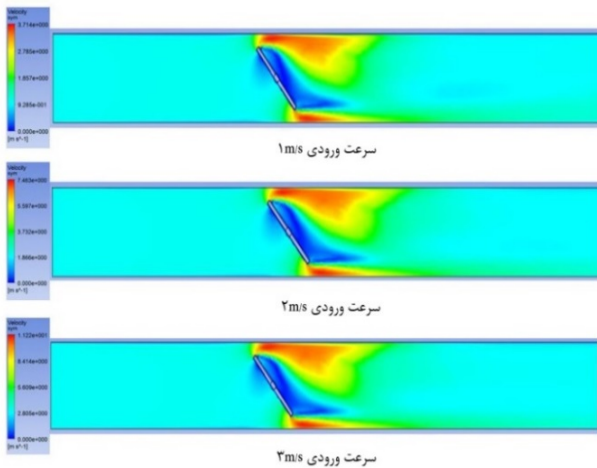
نتایج

یک ویژگی مشترک جریان شبیه‌سازی شده در تمام زوایای دریچه گشودگی، ایجاد و اتلاف نهایی یک جفت گرداب چرخشی است که پس از عبور از اطراف دریچه شیر پروانه‌ای تشکیل می‌شود. خطوط جریان در امتداد دیسک شیر پروانه‌ای از صفحه دیسک جدا شده و باعث یک رفتار آشفتگی و چرخشی زیادی می‌شود [۱۲].

شکل ۶ نشان‌دهنده خطوط جریان اطراف دیسک شیر پروانه‌ای در زاویه گشودگی ۴۵ درجه و سرعت جریان $3 \frac{m}{s}$ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در پایین‌دست شیر گردابه‌ها تشکیل شده و همچنین جدایش جریان مشاهده می‌شود. پدیده تشکیل گردابه‌ها در پایین‌دست جریان پدیده‌ای است که در تمام سرعت‌ها و زوایای گشودگی به جز در حالت کاملاً باز قابل مشاهده است.

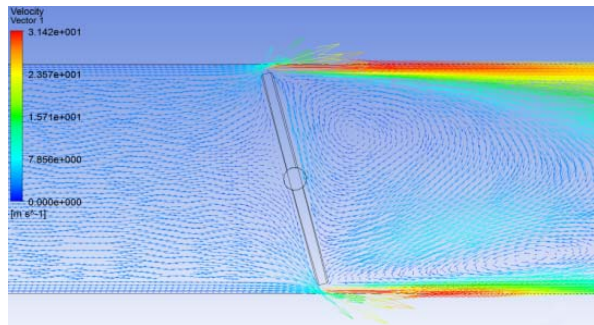


شکل ۶- خطوط جریان حول دیسک در سرعت ۳ m/s و زاویه ۴۵ درجه



شکل ۷ نشان‌دهنده کانتورهای سرعت در صفحه مرکزی شیر در زوایای مختلف گشودگی و سرعت $3 \frac{m}{s}$ می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در حالت کاملاً باز شیر جریان یکنواخت بوده و جدایش جریان مشاهده نمی‌شود. با افزایش زاویه گشودگی جریان اطراف دیسک مغشوش شده و وسعت جدایش افزایش می‌یابد. وقوع جدایش در پایین دست جریان و تشکیل گردابه‌ها با افت فشار ناگهانی در شیر مرتبط بوده و همان‌طور که مشاهده می‌کنید، با افزایش زاویه گشودگی، افزایش می‌یابد. افزایش زاویه منجر به کاهش سطح بین لبه دیسک و دیواره لوله شده و باعث افزایش سرعت جریان می‌شود که این خود باعث افزایش جدایش جریان از لبه دیسک می‌شود.

شکل ۸- کانتور سرعت برای سرعت‌های ورودی مختلف در زاویه گشودگی 45°

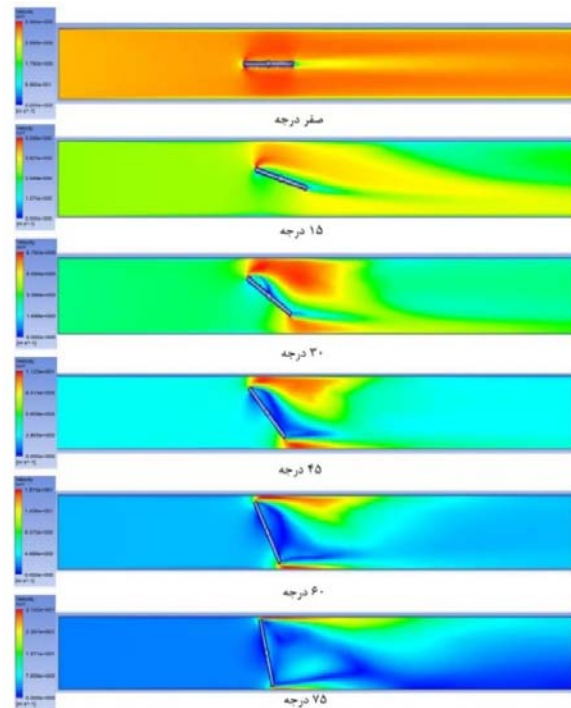


در شکل ۸ سرعت‌های ورودی مختلف برای زاویه گشودگی 45° درجه نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با افزایش سرعت، ناحیه توربولانسی پشت دیسک شیر وسیع‌تر شده و تا فاصله بیشتری از پشت دیسک امتداد می‌یابد.

شکل ۹ نیز ارائه‌دهنده بردارهای سرعت در زاویه گشودگی 75° درجه در اطراف دیسک می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در اطراف لبه دیسک جریان به شدت توربولانسی بوده و گردابه‌ها در پشت دیسک دارای وسعت بیشتری می‌باشند. لبه دیسک در این زاویه فاصله اندکی با دیواره داشته و این فاصله کم‌تر باعث کم شدن سطح جریان عبوری شده و جت سیال با سرعت بالا در ناحیه نزدیک لبه دیسک تشکیل می‌شود.

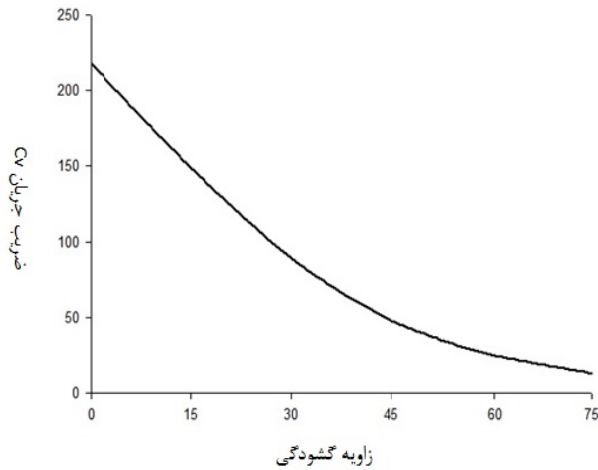
شکل ۹- بردار سرعت در نزدیکی دیسک با زاویه 75°

در شکل ۱۰ نیز توزیع فشار در لوله نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که به علت قرارگیری دیسک به عنوان مانع در مسیر جریان، فشار بالاتر همیشه در جلوی دیسک تشکیل شده است. در نواحی پشت دیسک نیز به علت تشکیل گردابه‌ها و جریان توربولانسی، مقادیر فشار، معکوس می‌باشد. کاهش شدید فشار در لبه دیسک باعث افزایش سرعت در این ناحیه می‌شود و با عبور از این ناحیه و در پایین دست جریان، سرعت کاهش یافته و فشار افزایش می‌یابد. زمانی که شیر در زاویه گشودگی صفر درجه قرار دارد، جریان تقریباً یکنواخت بوده و جدایش جریانی مشاهده نمی‌شود. با افزایش زاویه در 15° جدایش کوچکی تشکیل شده ولی دوباره به سطح متصل می‌شود. در زاویه 30° جریان در پایین دست دیسک کاملاً جدا شده است. به همین ترتیب در زوایای دیگر نیز با افزایش زاویه گشودگی، جدایش جریان و فشار معکوس افزایش پیدا کرده است.



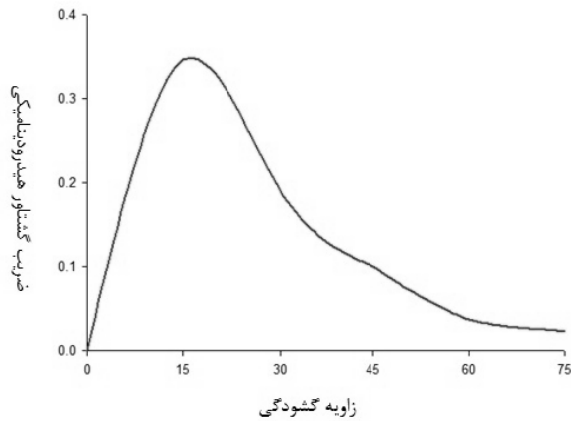
شکل ۷- کانتورهای سرعت در زوایای مختلف قرارگیری دیسک و سرعت ورودی 3 m/s

شکل ۱۲ نشان‌دهنده مقادیر ضریب جریان محاسبه شده می‌باشد. ضریب جریان رابطه معکوس با افت فشار در طول شیر داشته و با افزایش افت فشار در زوایای بالای گشودگی میزان ضریب جریان، کاهش می‌یابد. پس می‌توان گفت، با افزایش زاویه گشودگی مقادیر ضریب جریان، کاهش می‌یابد.



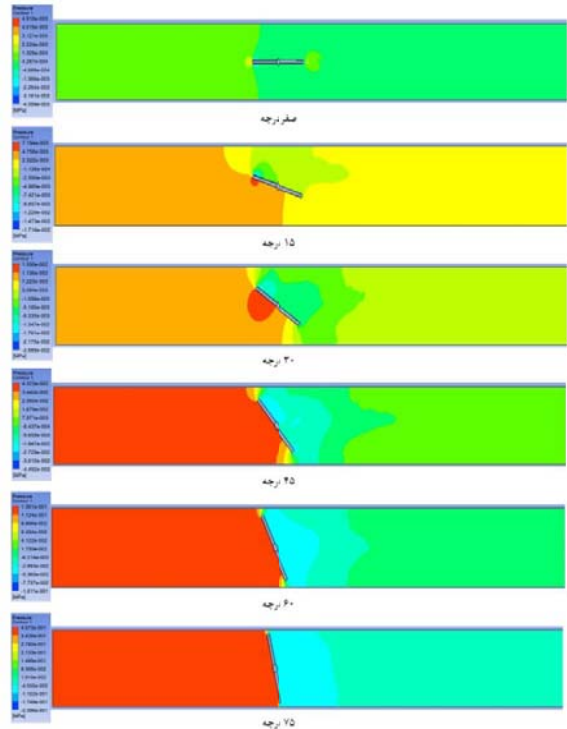
شکل ۱۲- نمودار ضریب جریان محاسبه شده در زوایای مختلف و سرعت ورودی ۳m/s

شکل ۱۳ نیز نشان‌دهنده تغییرات ضریب گشتاور هیدرودینامیکی با افزایش اندازه زاویه گشودگی می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، حداکثر میزان ضریب گشتاور در زاویه ۱۵ درجه رخ داده و در زاویه گشودگی صفر (حالت کاملاً باز) تقریباً برابر با صفر می‌باشد.



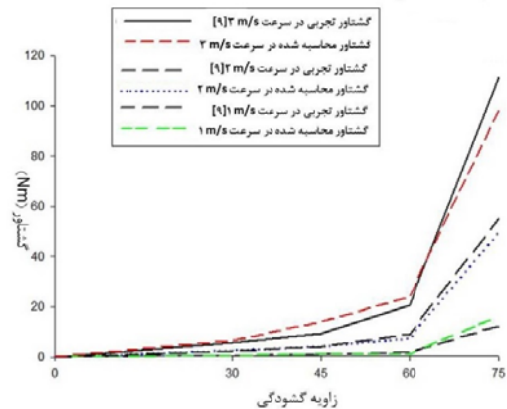
شکل ۱۳- نمودار ضریب گشتاور محاسبه شده در زوایای مختلف و سرعت ورودی ۳m/s

مقادیر افت فشار از طریق دریچه شیر پروانه‌ای بررسی شده است. این مقادیر به‌منظور محاسبه مقدار بدون بعد ضریب اتلاف، k محاسبه شدند. مقادیر K مستقل از نرخ جریان نبوده و با تغییر موقعیت دیسک دریچه تحت تأثیر قرار می‌گیرد. با افزایش زاویه



شکل ۱۰- کانتورهای فشار در سرعت ورودی ۳m/s و زوایای مختلف

به‌منظور صحت‌سنجی شبیه‌سازی انجام شده، نتایج با مقادیر تجربی چایوراپوک که هندسه مدل بر اساس ابعاد آن کشیده شده است، مقایسه شده است. گشتاور محاسبه شده در این بررسی، در شکل ۱۱ با نتایج تجربی مقایسه شده است. خطای محاسبه شده در این مقایسه در حداکثر مقدار برابر ۳.۱٪ می‌باشد. بیشترین خطا در زاویه گشودگی ۷۵° محاسبه شده است که در اثر ایجاد اغتشاش و تشکیل گردابه‌ها در این زاویه پدید آمده است و می‌تواند در عدم توانایی کامل مدل توربولانسی انتخاب شده در شبیه‌سازی این پدیده در نزدیکی دیواره باشد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، با افزایش زاویه و همچنین سرعت، گشتاور عملی نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۱۱- گشتاور محاسبه شده در سرعت‌ها و زوایای گشودگی مختلف و مقایسه با نتایج تجربی

نتیجه‌گیری

مشخصه‌های جریان در شیر پروانه‌ای تحت زوایای گشودگی مختلف و با رژیم جریان تراکم‌ناپذیر با استفاده از نرم‌افزار Ansys CFX مورد بررسی قرار گرفته است. از نتایج به‌دست‌آمده مشاهده شد که افت فشار در طول شیر و همچنین ضریب جریان به‌طور مستقیم به زاویه قرارگیری دیسک وابسته بوده و افزایش زاویه دیسک منجر به افزایش افت فشار و در پی آن کاهش ضریب جریان می‌شود. همچنین مزیت اصلی این شیر کنترلی که حداقل میزان افت فشار در حالت کاملاً باز می‌باشد، نیز بررسی شد. حداکثر مقدار ضریب گشتاور هیدرودینامیکی با توجه به مطالعات قبلی انجام‌شده جایی بین زاویه گشودگی 70° تا 80° می‌باشد که در محاسبات انجام‌شده نیز حداکثر میزان در زاویه 75° به دست آمد. همچنین از بررسی دیسک در زوایای گشودگی بالا جایی که فاصله دیسک و دیواره کم می‌باشد، جریان به‌شدت توربولانسی بوده و برای بهبود نتایج حاصل از شبه‌سازی، استفاده از دیگر مدل‌های توربولانسی که قابلیت شبه‌سازی بهتر در نزدیکی دیواره را دارا می‌باشند، توصیه می‌شود.

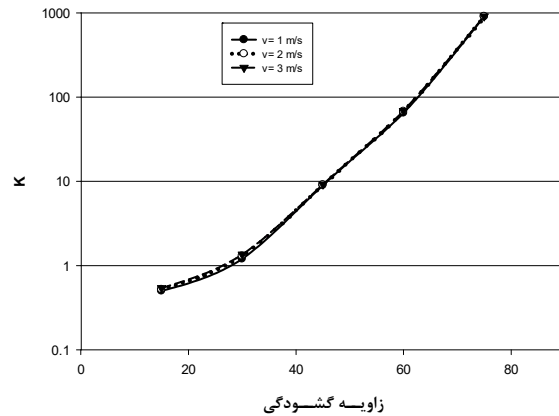
فهرست علائم

P	فشار، Pa
c_v	ضریب جریان
Q	تخلیه، gpm
ΔP	افت فشار در طول شیر
c_t	ضریب گشتاور هیدرودینامیک
T	گشتاور هیدرودینامیک (Nm)
D	قطر دیسک (mm)
	علائم یونانی
ρ	چگالی، kg/m^3
μ	ویسکوزیته، $\frac{kg}{m.s}$
ε	نرخ توزیع توربولانس
k	انرژی جنبشی توربولانس، J

مراجع

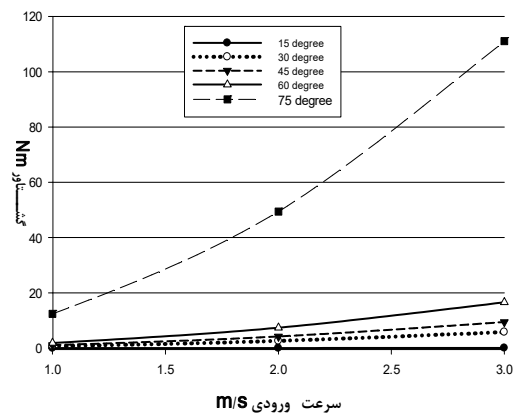
- [1] Sarpkaya, T., 1961, "Torque and Cavitation Characteristics of Butterfly Valves", *Journal of Applied Mechanics*, 28(4), pp. 511-518.
- [2] Morris, M. J. and Dutton, J. C., 1989, "Aerodynamic Torque Characteristics of Butterfly Valves in Compressible Flow", *Journal of Fluids Engineering*, 111(4), pp. 392-399
- [3] Kimura, T., Tanaka, T., Fujimoto, K., and Ogawa, K., 1995, "Hydrodynamic characteristics of a

دیسک شیر، مقدار ضریب افت بیشتر می‌شود. نتایج در شکل ۱۴ نشان داده شده است. در این شکل ضریب افت نسبت به شرایط ورودی مستقل بوده اما ارتباط مستقیم به زاویه گشودگی شیر پروانه‌ای دارد.



شکل ۱۴- مشخصه‌های ضریب اتلاف در زوایای گشودگی مختلف برای سرعت‌های ورودی جریان مختلف

مشخصه گشتاور مورد استفاده برای چرخاندن دیسک شیر پروانه‌ای در ۵ موقعیت درجه دیسک، متشکل از ۱۵ درجه، ۳۰ درجه، ۴۵ درجه، ۶۰ درجه و ۷۵ درجه بررسی شده است. ورودی سرعت روی مقدار برابر ۱، ۲ و ۳ متر بر ثانیه تنظیم شده است. نتایج در شکل ۱۵ نشان داده شده است. با افزایش سرعت ورودی، مقدار گشتاور مورد استفاده برای حرکت موقعیت دیسک بزرگ‌تر می‌شود و همچنین هنگامی که مساحت جریان کاهش می‌یابد، گشتاور افزایش یافته است.



شکل ۱۵- مقایسه مشخصه گشتاور برای زوایای گشودگی مختلف و سرعت‌های مختلف ورودی

- [8] Perma, B., Bahojani, S., and Gopalakrishnan, N., 2010, "Design Optimization of Butterfly Valve Using CFD", *Proceedings of the 37th National & 4th International Conference on Fluid Mechanics and Fluid Power*, IIT Madras, Chennai, India.
- [9] Chaiworapuek, W., 2007, The Engineering Investigation of the Water Flow past the Butterfly Valve, MS Thesis, Institut National Des Sciences Appliquees De Lyon – France.
- [10] B. Mohammadi and O. Pironneau, *Analysis of the K-Epsilon Turbulence Model (Research in Applied Mathematics)*, John Wiley & Sons Ltd (Import) (August 1994).
- [11] Bosserman, B.E., Ali, A., Schuraytz, I.M., 2012, *Butterfly Valves: Torque, Head Loss, and Cavitation Analysis AWWA Manual*; M49, 2nd ed., American Water Works Association, Denver, CO.
- [12] Henderson, A.D., Sargison, J.E., Walker, G.J., and Haynes, J.H., 2008, "A Numerical Prediction of the Hydrodynamic Torque Acting on a Safety Butterfly Valve in a Hydro-Electric Power Scheme," *WSEAS Trans. on Fluid Mechanics*, 1(3), pp. 218-223.
- [13] ANSYS CFX 10.0 User's Manual, ANSYS, Inc butterfly valve - Prediction of pressure loss characteristics", *ISA Transactions*, 34(4), pp. 319-326.
- [4] Ogawa, K. and Kimura, T., 1995, "Hydrodynamic characteristics of a butterfly valve - Prediction of torque characteristics", *ISA Transactions*, 34(4), pp. 327-333.
- [5] Huang, C. and Kim, R. H., 1996, "Three-Dimensional Analysis of Partially Open Butterfly Valve Flows", *Journal of Fluids Engineering*, 118(3), pp. 562-568.
- [6] Lin, F. and Schohl, G. A., 2004, "CFD Prediction and Validation of Butterfly Valve Hydrodynamic Forces", *Proceedings of World Water and Environmental Resources Congress*, Salt Lake City, USA, pp. 1-8.
- [7] Song, X. G. and Park, Y. C., 2007, "Numerical Analysis of Butterfly Valve-Prediction of Flow Coefficient and Hydrodynamic Torque Coefficient", *Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science*, San Francisco, USA, pp. 759-763.