

بررسی خواص هیدرودینامیکی کاویتاتور سوراخدار به همراه تزریق آب

محمود پسندیده فرد^۱، محمد غفاری^۲

^۱ دانشیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، fard_m@um.ac.ir

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه فردوسی مشهد، ghaffari.me91@gmail.com

چکیده

نیاز به تزریق آب پایدار در پرتابه های زیر سطحی که از سیستم رمجت^۱ استفاده می کنند یکی از بخش های کلیدی طراحی این نوع وسایل به حساب می آید. در این مقاله، جریان همراه با کاویتاسیون حول یک پرتابه سه بعدی همراه با کاویتاتور سوراخ دار و بدون سوراخ به روش عددی شبیه سازی شده است. جریان دو فاز به عنوان یک مخلوط با چگالی متغیر در نظر گرفته شده است. به منظور درک بهتر این فرایند شبیه سازی عددی برای حالت های مختلفی از سوراخ و کاویتاتور انجام شده و پارامترهای متنوعی همچون توزیع نیرو بر روی کاویتاتور و پرتابه، طول و قطر کاویتیتی مورد ارزیابی قرار گرفته اند. به منظور حل معادلات ناویر استوکس از روش جریان تعادلی همگن استفاده شده، همچنین یک معادله انتقال برای نسبت حجمی مایع (بخار) همراه با جمله چشمه برای مدل سازی انتقال جرم بکار گرفته شده است. جهت ارزیابی میزان دقت نتایج به دست آمده و اطمینان از صحت آنها مقایسه ای بین نتایج تحقیق حاضر و نتایج تجربی و عددی دیگران صورت پذیرفته است. از جمله نتایج این کار تحقیقاتی می توان به کاهش طول و قطر کاویتاتور در ازای افزایش قطر سوراخ و همچنین کاهش نوسانات فشار ناحیه ورودی، در صورت ایجاد انحنای مناسب اشاره کرد.

واژه های کلیدی: کاویتاتور سوراخدار، تزریق آب، شبیه سازی عددی، پرتابه بهینه

1- مقدمه

کاویتاسیون به عنوان یکی از گسترده ترین پدیده های به وجود آمده در مایعات شناخته می شود که می توان آن را در ساده ترین حالت تبدیل مایع به بخار در اثر کاهش فشار مایع تا فشار بخار تعریف کرد. خطر به وجود آمدن کاویتاسیون تا زمانی که مناطق با گرادیان بالای سرعت در سیال وجود دارد پا برجاست. این پدیده به طور معمول در بسیاری از سیستم های هیدرولیکی مانند توربین ها، پروانه ها، پمپ ها، سد رودخانه ها، دریچه ها، موتورها، سیستم های لوله کشی و سیستم های سرد کننده راکتور بوقوع می پیوندد. در تمام این موارد کاویتاسیون عموماً یک پدیده نا مطلوب است که ترجیحاً نباید بوقوع بپیوندد یا حداقل کنترل شود. با این وجود کاویتاسیون در برخی موارد مانند تمیز کننده های فراصوت، برش سنگ، کاربردهای پزشکی و پرتابه های زیر سطحی بسیار سودمند خواهد بود.[1]

در این مقاله اثرات سه بعدی ایجاد سوراخ در کاویتاتور بر روی پارامتر های جریان مورد بررسی قرار گرفته است. اگرچه روشهای تئوری با دقت مناسبی پدیده کاویتاسیون را پیش بینی می کنند، ولی هزینه بالای روشهای تجربی و محدودیت روشهای تئوری به هندسه های ساده، محققین را به استفاده از روشهای عددی تشویق کرده است.

از سال 1990 روشهای عددی جهت مطالعه کاویتاسیون پیشرفت چشمگیری داشته که تا کنون نیز ادامه دارد. این روشها که از معادله ناویر استوکس استفاده می کنند به همراه یک معادله انتقال برای کسر حجمی بخار یا معادلات جریان دو فازی و یا سایر مدل های کاویتاسیون توسعه یافتند. این روشها یک معادله انتقال برای کسر حجمی یا جرمی مایع یا بخار در نظر می گیرند. در این روشها فرض می شود فشار، سرعت و دما برای فازهای مختلف یکسان باشد. تبدیل از یک فاز به فاز دیگر به صورت جمله چشمه در معادله انتقال ظاهر می شود. روشهای مذکور دارای این مزیت هستند که می توانند وابستگی زمانی پدیده انتقال جرم را از طریق قوانین تجربی حاکم بر جمله چشمه در نظر بگیرند. با این حال انتخاب ثابت ها در روابط تجربی تا حدودی دلخواه به نظر می رسد. بسیاری از پرتابه های هوایی و دریایی برای پیمودن مسیرهای طولانی از سیستم محرکه رمجت استفاده می کنند. رمجت از جریان عبوری استفاده کرده و نیروی جلوبرندگی قابل توجهی تولید می کند. بدین منظور در پرتابه های زیر سطحی تزریق آب پایدار جزو نکات مهمی می باشد که ما را به سمت مطالعه کاویتاتور سوراخدار هدایت می کند. تزریق آب بستگی به فشار محفظه رمجت و اندازه لوله تزریق دارد. این فرایند علاوه بر نیروی وارد شده بر کاویتاتور اندازه کاویتی را نیز تحت تاثیر قرار می دهد.

محققین زیادی مانند زائور² [2] در سال 2000 و یوان³ [3] در سال 2003 از این روش جهت شبیه سازی کاویتاسیون استفاده نمودند. سینگهال⁴ [4] در سال 2002 و زاوارت⁵ و همکارانش [5] در سال 2005 پارامترهای تجربی را برای تولید و نابودی حبابها به کار بردند.

مرکل⁶ و همکارانش در سال 1998 روشی فشار مینا با جملات چشمه تبخیر و چگالش برای محاسبه انتقال جرم بین دو فاز توسعه دادند. مولفه های مربوط به بخار و مایع با بکارگیری معادله پیوستگی برای بخار، مایع و یا مخلوط یا از طریق استفاده از معادله انتقال

2 Sauer
3 Yuan
4 Singhal
5 Zwart
6 Merkle

کسر حجمی یا جرمی بخار و یا مایع، محاسبه می شوند. ترمهای چشمه موجود در این معادلات دارای قابلیت مدل‌سازس پدیده کاویتاسیون و در نظر گرفتن وابستگی زمانی در پدیده انتقال جرم می باشند. در روش مرکب جملات تبخیر و چگالش به صورت تابعی خطی از فشار در نظر گرفته می شوند. روش مرکب به شکل های مختلف و به همراه معادلات ناویر استوکس توسط محققین مختلفی مانند کانز⁷ [6] در سال 2003 و هوسانگادی⁸ و اهوچا⁹ [7] در سال 2006 و سایتو¹⁰ [8] در سال 2007 و ژو¹¹ و وانگ¹² [9] در سال 2008 جهت شبیه سازی کاویتاسیون مورد استفاده قرار گرفته است.

در سالهای اخیر استفاده از نرم افزارهای تجاری نیز در شبیه سازی عددی کاویتاسیون طبیعی و مصنوعی رایج شده است. از آن جمله می توان به کارهای لی پینگ¹³ و همکارانش [10] در سال 2006 اشاره نمود که به کمک نرم افزار فلوئنت¹⁴ کاویتاسیون همراه با دمش گاز را حول اجسام زیر سطحی به صورت عددی شبیه سازی کرده و شکل کابیتی و میزان پسا را مورد مطالعه قرار دادند. چن¹⁵ و همکارانش [11] نیز در سال 2008 به کمک همین نرم افزار جریان دائمی همراه با کاویتاسیون گازدهی شده پشت کاویتاتور دیسکی را در تونل های آب با قطرهای مختلف شبیه سازی نمودند. نتایج نشان دادند که برای یک مقدار دمش گاز مشخص کاهش قطر تونل منجر به افزایش طول کابیتی و ضریب پسا می گردد. جینگ-جون¹⁶ و همکاران [12] در سال 2010 از طریق شبیه سازی سه بعدی به کمک نرم افزار فلوئنت مقایسه ای بین نتایج سوپرکابیتی هوادهی شده در تونل آب و جریان آزاد نمودند. از جمله نتایج آنها می توان به کاهش بیشترین قطر کابیتی با کاهش قطر تونل آب اشاره نمود. بین¹⁷ و همکارانش [13] در سال 2010 به کمک نرم افزار تجاری CFX سوپر کاویتاسیون طبیعی و مصنوعی را پشت اجسام متقارن محوری با استفاده از یک مدل سه مولفه ای بر پایه معادله انتقال جرم شبیه سازی نمودند.

در زمینه بررسی کاویتاتور سوراخدار کار اندکی انجام شده است که از این بین می توان به کار لین¹⁸ و همکاران در سال 2012 اشاره کرد، آنها با استفاده از کد تجاری ANSYS CFX به بررسی پارامترهای مختلف تزریق آب در یک کاویتاتور سوراخدار تحت کاویتاسیون گسترده طبیعی پرداختند [14].

در این مقاله نیز تاثیر گذر جریان از سوراخ کاویتاتور بر پارامترهای متنوع جریان با کاویتاسیون جزئی با استفاده از نرم افزار فلوئنت به طور کامل بررسی شده است.

-
- 7 Kunz
 - 8 Hosangadi
 - 9 Ahuja
 - 10 Saito
 - 11 Zhou
 - 12 Wang
 - 13 Li ping
 - 14 Fluent
 - 15 Chen
 - 16 Jing jun
 - 17 Bin
 - 18 Lin

2- معادلات و روابط ریاضی

یکی از روش‌های حل عددی معادلات ناویر-استوکس برای جریان‌های شامل کاویتاسیون روش جریان تعادلی همگن می‌باشد. در این روش از یک سیال همگن برای دو فاز استفاده شده و پس از حل مجموعه‌ای از معادلات برای این دو فاز رابطه‌ای جهت محاسبه‌ی میدان چگالی متغیر آن‌ها ارائه می‌گردد. یک روش متداول جهت بدست آوردن این میدان چگالی، حل یک معادله‌ی انتقال برای نسبت حجمی مایع (بخار) همراه با جمله‌ی چشمه برای مدل‌سازی انتقال جرم می‌باشد. در این روش چگالی مخلوط به کمک نسبت حجمی یا جرمی هر فاز محاسبه می‌گردد. از جمله مواردی که توجه به آن در این روش ضروری می‌باشد عبارتند از: (1) انتخاب مدل مناسب انتقال جرم بین دو فاز که به صورت جمله‌ی چشمه در معادله‌ی انتقال ظاهر می‌شود. (2) انتخاب روش عددی حل معادله‌ی انتقال.

دو روش کلی برای حل معادله‌ی انتقال¹⁹ نسبت حجمی وجود دارد که عبارتند از:

(1) حل معادله انتقال فاز به همراه معادلات جریان و با روش عددی مشابه که به اختصار آن را روش مخلوط²⁰ می‌نامند.

(2) حل معادله انتقال با استفاده از تکنیک‌های خاص ردیابی سطح مشترک مانند روش نسبت حجمی سیال.

روشهای بالا هم برای کاویتاسیون طبیعی و هم کاویتاسیون هوادهی شده قابل استفاده می‌باشند.

در این مقاله از روش مخلوط استفاده شده است. در این روش از مدل جریان تعادلی همگن که در آن دو فاز به صورت یک سیال همگن در نظر گرفته می‌شوند استفاده می‌شود؛ بنابراین یک مجموعه از معادلات برای هر دو فاز حل می‌شود. معادله بقای جرم برای مخلوط عبارتست از:

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot (\rho_m \bar{U}_m) = 0 \quad (1)$$

که U_m بردار سرعت متوسط سیال است و ρ_m چگالی مخلوط که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\rho_m = \alpha_v \rho_v + \alpha_g \rho_g + (1 - \alpha_v - \alpha_g) \rho_l \quad (2)$$

در این رابطه α_v کسر حجمی فاز بخار، α_g کسر حجمی گازهای غیرقابل چگالش، ρ_v چگالی بخار، ρ_g چگالی گازهای غیرقابل چگالش و ρ_l چگالی مایع هستند.

معادله مومنتم برای مخلوط از جمع مومنتم هر یک از فازها بدست می‌آید و به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial (\rho_m \bar{U}_m)}{\partial t} + \rho_m (\bar{U}_m \cdot \bar{\nabla}) \bar{U}_m = -\bar{\nabla} (p_m) + \bar{\nabla} \cdot (\bar{\tau} + \bar{\tau}_t) + \bar{g} + \bar{f} \quad (3)$$

که p_m بیانگر فشار، g بیانگر شتاب جاذبه، f نیروی حجمی و τ تانسور تنش می‌باشد. تانسور تنش براساس تانسور نرخ کرنش z با سرعت ارتباط پیدا می‌کند.

برای شبیه‌سازی کاویتاسیون به همراه معادلات فوق، یک معادله انتقال برای فاز بخار یا مایع نیز حل می‌شود. در کاویتاسیون طبیعی انتقال جرم بین فاز بخار و مایع نیز بوسیله ترمهای چشمه در این معادله در نظر گرفته می‌شوند. یکی از معروف‌ترین و دقیق‌ترین مدلها که در نرم افزار تجاری فلوئنت نیز موجود است مدل اصلاح شده ریلی است که توسط سینگهال [4] توسعه یافته است. در این مدل از

معادله اصلاح شده ریلی²¹ برای شبیه سازی دینامیک حباب‌ها استفاده شده است. معادله ریلی با اعمال قید محدودیت رشد شعاع حباب‌ها اصلاح شده است. این مدل تمامی عوامل مرتبه اول تاثیرگذار بر کاویتاسیون مانند دینامیک حباب‌ها، پدیده تغییر فاز و نوسانات فشار توربولانسی را لحاظ می‌کند. در این مدل، معادله نسبت جرمی بخار (αv) حل می‌شود:

$$\frac{\partial(\rho_v \alpha_v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_v \alpha_v \bar{U}_m) = \dot{m}^+ - \dot{m}^- \quad (4)$$

$$\dot{m}^+ = C_{prod} \frac{\max(1.0, \sqrt{k})(1 - \alpha_v - \alpha_g)}{\gamma} \rho_l \rho_v \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p_v - p}{\rho_l}} \quad \text{if } p \leq p_v$$

$$\dot{m}^- = C_{dest} \frac{\max(1.0, \sqrt{k})\alpha_v}{\gamma} \rho_l \rho_l \sqrt{\frac{2}{3} \frac{p - p_v}{\rho_l}} \quad \text{if } p \geq p_v$$

$$C_{prod} = 0.02, \quad C_{dest} = 0.01 \quad (5)$$

در این رابطه k انرژی جنبشی توربولانس، γ کشش سطحی، p_v فشار جزئی بخار و ضرایب C_{prod} و C_{dest} ثابت‌های عددی می‌باشند. ضرایب ثابت معادله که برای یکسان سازی ابعادی طرفین معادله انتخاب شده‌اند براساس مدل‌سازی جریان روی هندسه‌های مختلف به دست آمده‌اند و لذا این مدل قابلیت استفاده برای هندسه‌های مختلف را دارد.

در ادامه از مدل توربولانسی standard k- ϵ به منظور بستن مجموعه معادلات استفاده شده است:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho_m k) + \nabla \cdot (\rho_m vk) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + G_k - \rho_m \epsilon \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho_m \epsilon) + \nabla \cdot (\rho_m v\epsilon) &= \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \nabla \epsilon \right] \\ &+ \frac{\epsilon}{k} (C_{1\epsilon} G_k - C_{2\epsilon} \rho_m \epsilon) \end{aligned} \quad (7)$$

که در آن:

$$\mu_t = \rho C_\mu k^2 / \epsilon \quad \text{ویسکوزیته توربولانس}$$

$$G_k = 2\dot{\mu}_t \nabla v \quad \text{انرژی جنبشی توربولانس}$$

$$\sigma_k, \sigma_\epsilon \quad \text{به ترتیب اعداد پراکتل k و } \epsilon$$

می‌باشند.

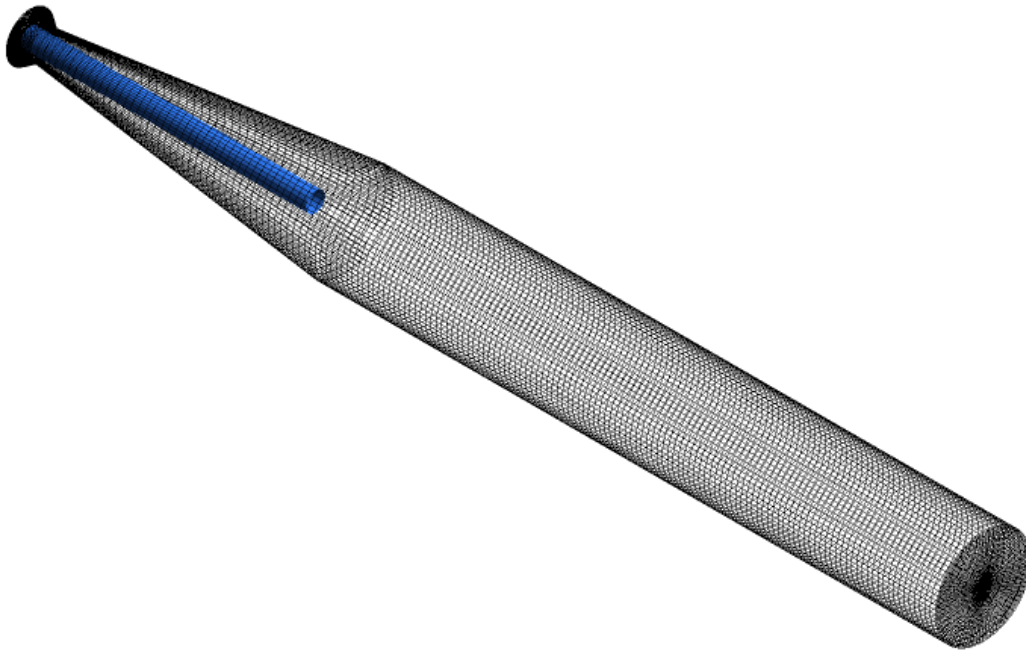
3- هندسه و شرایط مرزی مسئله:

پرتابه مورد بررسی به همراه ابعاد آن در شکل (1) نشان داده شده است. هندسه مورد بررسی شامل یک بخش استوانه ای به همراه یک مخروط ناقص و همچنین کاویتاتور دیسکی می باشد. اعداد شکل بر حسب میلی متر قرار داده شده اند



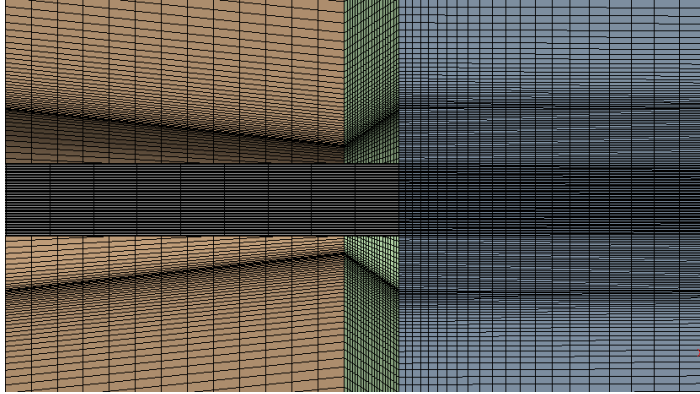
شکل (1) هندسه مورد بررسی (واحد میلی متر)

به منظور بررسی کاویتاتور سوراخدار لوله ای با ابعاد متغیر در مرکز کاویتاتور نصب می شود که به صورت سه بعدی در شکل (2) نشان داده شده است. ابعاد این لوله به همراه تغییرات اعمال شده در حالت های مختلف در جدول (1) آورده شده اند.



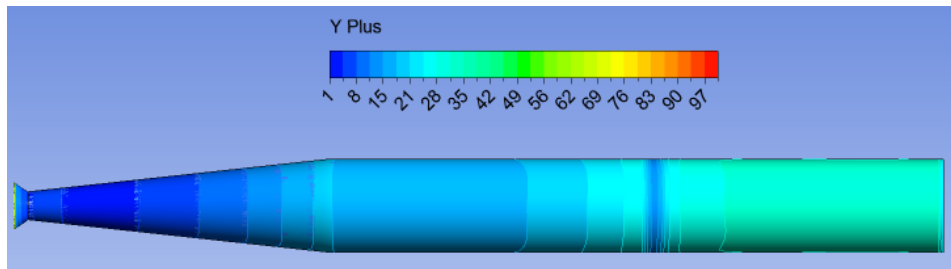
شکل (2) هندسه سه بعدی به همراه لوله

به منظور بررسی دقیق پدیده کاویتاسیون شبکه بندی کاملا منظم که در حدود 1300000 سلول دارا می باشد اطراف جسم در نظر گرفته شد. شکل (3) بخشی از شبکه بندی را در اطراف کاویتاتور نمایش می دهد.



شکل (3) شبکه ایجاد شده اطراف کاویتاتور

با توجه به شکل بالا ملاحظه می گردد، شبکه بکار رفته در نزدیکی سطح جسم به علت وجود گرادیان های شدید در خواص سیال (سرعت، فشار، دانسیته و) ریزتر از سایر قسمت های دیگر در نظر گرفته شده به گونه ای که مقدار فاصله بدون بعد از دیوار $+y$ در گستره مدل توربولانسی انتخاب شده قرار گیرد. در شکل (4) مشاهده می شود که مقدار $+y$ بر روی سطح جسم کمتر از 100 می باشد.



شکل (4) کانتور $+y$ بر روی سطح پرتابه

از شرط سرعت²² برای ناحیه ورودی و از شرط فشار²³ برای قسمت انتهایی حوزه حل استفاده شده است. در بخش خارجی دامنه حل جهت لحاظ کردن اثرات دیواره (مشابه آنچه در تونل آب وجود دارد) شرط مرزی دیوار در نظر گرفته شد. بدنه اژدر، ناحیه مخروطی و کاویتاتور نیز دارای شرط مرزی دیوار می باشند.

سیال آب با سرعت 55 متر بر ثانیه از ناحیه ورودی وارد و از انتهای حوزه خارج می شود. فشار کاری محیط برابر با 101 کیلو پاسکال انتخاب شده است و برای ناحیه انتهایی لوله متصل به کاویتاتور فشار خروجی برابر با 300 کیلو پاسکال در نظر گرفته شده است.

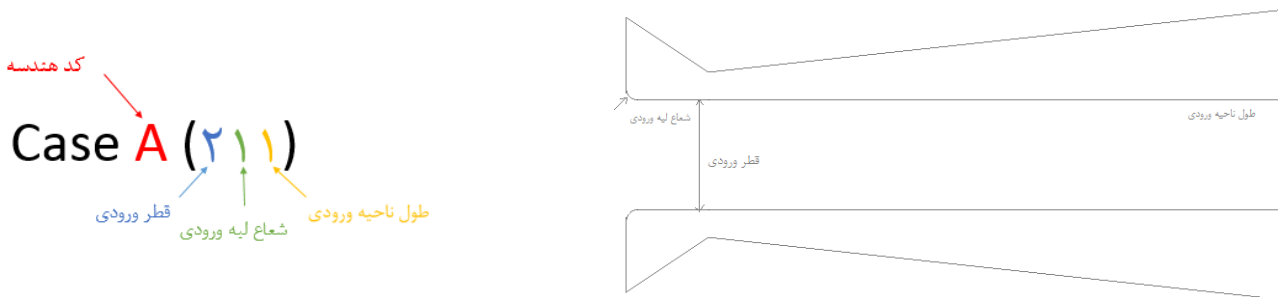
4- نتایج

در ادامه تعدادی از نتایج انتخابی این کار تحقیقاتی در دو بخش مورد بحث و بررسی قرار گرفته اند.

22 Velocity inlet
23 Pressure outlet

بخش اول به بررسی صحت نتایج و مقایسه آنها با داده های تجربی می پردازد و بخش دوم نیز به بررسی اثر قطر، انحنا ورودی و طول لوله بر پارامترهای مختلف جریان اختصاص یافته است.

به منظور مقایسه بهتر نتایج از الگوی زیر برای ارجاع دهی به نمونه های مختلف استفاده شده است. در این مقاله از 7 هندسه مختلف به منظور مقایسه نتایج بهره گرفته شده که به ترتیب با حروف A تا Z مشخص شده اند، به گونه ای که حالت Z (Zeros) مربوط به نمونه اصلی و بدون سوراخ می باشد. در ادامه حرف هر یک از نمونه ها یک کد سه رقمی قرار می گیرد که عدد اول مربوط به قطر ورودی، دومی مربوط به شعاع لبه ورودی و سومی مربوط به طول ناحیه ورودی می باشد. مقادیر در نظر گرفته شده برای هر کدام از این سه حالت در جدول (1) آورده شده اند. با توجه به توضیحات بالا نوع ارجاع دهی در مثال زیر آورده شده است:



تمامی ابعاد ذکر شده در جدول بر اساس قطر کاویتاتور بدون بعد شده اند:

جدول (1) اندازه های در نظر گرفته شده برای تغییرات هندسی (بدون بعد)

مشخصه / نوع تغییرات	1	2	3
قطر ورودی	0.2	0.4	0.6
شعاع لبه ورودی	0	0.04	0.08
طول ناحیه ورودی	6	12	-

با توجه به ابعاد در نظر گرفته شده در جدول (1) 7 نمونه ی مختلف به منظور بررسی کاویتاتور سوراخدار در نظر گرفته شده اند مشخصه های مربوط به نوع تغییرات آنها در جدول (2) آورده شده اند.

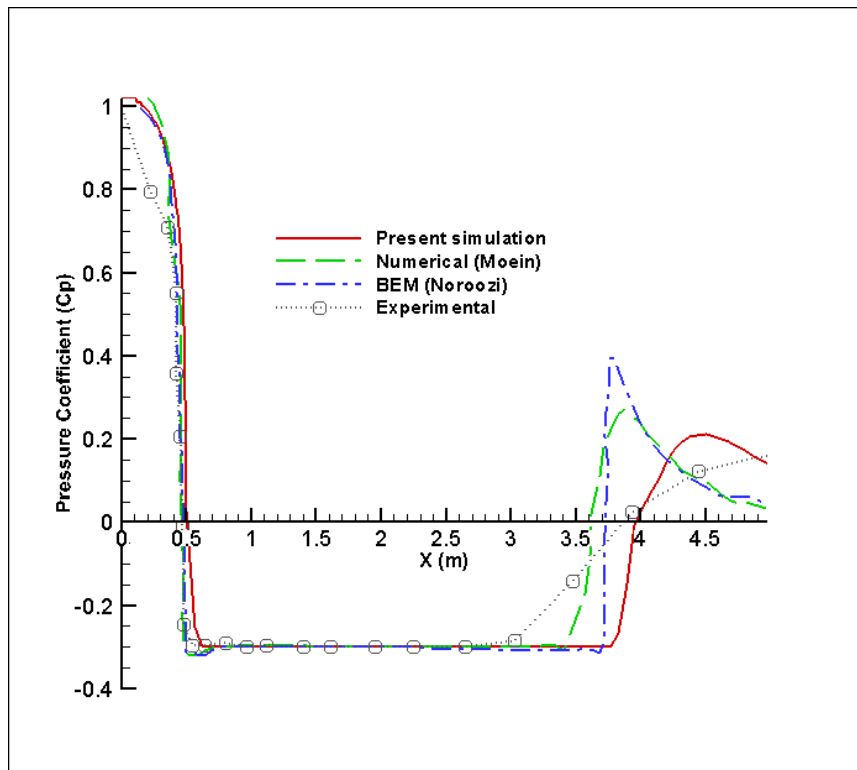
جدول (2) جزئیات در نظر گرفته شده برای هندسه های متفاوت

نوع تغییرات / هندسه	مشخصه قطر ورودی	مشخصه شعاع لبه ورودی	مشخصه طول ناحیه ورودی
Case A	2	1	1
Case B	2	2	1
Case C	2	3	1

Case D	1	1	1
Case E	3	1	1
Case F	2	1	2

بخش اول: اعتبار سنجی

در شکل (5) تغییرات ضریب فشار کاویتاسیون جزئی تشکیل شده روی بدنه استوانه سر تخت حاصل از حل معادله انتقال به روش مخلوط (تحقیق حاضر) با نتایج تجربی روس [15]^{۲۴} و همچنین نتایج عددی معین [16] که معادله انتقال را به روش نسبت حجمی سیال حل کرده و نتایج نوروزی [17] که از روش المان مرزی^{۲۵} برای شبیه سازی کاویتاسیون استفاده کرده به منظور مقایسه بهتر نشان داده شده اند. عدد کاویتاسیون در این بخش مقدار 0.3 در نظر گرفته شده است.



شکل (5) تغییر ضریب فشار بر روی بدنه پرتابه و مقایسه آن با نتایج تجربی و عددی

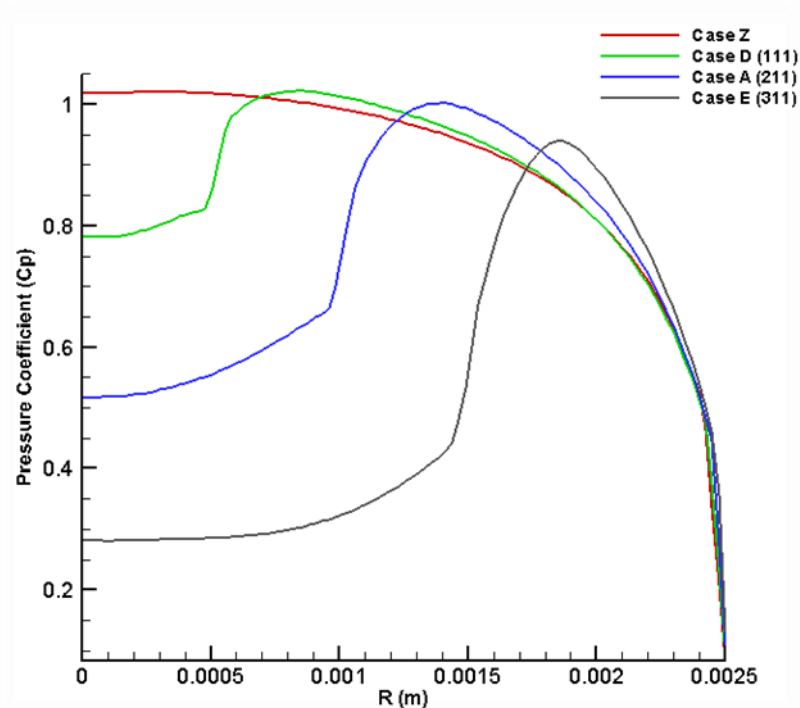
در این پرتابه مرکز کاویتاتور نقطه سکون است پس ماکزیمم فشار را داشته و دارای ضریب فشار یک می باشد. با دور شدن از مرکز و نزدیک شدن به لبه کاویتاتور فشار کاهش می یابد. از لبه کاویتاتور به بعد و در روی کاویته فشار کمترین و برابر فشار لبه کاویتاتور می باشد و در نهایت در نقطه بسته شدن کاویته نوسانات فشار مشاهده می شوند، مشاهده می شود که حل سه بعدی حاضر نتایج دقیقتری نسبت به سایر حل ها ارائه می دهد.

بخش دوم: در این بخش اثر تغییر در قطر، انحنا و طول لوله ورودی بر پارامترهای جریان بررسی می شود. در تمام موارد عدد کاویتاسیون برابر با 0.065 در نظر گرفته شده است.

الف) بررسی اثر تغییر در قطر لوله بر طول و قطر بدون بعد کاویتا و همچنین تغییرات نیرو و ضریب فشار بر روی کاویتاتور با توجه به جدول (3) مشاهده می شود با افزایش قطر لوله، طول و قطر کاویتا کاهش پیدا می کند به گونه که با 3 برابر کردن قطر لوله در حالت E نسبت به D طول و قطر کاویتا به ترتیب به اندازه 32.8٪ و 28٪ کمتر شده است که مقدار قابل توجهی می باشد، همچنین مشاهده می شود که طول و قطر کاویتا در حالات مختلف کاویتاتور سوراخ دار همواره کمتر از حالت بدون سوراخ است. مقایسه ضریب فشار نیز بر روی کاویتاتور در شکل (6) برای چهار حالت ذکر شده در جدول (3) آورده شده است که مشاهده می شود مقدار حداکثر فشار ($C_p = 1$) با افزایش قطر به سمت لبه کاویتاتور میل می کند و متعاقباً فشار در مرکز کاویتاتور کاهش می یابد.

جدول (3) طول و قطر کاویتا و نیروی وارد بر کاویتاتور به ازای تغییر در قطر لوله ورودی

	Case Z	Case D (111)	Case A (211)	Case E (311)
حداکثر طول بدون بعد کاویتا	13.8	13.4	12	9
حداکثر قطر بدون بعد کاویتا	3.52	3.44	3.28	2.48
نیروی وارد بر کاویتاتور (N)	13.15	13.5	14.9	18.06



شکل (6) تغییرات ضریب فشار بر روی کاویتاتور برای قطرهای مختلف لوله

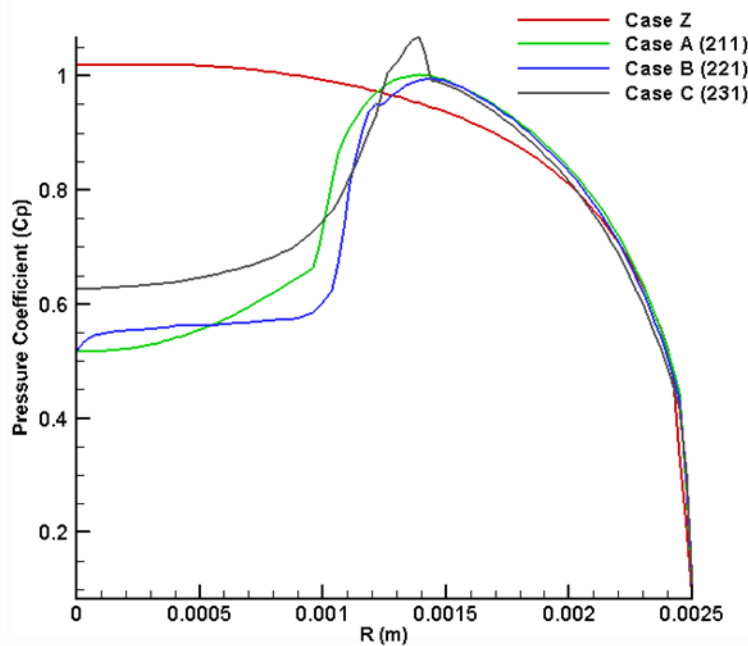
ب) بررسی اثر تغییر در انحنا ناحیه ورودی بر حداکثر طول و قطر بدون بعد کاویته و همچنین تغییرات ضریب فشار بر روی کاویتاتور

ناحیه ورودی لوله در کاویتاتور سوراخدار به علت وجود گرادیان های شدید دارای اهمیت بسیار زیادی است به گونه ای که اندکی تغییرات در این ناحیه می تواند تاثیرات قابل توجهی داشته باشد. جدول (4) نتایج مربوط به تغییر در انحنا ورودی را برای 3 حالت مختلف نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود انحنا در ناحیه ورودی لوله تاثیر چندانی بر روی طول، قطر کاویته و نیروی وارد بر کاویتاتور نداشته است.

جدول (4) طول و قطر کاویته و نیروی وارد بر کاویتاتور به ازای تغییر در ناحیه ورودی لوله

	Case Z	Case A (211)	Case B (221)	Case C (231)
حداکثر طول بدون بعد کاویته	13.8	12	11.8	11.8
حداکثر قطر بدون بعد کاویته	3.52	3.28	3.2	3.2
نیروی وارد بر کاویتاتور (N)	13.15	14.9	14.9	14.9

نمودار ضریب فشار بر روی کاویتاتور هم برای نمونه های بالا در شکل (7) رسم شده است که نشان دهنده توزیع یکنواخت تر نیرو در حالت C می باشد.



شکل (7) تغییرات ضریب فشار بر روی کاویتاتور به ازای انحنا ورودی مختلف

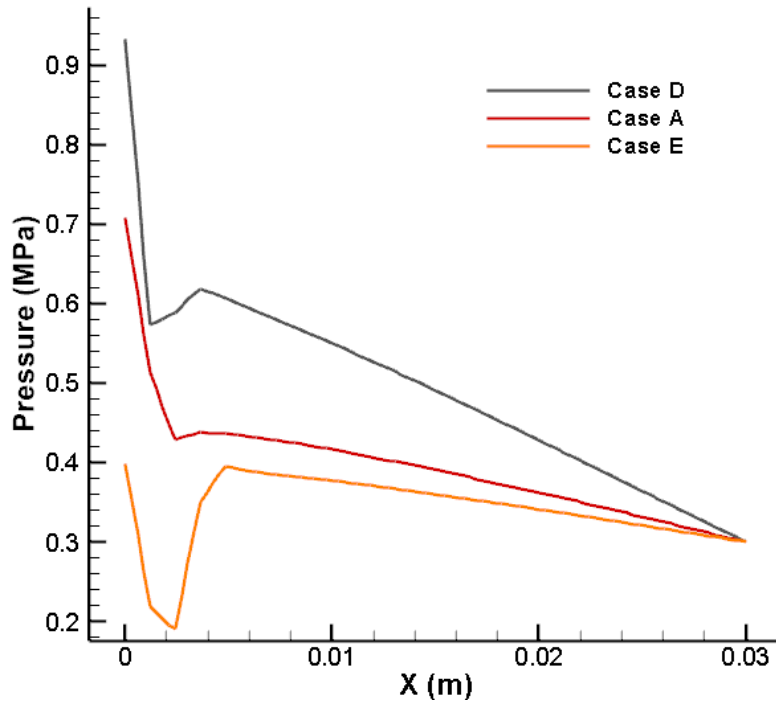
پ) بررسی اثر تغییر در طول ناحیه ورودی بر حداکثر طول و قطر بدون بعد کاویته و همچنین نیروی وارد بر کاویتاتور با توجه به جدول (5) دریافت می شود که تغییر در طول ناحیه ورودی تاثیر اندکی بر نیروی وارد بر کاویتاتور دارد، همچنین در طول و قطر کاویته هم تغییر چندانی دیده نمی شود بنابراین با توجه به اینکه افزایش طول لوله موجب افزایش نیروی اصطکاکی وارد بر بدنه لوله می شود هندسه A که طول لوله کمتری دارد گزینه بهتری به حساب می آید.

جدول (5) طول و قطر کاویته و نیروی وارد بر کاویتاتور به ازای تغییر در طول لوله

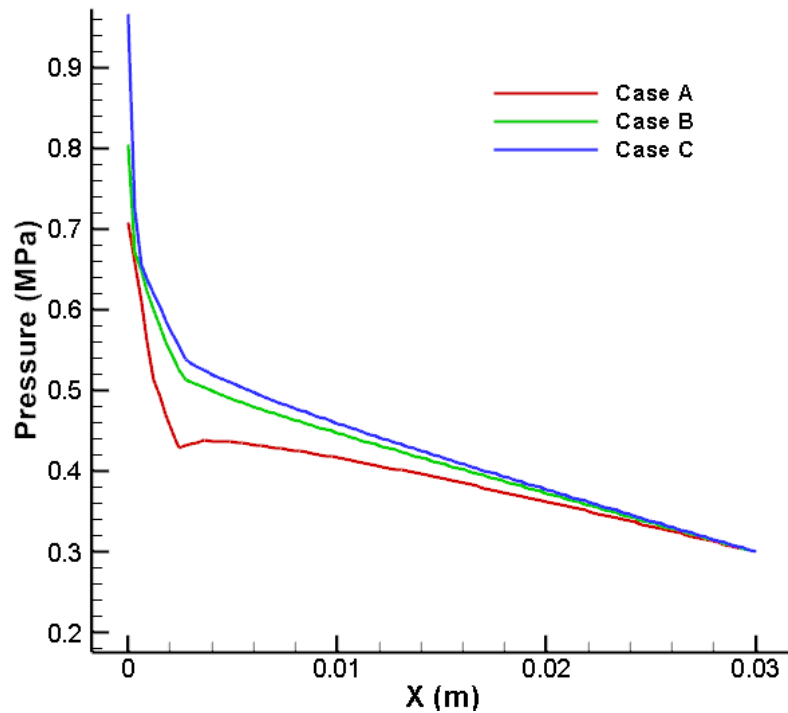
	Case Z	Case A (211)	Case F (212)
حداکثر طول بدون بعد کاویته	13.8	12	12
حداکثر قطر بدون بعد کاویته	3.52	3.28	3.24
نیروی وارد بر کاویتاتور (N)	13.15	14.9	14.77

ج) بررسی افت فشار داخل لوله

به دلیل وجود انقباض ناگهانی در ناحیه ورودی و اصطکاک داخل لوله، فشار داخل دچار افت شدیدی می شود. در شکل (8) افت فشار داخل لوله به ازای تغییر در قطر ناحیه ورودی نشان داده شده است. با توجه به این شکل نوسانات فشار در ناحیه داخلی لوله بسیار زیاد می باشد که این نوسانات را می توان با ایجاد انحنا در لبه ورودی به گونه ای که در شکل (9) نشان داده شده است کاهش داد. همچنین هرچه قطر سوراخ کوچکتر باشد افت فشار نیز شدیدتر است.



شکل (8) افت فشار داخل لوله به ازای سه قطر مختلف



شکل (9) افت فشار داخل لوله به ازای تغییر در انحنا ورودی

5- مراجع

1. Savchenko Y N. Supercavitating object propulsion[Z]. France: 2002.
2. Sauer, J., and G. H. Schnerr. "Unsteady cavitating flow—a new cavitation model based on a modified front capturing method and bubble dynamics." Proceedings of 2000 ASME Fluid Engineering Summer Conference. 2000.
3. Yuan, Weixing, and Günter H. Schnerr. "Numerical simulation of two-phase flow in injection nozzles: Interaction of cavitation and external jet formation." Journal of Fluids Engineering 125.6 (2003): 963-969.
4. Singhal, A. K., et al. (2002). "Mathematical Basis and Validation of the Full Cavitation Model." Journal of Fluids Engineering 124(3): 617.
5. Zwart, P. J. "Numerical modelling of free surface flows and cavitating flows Industrial CFD applications of free surface and cavitating flows." LECTURE SERIES-VON KARMAN INSTITUTE FOR FLUID DYNAMICS 4 (2005): 8.
6. Kunz, Robert F., et al. "Unsteady RANS and detached eddy simulations of cavitating flow over a hydrofoil." Fifth international symposium on cavitation. 2003.
7. Hosangadi, Ashvin, and Vineet Ahuja. "Numerical study of cavitation in cryogenic fluids." Journal of Fluids Engineering 127.2 (2005): 267-281.
8. Saito, Yoshinori, et al. "Numerical analysis of unsteady behavior of cloud cavitation around a NACA0015 foil." Computational Mechanics 40.1 (2007): 85-96.
9. Zhou, Lingjiu, and Zhengwei Wang. "Numerical Simulation of Cavitation Around a Hydrofoil and Evaluation of a RNG κ - ϵ Model." Journal of Fluids Engineering 130.1 (2008): 011302.
10. Jia, L.-p., et al. (2006). "Numerical simulation of artificial ventilated cavity*." Journal of Hydrodynamics, Ser. B 18(3): 273-279.
11. Chen, X., et al. (2008). "The Wall Effect on Ventilating Cavitating Flows in Closed Cavitation Tunnels." Journal of Hydrodynamics, Ser. B 20(5): 561-566.
12. Zhou, J.-j., et al. (2010). "The comparative study of ventilated super cavity shape in water tunnel and infinite flow field." Journal of Hydrodynamics, Ser. B 22(5): 689-696.
13. Ji, B., et al. (2010). "A Three-Component Model Suitable for Natural and Ventilating Cavitation." Chinese Physics Letters 27(9): 096401.
14. M.D., Xiang M., Zhang S., Yang X.X., "Hydrodynamic influence of water injection on ringed cavitator." , in proceeding of 8th international symposium on cavitation, CAV2012, The Singapore.
15. Rouse, H. and McNown, J. S., 1948, "Cavitation and Pressure Distribution, Head Forms at Zero Angle of Yaw," Studies in Engineering Bulletin 32, State University of Iowa.
16. H. Moin, I. Rashidi, Mohammad P. Fard, Mahmoud P. Fard and E. Roohi, "Modeling Cavitation over Axisymmetric Bodies: VOF technique versus Boundary Element Method", In proceeding of 16th Annual conference of CFD Canada, Saskatoon, Canada, 9-11 June 2008.
17. Pasandidehfard M., Noroozi M., Rashidi I., 2009. "Numerical Simulation Of Partial Cavitation Over Axisymmetric Bodies Using The Boundary Element Method Based On Potential", Ankara International Aerospace Conference, Turkey, Ankara, AIAC-2009-037.



شماره: AHC94/---

تاریخ: 1394/12/05

پیوست:

5 اسفند 1394

دانشگاه علم و صنعت ایران

بسته

گواهی ارائه مقاله

بدین وسیله گواهی می شود آقایان محمود پسنیده فرد و محمد خضاری در سومین همایش ملی هیدرودینامیک کاربردی ایران که در تاریخ 5 اسفند ماه 1394 در

دانشگاه علم و صنعت ایران برگزار گردیده است شرکت داشته اند و مقاله زیر را ارائه نموده اند:

خواص هیدرودینامیکی کابیناتور سوراخدار به همراه تریلیت آب

بدین وسیله برگزارکنندگان همایش، مراتب قدردانی خود را اعلام داشته و توفیق روز افزون ایشان را از ایندستان مستمت می نمایند.

دیرسومین همایش هیدرودینامیک کاربردی

دانشگاه علم و صنعت ایران

نوروز محمد نوری

دانشگاه علم و صنعت ایران
همایش ملی هیدرودینامیک کاربردی

سومین همایش ملی هیدرودینامیک کاربردی ایران

5 اسفندماه 1394، دانشگاه علم و صنعت ایران