

الحمد لله الذي
خلقنا من
الحمم



دانشکده مهندسی مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی

طراحی و شبیه سازی عددی شیر آنتی

کاویتاسیون گلوب

نگارنده: داود حبیب نژاد

استاد راهنما

دکتر پوریا اکبرزاده

استاد مشاور

مهندس علی صلواتی پور

شهریور ۱۴۰۰

تقدیم اثر

ماحصل آموخته‌هایم را تقدیم می‌کنم به آنان که مهر آسمانی‌شان آرام‌بخش آلام زمینی‌ام است.

به استوارترین تکیه‌گاهم، دستان پر مهر پدرم

به سبزترین نگاه زندگیم، چشمان سبز مادرم

تشکر و قدردانی

سپاس خدای بزرگ را که مرا یاری رساند تا بتوانم این مقطع تحصیلی را به پایان رسانده و گامی در راستای اعتلای علم بردارم. از استاد راهنمای گرانقدرم جناب آقای پوریا اکبرزاده که بدون شک انجام این پایان نامه بدون کمک و راهنمایی ارزنده ایشان امکان پذیر نبوده است تشکر می کنم. از جناب آقای علی صلواتی پور که استاد مشاور این پایان نامه بوده اند نیز قدردانی می نمایم. از شرکت میراب نیز کمال تشکر را دارم که با در اختیار گذاشتن اطلاعات مربوط به شیر گلوب، کمک شایانی در انجام این پروژه کردند. و در پایان از تمامی عزیزانی که در طول انجام این پروژه مرا یاری کرده اند، کمال تشکر و قدردانی را ابراز می نمایم.

تعمدنامه

اینجانب **داود حبیب‌نژاد** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی مکانیک-تبدیل انرژی** دانشکده مهندسی مکانیک و مکاترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **طراحی و شبیه‌سازی عددی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب تحت راهنمایی جناب آقای دکتر پوریا اکبرزاده** متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود . استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

یکی از شیرهای کنترلی مهم در صنعت شیر گلوب^۱ می‌باشد. این شیر در اندازه‌های مختلف و برای کاربردهای مختلف ساخته می‌شود. یکی از پدیده‌های مخرب که در این شیر رخ می‌دهد، پدیده کاویتاسیون^۲ می‌باشد. کاویتاسیون باعث ایجاد لرزش، سروصدا و خوردگی درون شیر و در نتیجه کاهش محسوس عمر کاری شیر می‌شود. به همین دلیل راه‌هایی برای کنترل و جلوگیری از این پدیده درون شیرها پیشنهاد شده است. یکی از راه‌های موثر در کنترل کاویتاسیون نصب قفسه^۳ درون شیر می‌باشد. قفسه‌ها صفحات فلزی سوراخ‌دار یا شیاردار می‌باشند که به‌منظور کاهش کاویتاسیون درون شیر نصب می‌شوند. عوامل زیادی بر عملکرد این قفسه‌ها موثر می‌باشند همچون: شکل منافذ، قطر و ابعاد منافذ، آرایش منافذ و همین‌طور ضخامت قفسه. به همین دلیل مقالات و پژوهش‌های متعددی به بررسی عوامل ذکر شده پرداخته‌اند. در این تحقیق نیز تاثیر زاویه‌دار کردن منافذ استوانه‌ای شکل مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نتیجه قفسه‌ها با سوراخ‌های شعاعی، سوراخ‌های مایل به سمت کف و سوراخ‌های مایل به سمت بالا طراحی شده و سپس شبیه‌سازی‌های عددی برای بررسی عملکرد آنها انجام می‌شود. با بررسی عواملی همچون بردارهای سرعت، ضریب کاویتاسیون و همین‌طور بررسی شدت و محل رخ دادن کاویتاسیون، بهترین مدل انتخاب می‌شود. با آنالیز پارامترهای ذکر شده مشاهده شد که قفسه با منافذ مایل به سمت کف عملکرد مناسب‌تری در کاهش و کنترل کاویتاسیون از خود نشان می‌دهد. در واقع اجزای داخلی شیر در این مدل نسبت به دو مدل دیگر از آسیب‌های ناشی از کاویتاسیون بیشتر در امان خواهد بود.

کلمات کلیدی: شیر گلوب، کاویتاسیون، قفسه، شبیه‌سازی عددی، ضریب کاویتاسیون

^۱ Globe Valve

^۲ Cavitation

^۳ Cage

فهرست مطالب

ه	فهرست جداول
ز	فهرست اشکال
ک	فهرست علائم
۱	فصل ۱ مقدمه
۲	۱-۱ مقدمه
۲	۲-۱ تاریخچه پیشرفت شیرها
۳	۳-۱ شیرهای کنترل
۳	۴-۱ اجزای تشکیل دهنده شیرهای کنترل
۳	۱-۴-۱ بدنه شیر
۴	۱-۴-۲ کلاهک یا درپوش شیر
۴	۱-۴-۳ تریم
۵	۱-۴-۴ مجرا بند
۵	۱-۴-۵ نشیمنگاه
۵	۱-۴-۶ ساقه
۶	۱-۴-۷ طناب آب بند
۶	۱-۴-۸ یوک
۷	۱-۴-۹ محرک یا فعال کننده
۷	۵-۱ معرفی شیر گلوب
۸	۶-۱ انواع شیر گلوب
۱۰	۷-۱ مزایا و معایب شیر گلوب

۸-۱ معرفی پدیده کاویتاسیون	۱۰
۱-۸-۱ کاویتاسیون متصل	۱۱
۲-۸-۱ کاویتاسیون با حباب‌های انتقالی	۱۱
۳-۸-۱ کاویتاسیون ابری شکل	۱۱
۴-۸-۱ کاویتاسیون گردابه‌ای	۱۲
۹-۱ اثرات وقوع کاویتاسیون	۱۲
۱۰-۱ ضریب کاویتاسیون	۱۳
۱۱-۱ مروری بر فصل‌های پایان‌نامه	۱۴
فصل ۲ مروری بر تحقیقات انجام شده	۱۵
۱-۲ مقدمه	۱۶
۲-۲ بررسی عوامل موثر بر وقوع پدیده کاویتاسیون در شیرهای کنترلی	۱۶
۱-۲-۲ شیر پروانه‌ای	۱۶
۲-۲-۲ شیر اطمینان	۱۸
۳-۲-۲ شیر سوپاپی	۱۹
۳-۲ بررسی نقش قفسه بر میزان و محل وقوع کاویتاسیون در شیر صنعتی گلوب	۲۰
۴-۲ ضرورت انجام تحقیق	۲۵
۵-۲ نوآوری تحقیق	۲۶
فصل ۳ معادلات حاکم	۲۷
۱-۳ معادلات حاکم	۲۸
۲-۳ معادله پیوستگی جرم	۲۸
۳-۳ معادله ممنتوم	۲۹
۴-۳ معادله‌ی کاویتاسیون	۲۹

۳-۵ معرفی مدل های توربولانسی	۳۰
۳-۵-۱ مدل $k - \epsilon$ Standard	۳۱
۳-۵-۲ مدل $k - \epsilon$ RNG	۳۲
۳-۵-۳ مدل $k - \omega$ BSL	۳۳

فصل ۴ مدل سازی و شبیه سازی تک فاز و دوفاز شیر گلوب ۳۵

۴-۱ ساده سازی شیر گلوب شرکت میراب	۳۶
۴-۲ شبکه بندی شیر گلوب شرکت میراب	۳۷
۴-۳ شبیه سازی تک فاز شیر گلوب	۳۹
۴-۳-۱ آنالیز استقلال حل از تعداد شبکه بندی	۳۹
۴-۳-۲ بررسی نتایج در حالت تکفازی برای شیر گلوب	۴۰
۴-۴ شبیه سازی دوفاز شیر گلوب	۴۳
۴-۴-۱ نتایج شبیه سازی دوفاز شیر گلوب	۴۳

فصل ۵ مدل سازی و شبیه سازی تک فاز و دوفاز شیر گلوب در حالت آنتی کاویتاسیون ۶۱

۵-۱ مقدمه	۶۲
۵-۲ مدل سازی و شبکه بندی شیر گلوب با قفسه های مختلف	۶۲
۵-۳ شبیه سازی تک فاز مدل های مختلف شیر آنتی کاویتاسیون	۶۵
۵-۳-۱ آنالیز استقلال حل از تعداد شبکه	۶۵
۵-۳-۲ نتایج حاصل از شبیه سازی تک فاز شیر آنتی کاویتاسیون گلوب مدل شعاعی (مدل ۱)	۶۶
۵-۳-۳ نتایج حاصل از شبیه سازی تک فاز شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل ۲۰ درجه به سمت پایین (مدل ۲)	۶۸
۵-۳-۴ نتایج حاصل از شبیه سازی تک فاز شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل ۲۰ درجه به سمت بالا (مدل ۳)	۷۰
۵-۴ شبیه سازی دوفاز شیر آنتی کاویتاسیون	۷۳

۵-۴-۱ نتایج حاصل از شبیه‌سازی دوفازی شیر آنتی‌کاویتاسیون مدل شعاعی (مدل ۱) ۷۳

۵-۴-۲ نتایج دوفازی شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت کف (مدل ۲) ۸۷

۵-۴-۳ نتایج شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب با منافذ مایل به سمت بالا (مدل ۳) ۱۰۰

۵-۵ مقایسه و نتیجه‌گیری ۱۱۳

۵-۶ پژوهش‌های آینده ۱۱۶

مراجع ۱

فهرست جداول

جدول ۱-۲: نتایج حاصل از شبیه‌سازی شیر پروانه‌ای	۱۸
جدول ۲-۲: ابعاد منافذ قفسه در مدل‌های مختلف	۲۴
جدول ۱-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت تک‌فازی	۴۱
جدول ۲-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۲۰٪	۴۳
جدول ۳-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۳۵٪	۴۴
جدول ۴-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۵۰٪	۴۴
جدول ۵-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۷۵٪	۴۴
جدول ۶-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۱۰۰٪	۴۴
جدول ۱-۵: نتایج شبیه‌سازی آنتی‌کاویتاسیون (مدل شعاعی)	۶۷
جدول ۲-۵: نتایج شبیه‌سازی تک‌فاز	۶۸
جدول ۳-۵: نتایج شبیه‌سازی تک‌فاز شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا	۷۰
جدول ۴-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در حالت دوفازی برای گشودگی ۲۰٪	۷۳
جدول ۵-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در حالت دوفازی برای گشودگی ۳۵٪	۷۴
جدول ۶-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در حالت دوفازی برای گشودگی ۵۰٪	۷۴
جدول ۷-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در حالت دوفازی برای گشودگی ۱۰۰٪	۷۴
جدول ۸-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۲۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)	۸۷
جدول ۹-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۳۵٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)	۸۷
جدول ۱۰-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۵۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)	۸۷
جدول ۱۱-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۱۰۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)	۸۸
جدول ۱۲-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۲۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت بالا)	۱۰۰

جدول ۵-۱۳: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۳۵٪ (مدل منافذ مایل به سمت بالا) ۱۰۰

جدول ۵-۱۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۵۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت بالا) ۱۰۰

جدول ۵-۱۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۱۰۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت بالا) ۱۰۱

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱: شمای کلی بدنه شیر ۴
- شکل ۲-۱: شمای کلی درپوش ۴
- شکل ۳-۱: شکل کلی مجرا باند ۵
- شکل ۴-۱: شمای کلی نشیمنگاه ۵
- شکل ۵-۱: شمای کلی ساقه ۶
- شکل ۶-۱: شمای کلی یوک ۶
- شکل ۷-۱: اجزای تشکیل دهنده شیر گلوب ۷
- شکل ۸-۱: عملکرد شیر گلوب ۸
- شکل ۹-۱: نمای شماتیک از شیر گلوب با ساختار (الف) مدل زاویه‌ای با دیسک ترکیبی، (ب) مدل Y شکل با دیسک ترکیبی، (ج) مدل T شکل با دیسک متعارف، (د) مدل دیسک-پلاگ و (ه) مدل دیسک سوزنی ۹
- شکل ۱۰-۱: شمای کلی کاویتاسیون متصل در هیدروفوئیل ۱۱
- شکل ۱۱-۱: وقوع کاویتاسیون با حباب‌های انتقالی در هیدروفوئیل با زاویه حمله بالا ۱۱
- شکل ۱۲-۱: وقوع ابرهای کاویتاسیون در لبه راهنما هیدروفوئیل ۱۲
- شکل ۱۳-۱: وقوع کاویتاسیون گردابه‌ای در نوک یک فویل ۱۲
- شکل ۱۴-۱: اثر تخریبی کاویتاسیون بر هاب یک پمپ سانتریفیوژ ۱۳
- شکل ۱۵-۱: مراحل متلاشی شدن حباب‌های ناشی از کاویتاسیون ۱۳
- شکل ۱۶-۱: نمای شماتیک حباب در حال متلاشی شدن ۱۳
- شکل ۱-۲: نمای دوبعدی از شیر پروانه‌ای ۱۷
- شکل ۲-۲: شمای کلی شیر پروانه‌ای ۱۸
- شکل ۳-۲: نمای شماتیک از شیر اطمینان و دیسک درون آن ۱۹
- شکل ۴-۲: شیر سوپاپی در دو نما ۱۹
- شکل ۵-۲: نمای سه‌بعدی (الف) شیر گلوب با قفسه سه‌مرحله‌ای و (ب) قفسه سه‌مرحله‌ای ۲۱
- شکل ۶-۲: میزان کاویتاسیون رخ داده در حالت‌های مختلف (الف) بدون قفسه، (ب) قفسه تک‌مرحله‌ای، (ج) قفسه دو‌مرحله‌ای و (د) قفسه سه‌مرحله‌ای ۲۱
- شکل ۷-۲: شمای کلی شیر گلوب و قفسه‌های به‌کار رفته در آن ۲۲
- شکل ۸-۲: میزان کاویتاسیون در حالت‌های (الف) بدون قفسه، (ب) تک‌قفسه‌ای و (ج) دو‌قفسه‌ای ۲۲
- شکل ۹-۲: میزان کاویتاسیون در فشارهای خروجی (الف) ۰/۱۵، (ب) ۰/۲، (ج) ۰/۲۵ مگاپاسکال ۲۳
- شکل ۱۰-۲: میزان کاویتاسیون در دماهای کاری (الف) ۲۰، (ب) ۴۰، (ج) ۶۰ درجه سانتی‌گراد ۲۳

- شکل ۲-۱۱: شمای کلی شیر گلوب ۲۳
- شکل ۲-۱۲: نمای شماتیک (الف) شیر گلوب، (ب) قفسه تک مرحله‌ای سوراخ‌دار و (ج) قفسه تک مرحله‌ای پله‌ای ۲۵
- شکل ۴-۱: شمای کلی شیر (الف) قبل از ساده‌سازی و (ب) بعد از ساده‌سازی ۳۶
- شکل ۴-۲: شمای کلی شیر به همراه لوله‌های متصل شده به آن ۳۷
- شکل ۴-۳: شمای کلی شبکه‌ها در یک صفحه برشی ۳۸
- شکل ۴-۴: تغییرات مقدار Kv برحسب تعداد شبکه‌ها در گشودگی ۱۰۰٪ ۴۰
- شکل ۴-۵: بردارهای سرعت در سرعت‌ها و گشودگی‌های مختلف ۴۲
- شکل ۴-۶: تغییرات افت فشار (bar) برحسب سرعت ورودی (m/s) را در گشودگی‌های مختلف. در این شکل خط وقوع و آغاز پدیده کاویتاسیون (Cav. Line) نیز نمایش داده شده است. ۴۵
- شکل ۴-۷: بردار سرعت شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪ ۴۷
- شکل ۴-۸: بردار سرعت شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪ ۴۸
- شکل ۴-۹: بردار سرعت شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪ ۴۹
- شکل ۴-۱۰: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪ ۵۰
- شکل ۴-۱۱: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۳۵٪ ۵۱
- شکل ۴-۱۲: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪ ۵۲
- شکل ۴-۱۳: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۷۵٪ ۵۳
- شکل ۴-۱۴: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪ ۵۴
- شکل ۴-۱۵: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪ ۵۵
- شکل ۴-۱۶: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۳۵٪ ۵۶
- شکل ۴-۱۷: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪ ۵۷
- شکل ۴-۱۸: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۷۵٪ ۵۸
- شکل ۴-۱۹: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪ ۵۹
- شکل ۵-۱: نمای دوبعدی قفسه‌ها در حالت (الف) شعاعی، (ب) مایل به سمت پایین و (ج) مایل به سمت بالا ۶۳
- شکل ۵-۲: شبکه‌بندی در نواحی داخلی و مهم شیر در مدل شعاعی و گشودگی ۵۰٪ ۶۴
- شکل ۵-۳: تغییرات مقدار Kv برحسب تعداد شبکه‌ها در گشودگی ۵۰٪ ۶۶
- شکل ۵-۴: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی‌های مختلف (مدل شعاعی) ۶۷
- شکل ۵-۵: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی‌های مختلف ۶۹
- شکل ۵-۶: نمودار تغییرات Kv در گشودگی‌های مختلف و حالت تک‌فاز برای مدل‌های مختلف ۷۱
- شکل ۵-۷: خط جریان سیال برای مدل‌های (الف) مدل شعاعی، (ب) مدل منافذ مایل به سمت پایین و (ج) مدل منافذ مایل به سمت بالا ۷۱
- شکل ۵-۸: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی‌های مختلف (مدل مایل به سمت بالا) ۷۲

- شکل ۵-۹: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۲۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)..... ۷۶
- شکل ۵-۱۰: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۵۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)..... ۷۷
- شکل ۵-۱۱: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۱۰۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)..... ۷۸
- شکل ۵-۱۲: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۲۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)..... ۷۹
- شکل ۵-۱۳: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۳۵٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)..... ۸۰
- شکل ۵-۱۴: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۵۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)..... ۸۱
- شکل ۵-۱۵: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۱۰۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)..... ۸۲
- شکل ۵-۱۶: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪ (مدل شعاعی)..... ۸۳
- شکل ۵-۱۷: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۳۵٪ (مدل شعاعی)..... ۸۴
- شکل ۵-۱۸: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪ (مدل شعاعی)..... ۸۵
- شکل ۵-۱۹: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪ (مدل شعاعی)..... ۸۶
- شکل ۵-۲۰: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۲۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۸۹
- شکل ۵-۲۱: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۵۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۰
- شکل ۵-۲۲: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۱۰۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۱
- شکل ۵-۲۳: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۲۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۲
- شکل ۵-۲۴: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۳۵٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۳
- شکل ۵-۲۵: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۵۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۴
- شکل ۵-۲۶: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۱۰۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۵
- شکل ۵-۲۷: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۶
- شکل ۵-۲۸: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۳۵٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۷
- شکل ۵-۲۹: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۸
- شکل ۵-۳۰: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)..... ۹۹

شکل ۵-۳۱: بردارهای سرعت در گشودگی ۲۰٪ درون قفسه و در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۰۲

شکل ۵-۳۲: بردارهای سرعت در گشودگی ۵۰٪ درون قفسه و در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۰۳

شکل ۵-۳۳: بردارهای سرعت در گشودگی ۱۰۰٪ درون قفسه و در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۰۴

شکل ۵-۳۴: ضریب کاویتاسیون در گشودگی ۲۰٪ درون قفسه در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۰۵

شکل ۵-۳۵: ضریب کاویتاسیون در گشودگی ۳۵٪ درون قفسه در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۰۶

شکل ۵-۳۶: ضریب کاویتاسیون در گشودگی ۵۰٪ درون قفسه در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۰۷

شکل ۵-۳۷: ضریب کاویتاسیون در گشودگی ۱۰۰٪ درون قفسه در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۰۸

شکل ۵-۳۸: حجم کاویتاسیون در گشودگی ۲۰٪ و مدل آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۰۹

شکل ۵-۳۹: حجم کاویتاسیون در گشودگی ۳۵٪ و مدل آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۱۰

شکل ۵-۴۰: حجم کاویتاسیون در گشودگی ۵۰٪ و مدل آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۱۱

شکل ۵-۴۱: حجم کاویتاسیون در گشودگی ۱۰۰٪ و مدل آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا ۱۱۲

شکل ۵-۴۲: کانتورهای عدد کاویتاسیون در گشودگی ۱۰۰٪ و در دو مقدار اختلاف فشار و مدل‌های (الف) مدل منافذ شعاعی، (ب) مدل منافذ مایل به کف و (ج) مدل منافذ مایل به سمت بالا ۱۱۴

شکل ۵-۴۳: مقادیر کاویتاسیون در گشودگی ۱۰۰٪ و اختلاف فشار ثابت ۱۸/۵ بار برای مدل‌های (الف) منافذ شعاعی، (ب) مدل منافذ مایل به سمت کف و (ج) مدل منافذ مایل به سمت بالا ۱۱۵

شکل ۵-۴۴: نمودار تغییرات افت فشار (bar) بر حسب سرعت ورودی (m/s) در گشودگی‌های مختلف و همین‌طور خط کاویتاسیون برای مدل‌های مختلف ۱۱۵

فهرست علائم

p (Pa)	فشار
T (K)	دما
v (m ³ /kg)	حجم ویژه
ρ (kg/m ³)	چگالی
V (m/s)	سرعت کل
σ	ضریب کاویتاسیون
α	کسر حجمی
u_i (m/s)	سرعت برداری در جهت i
μ (kg/m s)	لزجت
t (s)	زمان
M_k	میران انتقال جرم به فاز k از دیگر فازها
F (N)	نیرو
R (m)	شعاع حباب
R_v	کمیت تعیین کننده مقدار تبخیر
R_c	کمیت تعیین کننده مقدار میعان
N_{bubbles}	تعداد حباب‌ها در یک سلول محاسباتی
n_0	میزان تجمع حباب‌ها در واحد حجم خالص مایع
K_v (m ³ /hr)	ضریب جریان شیر

فصل ۱ مقدمه

۱-۱ مقدمه

شیرها ابزار مکانیکی هستند که برای هدایت، مخلوط، قطع و وصل کردن جریان طراحی شده‌اند. همچنین برای تنظیم جریان، فشار و دمای سیال مورد استفاده قرار می‌گیرند. با توجه به طراحی، عملکرد و کاربرد آن‌ها شیرها در طیف گسترده‌ای با شکل‌ها و اندازه‌های متفاوت قرار می‌گیرند. کوچک‌ترین شیر صنعتی می‌تواند جرمی معادل ۰/۴۵ کیلوگرم داشته باشد و به راحتی در دست انسان جا گیرد، در حالی که بزرگ‌ترین شیر صنعتی جرمی معادل ۱۰ تن دارد و ارتفاع آن به بیش از ۶ متر می‌رسد. شیرها در سیستم‌های لوله‌کشی به کاربرده شده در صنعت با اندازه‌های بین ۰/۱۲ متر تا ۱/۲ متر ایفای نقش می‌کنند. البته ۹۰٪ شیرهایی که در سیستم‌های لوله‌کشی به کار برده می‌شوند به اندازه ۰/۱ متر و کم‌تر هستند. شیرها را می‌توان از جنس‌های مختلفی مانند فولاد، آهن، پلاستیک، برنج، برنز یا تعدادی آلیاژ خاص تولید کرد. امروزه شیرهایی مانند شیر دروازه‌ای^۴، پروانه‌ای^۵ و گلوب در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند [۱].

۱-۲ تاریخچه پیشرفت شیرها

به‌طور کلی، شیرهای مورد استفاده در قرون وسطی دارای طراحی ساده‌ای بودند و از چوب ساخته می‌شدند و عمدتاً برای شبکه‌های نوشیدنی مورد استفاده قرار می‌گرفتند. طراحی شیرها تا عصر رنسانس تغییرات ناچیزی داشت تا زمانی که اصول مهندسی هیدرولیک مدرن شروع به تکامل کرد. برای بهبود عملکرد سدهای متحرک روی کانال، لئوناردو داوینچی^۶ تنش‌های ایجاد شده روی دروازه‌های سد با ارتفاع‌های مختلف آب در دو طرف دروازه را مورد بررسی قرار داد. در سال ۱۷۱۲، توماس نیوکومن^۷ موتور اتمسفری خود را اختراع کرد که از بخار با فشار کم استفاده می‌کند تا پیستون را حرکت دهد. نوومن با تکمیل کردن ماشین خود، برای کنترل فشار و جریان شیر پلاگ آهنی را معرفی کرد که برای تنظیم جریان بخار به سمت پیستون استفاده می‌شد. در دهه ۱۸۰۰ استفاده از قدرت بخار در صنایع حمل و نقل و نساجی و همچنین کارهای آبی باعث پیشرفت سریع شیرها شد. با توجه به ملاحظات دمایی در سیستم‌های بخار، شیرها نمی‌توانستند از چوب یا فلز نرم ساخته شوند. در نتیجه شیرهای ماشین‌کاری شده با تحمل بالا طراحی شدند. این شیرها

^۴ Gate Valve

^۵ Butterfly Valve

^۶ Leonardo da Vinci

^۷ Thomas Newcomen

نه تنها با دوام تر بودند، بلکه قادر به تحمل دماهای بالا و همین طور فشارهای بسیار بالا بدون نشتی بودند. ظهور قدرت بخار، نیاز بیشتری به زغال سنگ ایجاد کرد، که منجر به توسعه سیستم‌های پمپاژ زیرزمینی پیچیده از جمله انواع جدید شیرها مانند شیر دروازه‌ای شد. انقلاب صنعتی نیز باعث افزایش استفاده از گاز طبیعی بعنوان سوخت برای روشنایی و گرمایش شد. این امر باعث ساخت شیر توپی^۸ ساده شد [۱].

۳-۱ شیرهای کنترل

در کارخانه‌های صنعتی معمولاً صدها سیستم کنترلی وجود دارد. در بیشتر این سیستم‌ها یک شیر کنترلی به عنوان عنصر کنترل فشار در نظر گرفته می‌شود. بنابراین عملکرد یک سیستم قابل اطمینان به‌طور مستقیم با عملکرد شیر کنترلی مرتبط است. شیرهای کنترلی نقش اساسی در ایمنی سیستم‌های لوله‌کشی در برابر نویز، ارتعاش، کاویتاسیون و فرسایش دارند. گشودگی‌های پایین این شیرها باعث به‌وجود آمدن سرعت و اغتشاش بالا در سیال می‌شود. بنابراین یک شیر کنترلی که با مواد مقاوم در برابر خوردگی طراحی شده است، می‌تواند در شرایط افت فشار پایین عملکرد خوبی از خود نشان دهد. طراحی و متالوژی اجزا و همچنین طراحی سیستم هیدرولیکی اهمیت زیادی در عملکرد شیر کنترلی دارد [۲].

۴-۱ اجزای تشکیل دهنده شیرهای کنترل

شیرهای کنترلی به‌طور مشترک معمولاً از چندین عضو اصلی تشکیل شده‌اند. در این بخش به بررسی شکل و وظیفه‌ی هر یک از این اعضا پرداخته می‌شود. قابل ذکر است که این اعضا با توجه به نوع شیر دارای شکل‌های متفاوتی می‌باشند.

۴-۱-۱ بدنه شیر

بدنه شیر^۹ محفظه‌ای برای نگهداری اجزا داخلی شیر می‌باشد. دو انتهای بدنه به گونه‌ای طراحی می‌شود که به خط لوله یا اتصالات متصل شود. نحوه اتصال می‌تواند به صورت فلنج به فلنج^{۱۰}، رزوه‌ای^{۱۱} و جوشکاری از نوع جوش لب به

^۸ Ball Valve

^۹ Body

^{۱۰} Flanged End

^{۱۱} Threaded

لب باشد. بدنه شیر یا به روش ریخته‌گری یا توسط فرایند فورج ساخته می‌شود. بدنه می‌بایست تحمل فشار و دمای کاری را داشته و در برابر خوردگی مقاوم باشد. شکل ۱-۱ نمای شماتیک از بدنه شیرهای گلوب، دروازه‌ای و توپی را نمایش می‌دهد [۳].



شکل ۱-۱: شمای کلی بدنه شیرهای (الف) گلوب، (ب) دروازه‌ای و (ج) توپی [۳]

۱-۴-۲ کلاهک یا درپوش شیر

کلاهک شیر^{۱۲} به عنوان درپوش و ایزوله‌کننده محفظه شیر به کار می‌رود. کلاهک نیز به روش ریخته‌گری یا توسط فرایند فورج ساخته می‌شود. ساقه شیر از داخل آن عبور می‌کند و کلاهک می‌بایست آن را آب‌بند نماید. نحوه اتصال کلاهک به بدنه به صورت پیچ و مهره برای بخار و مواد سمی در سایز پایین می‌باشد. شکل ۲-۱ شمای کلی درپوش یک شیر کنترل را نمایش می‌دهد [۳].



شکل ۲-۱: شمای کلی درپوش [۳]

۱-۴-۳ تریم

کلیه قطعاتی از شیر که در آب‌بندی شیر نقش مستقیم دارند را تریم^{۱۳} گویند همانند نشیمنگاه، دیسک و ساقه. این

^{۱۲} Bonnet

^{۱۳} Trim

قطعات به دلیل تماس مستقیم با سیال و همچنین رخ دادن افت فشار در اطراف آن‌ها می‌بایست از جنس مواد مقاوم به خوردگی باشند. همچنین برای جلوگیری از نشتی باید به‌خوبی آب‌بندی شوند [۳].

۴-۴-۱ مجرا باند

مجرابند^{۱۴} جسمی است که جلوی عبور سیال را می‌گیرد و بسته به نوع شیر به کار رفته، با اشکال مختلفی همچون دیسکی، توپی، مخروط ناقص و..... مورد استفاده قرار می‌گیرد. مجرابند جزئی از قطعات تریم می‌باشد. شکل ۳-۱ نمای شماتیک از مجرابند شیرهای گلوب، دروازه‌ای و توپی را نمایش می‌دهد [۳].



شکل ۳-۱: شکل کلی مجرابند شیرهای (الف) گلوب، (ب) دروازه‌ای و (ج) توپی [۳]

۴-۴-۲ نشیمنگاه

نشیمنگاه^{۱۵} جهت آب‌بند نمودن شیر و قرار گرفتن مجرابند روی آن می‌باشد. یک شیر ممکن است یک نشیمنگاه یا بیشتر داشته باشد. به منظور ایجاد آب‌بندی مناسب، سطح مقطع نشیمنگاه می‌بایست از صافی سطح مناسبی برخوردار باشد. شکل ۴-۱ شمای کلی نشیمنگاه را نمایش می‌دهد [۳].



شکل ۴-۱: شمای کلی نشیمنگاه [۱]

۴-۴-۳ ساقه

ساقه^{۱۶} عملیات انتقال نیرو به مجرابند جهت باز و بسته کردن شیر را انجام می‌دهد. ساقه از یک طرف به دسته شیر^{۱۷}

^{۱۴} Closure Member

^{۱۵} Seat

^{۱۶} Stem

^{۱۷} Hand Wheel

یا محرک^{۱۸} و از طرف دیگر به مجرا بند متصل می‌شود. ساقه‌ها معمولاً از روش فورج ساخته می‌شوند و به وسیله رزوه یا تکنیک‌های دیگر به مجرا بند متصل می‌شوند. در بعضی از شیرها، ساقه با حرکت خطی به سمت بالا و پایین باعث باز و بسته شدن شیر می‌شود. در انواع دیگر شیرها، حرکت چرخشی ساقه به حول محور خود باعث باز و بسته شدن شیر می‌شود. ساقه جزئی از قطعات تریم می‌باشد. شکل ۱-۵ نمای شماتیک از یک ساقه را نمایش می‌دهد [۳].



شکل ۱-۵: نمای کلی ساقه [۳]

۱-۴-۷ عضو آب‌بند

عضو آب‌بند^{۱۹} یکی از قطعات مهم به کار رفته در شیرها می‌باشد. از این قطعه برای آب‌بندی فضای پیرامون ساقه استفاده می‌شود، به طوری که این قطعه میزان نشتی مواد را به میزان قابل قبول رسانده یا کلاً قطع نماید [۳].

۱-۴-۸ یوک

یوک^{۲۰}، بدنه شیر یا کلاهک را به سیستم محرک شیر متصل می‌کند و ساقه از میان آن عبور می‌کند. این قطعه به اندازه‌ای باید مستحکم باشد که در مقابل نیروهای وارده و گشتاور ایجاد شده توسط سیستم محرک شیر آسیب نبیند. شکل ۱-۶ نمای کلی یوک را نمایش می‌دهد [۳].



شکل ۱-۶: نمای کلی یوک [۳]

^{۱۸} Actuator

^{۱۹} Packing

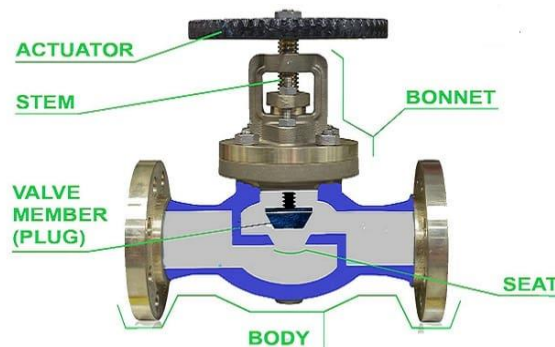
^{۲۰} Yoke

۹-۴-۱ محرک یا فعال کننده

محرک وظیفه‌ی فعال‌سازی سیستم ساقه و دیسک (مجرابند) را بر عهده دارد. اپراتور محرک می‌تواند بصورت اهرم دستی، موتوری و پنوماتیکی باشد. در بعضی از طراحی‌ها محرک به درپوش تکیه می‌کند. در برخی طراحی‌های دیگر نیز محرک به یوک نصب شده بر درپوش اتکا می‌کند [۳].

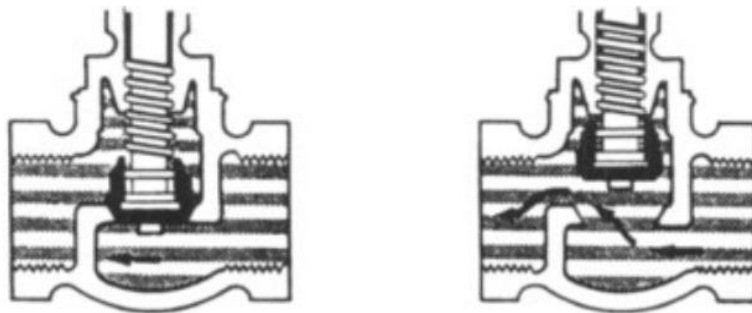
۵-۱ معرفی شیر گلوب

شیر گلوب که به دلیل شکل بیرونی آن به این اسم نامیده می‌شود، به طور گسترده در سیستم‌های لوله‌کشی به کار می‌رود. بر خلاف شیرهای دروازه‌ای از شیر گلوب می‌توان برای تنظیم جریان و فشار استفاده کرد. به دلیل تغییر جهت سیال درون شیر، شیر گلوب در مقایسه با شیرهای دریچه‌ای و توپی، افت فشار بیشتری در موقعیت کاملاً باز دارد [۴]. متداول‌ترین مدل المان تنظیم کننده در این شیر، مدل تک‌نشیمگاه است. در این مدل المان تنظیم کننده در وسط شیر قرار دارد. در مدل تک‌نشیمگاه از آرایش پلاگ^{۲۱} و نشیمگاه استفاده می‌شود. به این صورت که پلاگ با حرکت به سمت نشیمگاه باعث کاهش جریان و با دور شدن از نشیمگاه باعث افزایش جریان می‌شود. زمانی که شیر در حالت کاملاً باز قرار دارد، سیال از فضای بین لبه دیسک و نشیمگاه عبور می‌کند. در این حالت جریان سیال در تمامی جهات به طور یکنواخت حرکت می‌کند در نتیجه فشار نامتعادلی روی دیسک تشکیل نمی‌شود و فرسایش غیریکنواختی رخ نمی‌دهد. شکل ۷-۱ نمای شیماتیک از اجزای تشکیل دهنده شیر گلوب را نمایش می‌دهد. شکل ۸-۱ شیر گلوب را در حالت‌های کاملاً باز و کاملاً بسته نمایش می‌دهد [۱].



شکل ۷-۱: اجزای تشکیل دهنده شیر گلوب [۵]

^{۲۱} Plug

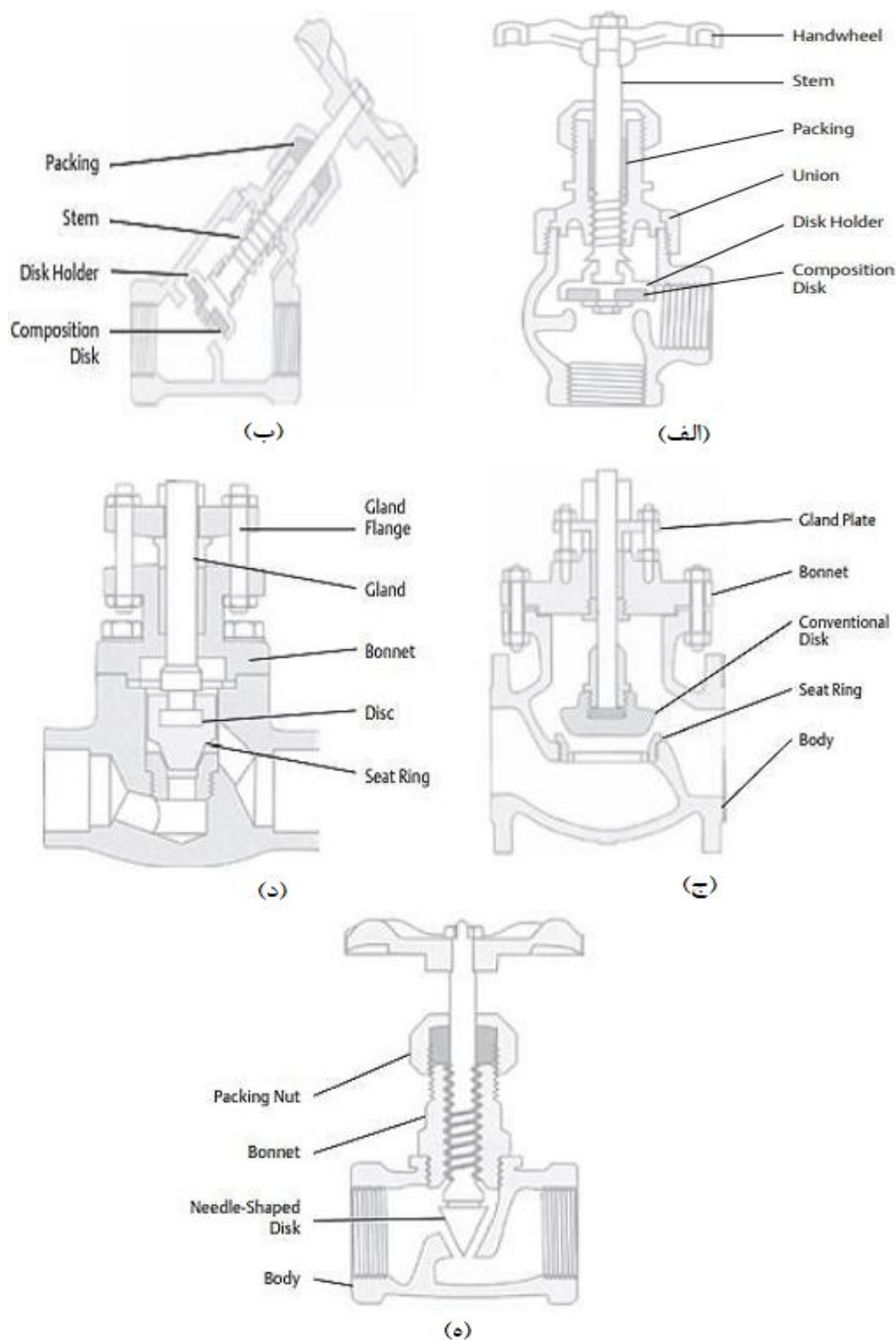


شکل ۱-۸: عملکرد شیر گلوب [۴]

۱-۶ انواع شیر گلوب

شیر گلوب دارای سه نوع بدنه‌ی زاویه‌ای، الگوی Y شکل و الگوی T شکل یا همان مدل معمول می‌باشد. هر سه مدل برای کنترل جریان مناسب هستند ولی هر کدام مشخصه جریان و کاربرد خاص خود را دارند. مدل شیر زاویه‌ای جهت جریان را ۹۰ درجه تغییر می‌دهد و در بعضی سیستم‌ها باعث صرفه‌جویی در زمان می‌شود. طراحی داخلی شیر مدل زاویه‌ای به گونه‌ایست که ممانعت کم‌تری در برابر جریان نسبت به مدل T شکل ایجاد می‌کند ولی نسبت به مدل Y شکل ممانعت بیشتری تولید می‌کند. شیر گلوب مدل Y شکل به دلیل زاویه ساقه (۴۵ تا ۶۰ درجه) در برابر جریان سیال ممانعت کمی به وجود می‌آورد. این مدل در حالتی که سیال دارای چسبندگی و ویسکوزیته بالایی است مناسب می‌باشد. مهم‌ترین دسته‌بندی شیرهای گلوب بر اساس نوع مجراوند و نشیمنگاه عبارتند از مدل دیسک متعارف، پلاگ-دیسک، دیسک ترکیبی و دیسک سوزنی. در مدل دیسک متعارف از یک دیسک کوتاه و مخروطی شکل متناسب با نشیمنگاه برای قطع و وصل جریان سیال استفاده می‌شود. این مدل معمول‌ترین مدل شیر گلوب مورد استفاده است. در مدل پلاگ-دیسک اجزا مانند حالت متعارف هستند ولی در آن دیسک و نشیمنگاه دارای ساختاری بلندتر و باریکتر است. در این مدل پلاگ و نشیمنگاه بلند باعث ایجاد حداکثر مقاومت در برابر فرسایش ناشی از جریان می‌شود. در مدل دیسک ترکیبی شیر گلوب دارای یک دیسک ترکیبی صاف است که درون نشیمنگاه قرار نمی‌گیرد بلکه روی سطح بیرونی نشیمنگاه قرار می‌گیرد. نگه‌دارنده دیسک می‌تواند از مواد ترکیبی مختلفی بسته به نوع وظیفه ساخته شود. با تغییر جنس دیسک، می‌توان از شیر در وظایف مختلف استفاده کرد. مدل دیسک سوزنی به‌طور دقیق برای کار در فشار و دمای بالا طراحی شده است. این مدل برای لوله‌های کوچک و با قطر کم طراحی شده است. عملکرد این شیر بیشتر برای گازها و مایعات با ویسکوزیته کم مانند آب مناسب است. مدل دیسک سوزنی از ساقه با نوک تیز برای کنترل جریان

استفاده می‌کند [۵]. شکل ۹-۱ شیر گلوب را با ساختارهای بدنه و دیسک مختلف نمایش می‌دهد.



شکل ۹-۱: نمای شماتیک از شیر گلوب با ساختار (الف) مدل زاویه‌ای با دیسک ترکیبی، (ب) مدل Y شکل با دیسک ترکیبی، (ج) مدل T شکل با دیسک متعارف، (د) مدل دیسک-پلاگ و (ه) مدل دیسک سوزنی [۵]

۷-۱ مزایا و معایب شیر گلوب

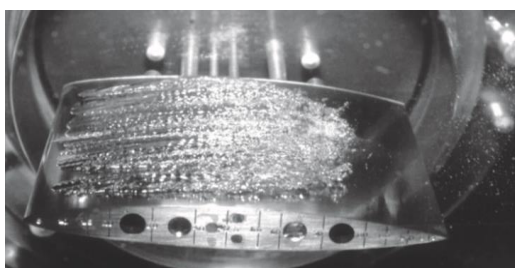
شیر گلوب به دلیل مزایای زیادی که دارد، از محبوبیت بالایی برخوردار است. به دلیل تنوع بالا، این شیر در موقعیت‌های مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از یک مدل شیر گلوب تا زمانی که فشار و دما از محدودیت مجاز بالاتر نرود می‌توان در کاربردهای مختلفی استفاده کرد. این امر باعث کاهش نیاز به قطعات یدکی می‌شود. طراحی ساده‌ی این شیر نسبت به شیرهای دیگر اجازه‌ی تغییرات زیادی در این شیر را می‌دهد. به دلیل حرکت خطی در این شیر، نیروی تولید شده توسط محرک به‌طور مستقیم به عضو تنظیم‌کننده منتقل می‌شود. بنابراین میزان افت انرژی به حداقل می‌رسد. به عبارتی شیرها با حرکت چرخشی دارای افت انرژی قابل ملاحظه‌ای هستند ولی این مقدار در شیر گلوب به دلیل حرکت خطی ناچیز است. مزیت اصلی استفاده از شیرهای گلوب، توانایی آن‌ها در مقاومت برابر محدودیت‌های فرآیند است. این شیرها طوری طراحی شده‌اند که در افت فشارهای بسیار بالا کار کنند و اختلاف فشار را کنترل می‌کنند. معایب اصلی شیر گلوب به این صورت است که در سایزهای مختلف، این شیرها بزرگ‌تر، سنگین‌تر و گران‌تر می‌شوند. به دلیل کارکرد این شیرها در سرعت‌ها و اختلاف فشارهای بالا، پدیده کاویتاسیون در این شیر رخ می‌دهد که باعث ارتعاشات و خوردگی در آن‌ها می‌شود [۱].

۸-۱ معرفی پدیده کاویتاسیون

کاویتاسیون به تشکیل ساختار با فاز بخار در جریان مایع گفته می‌شود. بر خلاف انتظار، تغییر فاز به دلیل افت موضعی فشار در جریان رخ می‌دهد و دما در این فرآیند ثابت است. وقوع منطقه کم‌فشار در جریان یک پدیده متعارف است. به عنوان مثال در ونتوری‌ها با یک لوله همگرا و یک لوله واگرا، جریان در جایی که سطح مقطع آن کمینه است، دارای سرعت بیشینه می‌شود. طبق معادله برنولی فشار نیز در این مکان کمینه می‌شود، در نتیجه خطر ایجاد کاویتاسیون افزایش می‌یابد. این پدیده با توجه به شرایط و موقعیتی که در آن رخ می‌دهد، می‌تواند دارای شکل‌ها و حالت‌های مختلفی باشد. در ادامه چندین شکل مختلف حباب‌های ناشی از کاویتاسیون به وجود آمده در موقعیت‌ها و شرایط مختلف، مورد بررسی قرار می‌گیرد [۶].

۱-۸-۱ کاویتاسیون متصل

در این نوع کاویتاسیون، حباب‌ها در نواحی کم‌فشار به‌وجود آمده در قسمت مکش فویل‌ها ایجاد می‌شوند. پس از تشکیل شدن از سطح جدا شده و یک ناحیه با حباب‌های متصل شده را تشکیل می‌دهد. شکل ۱-۱۰ نمای شماتیک از وقوع کاویتاسیون متصل در یک هیدروفویل^{۲۲} را نمایش می‌دهد [۶].



شکل ۱-۱۰: شمای کلی کاویتاسیون متصل در هیدروفویل [۶]

۲-۸-۱ کاویتاسیون با حباب‌های انتقالی

در این مدل حباب‌ها در مناطق فشار پایین و در نتیجه‌ی رشد سریع هسته‌های هوا موجود در مایع به‌وجود می‌آیند. حباب‌ها در امتداد جریان حرکت می‌کنند و با رسیدن به یک منطقه با فشار بالاتر ناپدید می‌شوند. شکل ۱-۱۱ شمای کلی کاویتاسیون با حباب‌های انتقالی را در یک هیدروفویل با زاویه حمله بالا را نمایش می‌دهد [۶].

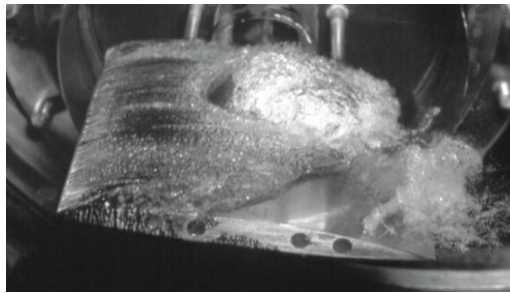


شکل ۱-۱۱: وقوع کاویتاسیون با حباب‌های انتقالی در هیدروفویل با زاویه حمله بالا [۶]

۳-۸-۱ کاویتاسیون ابری شکل

این مدل کاویتاسیون در شکل‌های مختلفی رخ می‌دهد. حباب‌های به‌وجود آمده در این مدل به‌صورت یک لایه ابر می‌باشند. شکل ۱-۱۲ نمای شماتیک از مدل ابرهای کاویتاسیونی را در لبه‌ی راهنمای یک هیدروفویل نمایش می‌دهد [۶].

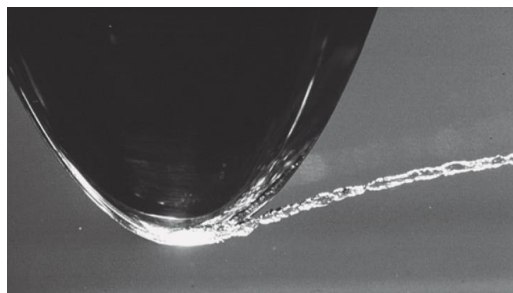
^{۲۲} Hydrofoil



شکل ۱-۱۲: وقوع ابرهای کاویتاسیون در لبه راهنما هیدرو فویل [۶]

۴-۸-۱ کاویتاسیون گردابه‌ای

این مدل کاویتاسیون می‌تواند دارای ساختاری سازمان‌یافته باشد. کاویتاسیون گردابه‌ای بیشتر در نوک فویل‌های سه بعدی رخ دهد. شکل ۱-۱۳ وقوع کاویتاسیون گردابه‌ای را در یک فویل نمایش می‌دهد [۶].



شکل ۱-۱۳: وقوع کاویتاسیون گردابه‌ای در نوک یک فویل [۶]

۹-۱ اثرات وقوع کاویتاسیون

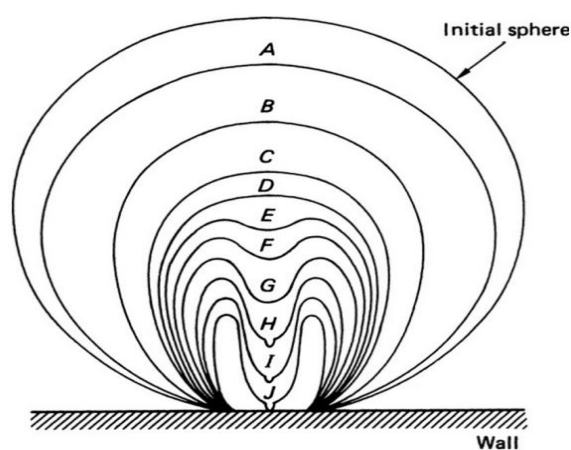
آسیب‌شناسی ناشی از کاویتاسیون پیچیده می‌باشد، به این دلیل که این پدیده شامل جنبه‌های هیدرودینامیکی و موادشناسی با هم می‌باشد. در این پدیده پس از تشکیل حباب‌های ناشی از کاویتاسیون، این حباب‌ها با حرکت همراه سیال به مناطق با فشار بالا می‌رسند و متلاشی می‌شوند. امواج ناشی از متلاشی شدن حباب‌های بخار باعث آسیب به سطوح جامد می‌شود. این امواج باعث جدا شدن لایه‌های سطوح جامد، ایجاد لرزش و سرو صدا می‌شود. شکل ۱-۱۴ اثر تخریبی کاویتاسیون روی قسمت هاب یک پمپ سانتریفیوژ^{۲۳} را نمایش می‌دهد. در شیرهای صنعتی به خصوص شیر گلوب، به دلیل رخ دادن افت فشار بالا در سیال، کاویتاسیون یکی از پدیده‌های مخرب می‌باشد که باعث کاهش عمر کاری شیرها می‌شود [۱۰]. شکل‌های ۱-۱۵ و ۱-۱۶ مراحل متلاشی شدن حباب‌های ناشی از کاویتاسیون را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشخص است با رسیدن حباب به منطقه با فشار بالا، حباب مرحله به مرحله فشرده شده تا در

^{۲۳} Centrifugal Pump

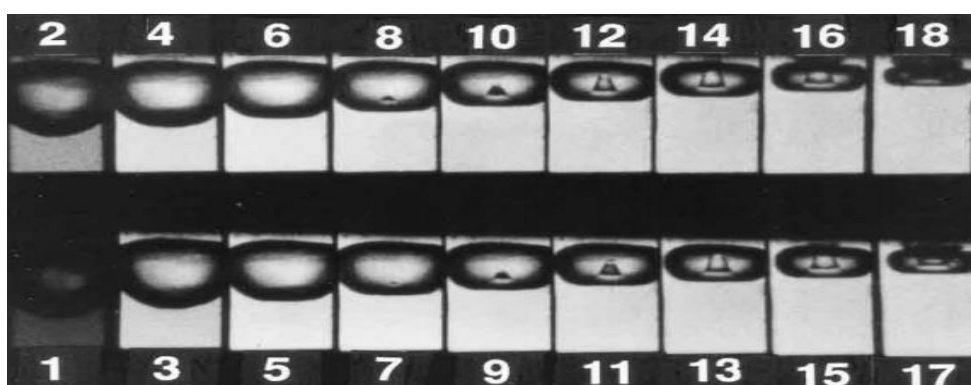
نهایت متلاشی شود.



شکل ۱-۱۴: اثر تخریبی کاویتاسیون بر هاب یک پمپ سانتریفیوژ [۶]



شکل ۱-۱۵: مراحل متلاشی شدن حباب‌های ناشی از کاویتاسیون [۱۱]



شکل ۱-۱۶: نمای شماتیک حباب در حال متلاشی شدن [۹]

۱۰-۱ ضریب کاویتاسیون

میزان گسترش و بررسی محل وقوع کاویتاسیون را می‌توان به کمک یک عدد بی‌بعد به نام ضریب کاویتاسیون^{۲۴} (σ)

^{۲۴} Cavitation Number

مشخص کرد. مقدار این ضریب به صورت زیر تعریف می شود.

$$\sigma = \frac{p - p_v}{\frac{1}{2}\rho V^2} \quad (1-1)$$

در این فرمول p_v فشار بخار سیال، p فشار استاتیکی محلی سیال، ρ چگالی سیال و V سرعت ورودی سیال می باشد. سیال هایی که در آن ها کاویتاسیون رخ نداده است، دارای ضریب کاویتاسیون بالایی می باشند. این امر به این دلیل است که مقدار فشار استاتیکی سیال از فشار بخار آن بالاتر می باشد [۶]. در حالتی که مقدار فشار استاتیکی با فشار بخار سیال برابر شود، حباب های ناشی از کاویتاسیون در آستانه تشکیل شدن قرار می گیرند. با کم تر شدن فشار استاتیکی از فشار محلی سیال و در نتیجه منفی شدن ضریب کاویتاسیون، حباب های ناشی از این پدیده تشکیل می شوند. هرچه این ضریب کوچک تر شود میزان افت فشار بیشتر شده و در نتیجه کاویتاسیون افزایش می یابد [۱۲].

۱-۱۱ مروری بر فصل های پایان نامه

در این پایان نامه از فصل اول به عنوان مقدمه ای برای معرفی شیر گلوب و پدیده کاویتاسیون استفاده شده است. در ادامه در فصل دوم تحقیقات انجام شده بر موضوع مورد نظر بررسی شد. در فصل سوم هم معادلات حاکم بر حل شیر گلوب مورد بحث و بررسی قرار گرفت. در ادامه، در فصل های چهارم و پنجم به طراحی و شبیه سازی عددی شیر گلوب به ترتیب با ساختار معمولی و ساختار آنتی کاویتاسیون پرداخته شد. در انتها با بحث و مقایسه مدل ها، بهترین مدل قفسه برای کنترل کاویتاسیون انتخاب شد.

فصل ۲ مروری بر تحقیقات انجام شده

۱-۲ مقدمه

امروزه در صنعت شیرهای کنترلی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند. یکی از مهم‌ترین مشکلاتی که در این شیرها وجود دارد، وقوع پدیده کاویتاسیون می‌باشد. این پدیده باعث آسیب‌های جدی به شیر و همین‌طور لرزش و سر و صدا می‌شود. بدین منظور در سال‌های گذشته تحقیقات زیادی برای بررسی، کاهش یا کنترل این پدیده در شیرهای کنترلی انجام شد. کنترل فشار خروجی، افزودن قفسه یا شیاردار کردن دیسک از جمله این اقدامات برای شیرهای کنترلی مختلف می‌باشد.

۲-۲ بررسی عوامل موثر بر وقوع پدیده کاویتاسیون در شیرهای کنترلی

امروزه بیش از ۲۰ مدل شیر کنترلی در صنعت به‌کار برده می‌شود. محققان بسیاری به بررسی پدیده کاویتاسیون در برخی از این مدل شیرها پرداختند. ابتدا در این بخش نتایج حاصل از تحقیقات پژوهشگران روی شیرهای پروانه‌ای، اطمینان و سوپاپی مورد بررسی قرار می‌گیرد. این سه مدل شیر به‌عنوان نمونه در نظر گرفته شدند تا بتوان از رفتار کاویتاسیون در شرایط مختلف، دید درستی به‌دست آورد. پس از مطالعه این سه مدل شیر، به بررسی تحقیقات پژوهشگران روی کاویتاسیون و راه‌های جلوگیری از آن در شیر گلوب پرداخته می‌شود.

۱-۲-۲ شیر پروانه‌ای

شیرهای پروانه‌ای به‌طور معمول با نصب در سیستم‌های لوله‌کشی وظیفه‌ی بستن مجرا یا کنترل نرخ جریان را دارد. در این شیر عواملی که بر جریان سیال تاثیر دارند عبارتند از شکل دیسک و زاویه گشودگی شیر [۱۳]. ليو و همکاران [۱۴] به بررسی میزان کاویتاسیون در شیر پروانه‌ای پرداختند. در این پژوهش شیر پروانه‌ای موجود در سیستم تصفیه آب یک راکتور آب تحت فشار نیروگاه هسته‌ای مورد بررسی قرار گرفت. برای این بررسی شیر پروانه‌ای در سایز مشخص درون مجرای با طول ورودی ۵ برابری و طول خروجی ۱۰ برابری قطر خود مجرا قرار گرفت. در انتها تاثیر میزان گشودگی شیر و همین‌طور فشار ورودی بررسی شد. بدین منظور شبیه‌سازی‌هایی برای بررسی تاثیر مقدار فشار ورودی مختلف در گشودگی ثابت و همین‌طور گشودگی‌های مختلف در اختلاف فشار ثابت انجام شد. نتایج این شبیه‌سازی‌ها به این صورت بود که با کاهش گشودگی شیر، سرعت ماکزیمم سیال افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند. و همین‌طور در یک گشودگی

ثابت با افزایش فشار ورودی، میزان سرعت سیال عبوری افزایش پیدا می‌کند. در ادامه میزان و محل رخ دادن کاویتاسیون مورد بررسی قرار گرفت. با انجام شبیه‌سازی‌های مختلف مشاهده شد که افت فشار بیشتر در ناحیه پایین دست دیسک رخ می‌دهد. به همین دلیل در این نواحی کاویتاسیون رخ می‌دهد. کاویتاسیون در حالتی که فشار ورودی ثابت باشد، با کاهش گشودگی شیر، در سرعت‌های پایین‌تری رخ می‌دهد. این امر به دلیل افت فشار بیشتر در گشودگی‌های کم‌تر می‌باشد. در حالت دوم نیز که گشودگی ثابت بود، با افزایش میزان فشار ورودی مقادیر افت فشار و در نتیجه کاویتاسیون افزایش پیدا کرد شکل ۱-۲ نمای دوبعدی از شیر پروانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته را نمایش می‌دهد.

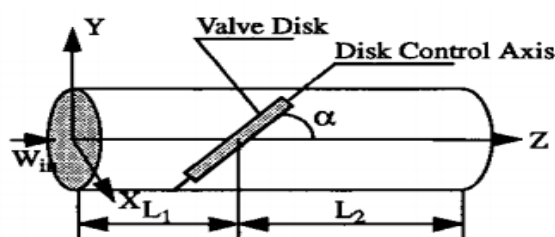


شکل ۱-۲: نمای دوبعدی از شیر پروانه‌ای [۱۴]

هوانگ و کیم [۱۵] به بررسی وقوع کاویتاسیون در یک شیر پروانه‌ای، و در گشودگی‌های مختلف و مقایسه آن با داده‌های آزمایشگاهی پرداختند. در ابتدا برای یافتن طول خروجی مناسب مجرا برای شیر، چندین شبیه‌سازی انجام دادند. بدین منظور در گشودگی متوسط و ثابت ۴۵ درجه چهار طول ۴، ۶، ۸ و ۹ برابر قطر ورودی شیر را برای مجرای خروجی انتخاب کردند. با شبیه‌سازی در این مقادیر متوجه شدند که سیال در مجرا با طول ۸ برابر قطر شیر به‌طور کامل توسعه یافته شده است. بنابراین از این طول برای مجرای خروجی انتخاب کردند. در ادامه برای بررسی تاثیر گشودگی شیر بر میزان کاویتاسیون، شیر پروانه را در گشودگی‌های ۰، ۲۰، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه قرار دادند سپس در هر گشودگی عملیات شبیه‌سازی را انجام دادند. لازم به ذکر است که در این مدل‌سازی، زاویه دیسک شیر در حالت گشودگی کامل صفر درجه در نظر گرفته شد و با افزایش میزان زاویه دیسک، گشودگی شیر کم‌تر می‌شود. جدول ۱-۲ نتایج حاصل از این شبیه‌سازی را نمایش می‌دهد. با توجه به این جدول با کاهش گشودگی، میزان افت فشار رخ داده در سیال افزایش پیدا می‌کند. این جدول علاوه بر مقادیر فشار، مقادیر سرعت را در سه جهت اصلی نمایش می‌دهد. با توجه به مقادیر ثبت شده، میزان سرعت کل ماکزیمم سیال با کاهش گشودگی افزایش پیدا می‌کند. ولی مقدار سرعت مینیمم با کاهش گشودگی شیر ابتدا افزایش و سپس کاهش پیدا می‌کند. شکل ۲-۲ نمای شماتیک از شیر پروانه‌ای مورد استفاده قرار گرفته در این پژوهش را نمایش می‌دهد.

جدول ۱-۲: نتایج حاصل از شبیه‌سازی شیر پروانه‌ای [۱۵]

Angle	0	20	30	45	60
$U_{\max}$ (m/s)	0.2772	0.4046	1.099	0.7691	0.3290
$U_{\min}$ (m/s)	-0.2354	-0.3081	-0.7117	-1.1040	-0.1284
$V_{\max}$ (m/s)	0.3363	0.4371	1.1390	1.8790	1.398
$V_{\min}$ (m/s)	-0.5165	-0.7417	-1.8810	-3.3120	-1.076
$W_{\max}$ (m/s)	1.1720	1.7260	2.5350	5.1990	5.945
$W_{\min}$ (m/s)	-0.0925	-0.5003	-0.5678	-1.356	-0.6548
P_{inlet} (Pa)	153.33	594.28	323.89	238.30	957.22
P_{exit} (Pa)	-504.63	-757.71	-6507.9	-11324	-64868

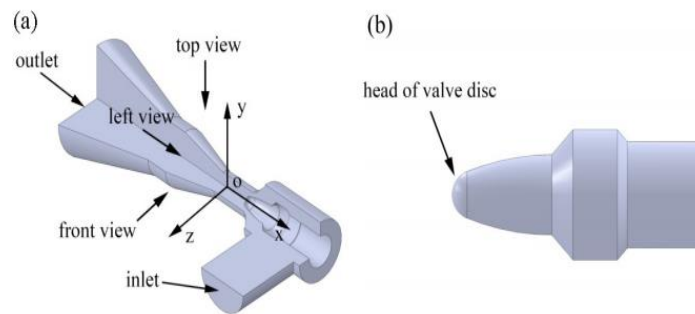


شکل ۲-۲: شمای کلی شیر پروانه‌ای [۱۵]

۲-۲-۲ شیر اطمینان

شیر اطمینان^{۲۵} امروزه جز اصلی امنیت مخازن فشار و تجهیزات لوله‌کشی می‌باشد. این شیر شاید در زمره‌ی شیرهای کنترلی قرار نگیرد، ولی از افراد و تجهیزات در برابر آسیب‌های ناشی از فشارهای بسیار بالا محافظت می‌کند [۱۶]. او و همکاران [۱۷] به بررسی پدیده کاویتاسیون در یک شیر اطمینان با اختلاف فشار بالا در سیستم مایع‌سازی زغال‌سنگ پرداختند. بدین منظور آن‌ها یک مدل سه‌بعدی از شیر اطمینان را تهیه کرده و مورد بررسی قرار دادند. این گروه شیر مورد نظر را در گشودگی‌های مختلف (۴۰، ۵۰ و ۶۰ درصد) و شرایط مرزی مختلف قرار دادند و تاثیر هر یک از حالت‌های بیان شده را بر سرعت، فشار و کاویتاسیون را بررسی کردند. شبیه‌سازی‌های انجام شده نشان داد که فشار سیال در ناحیه خفگی دیسک و پایین‌دست سیال دچار افت شدیدی می‌شود. این نواحی محل رخ دادن کاویتاسیون در شیر اطمینان می‌باشد. با افزایش فشار ورودی یا کاهش فشار خروجی در یک گشودگی ثابت میزان این افت فشار افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه مقدار کاویتاسیون افزایش می‌یابد. در یک شرایط مرزی ثابت نیز با کاهش گشودگی شیر، افت فشار بیشتری در سرعت‌های ثابت نسبت به گشودگی‌های دیگر رخ می‌دهد. در ادامه تغییرات مقادیر سرعت مورد بررسی قرار گرفت. طبق نتایج حاصله، سرعت ماکزیمم در نواحی خفگی دیسک رخ می‌دهد. و این سرعت ماکزیمم با کاهش گشودگی افزایش پیدا می‌کند. شکل ۳-۲ نمای شماتیک از شیر اطمینان و دیسک به‌کار رفته در آن را نمایش می‌دهد.

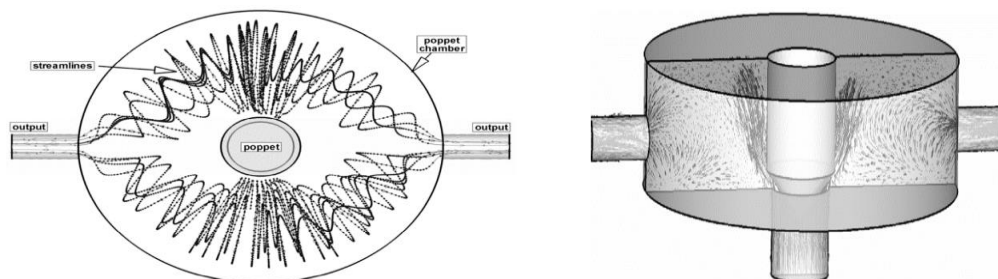
^{۲۵} Pressure Relief Valve



شکل ۳-۲: نمای شماتیک از شیر اطمینان و دیسک درون آن [۱۷]

۳-۲-۲ شیر سوپاپی

شیرهای سوپاپی^{۲۶} به صورت گسترده در سیستم‌های هیدرولیکی به عنوان شیر تنظیم‌کننده، شیر اطمینان و شیر کاهنده به کار برده شود. این امر به دلیل ساختار ساده این شیر و حساسیت بالای این شیر نسبت به تغییرات فشار است [۱۸]. سنדר برنارد و همکاران [۱۹] به بررسی رفتار این شیر در حالت‌های تک‌فاز و دوفاز پرداختند. در این بررسی رفتار شیر در یک گشودگی ثابت و فشار ورودی متغیر مورد بررسی قرار گرفت. فشار خروجی در این شبیه‌سازی ثابت و برابر با فشار اتمسفر می‌باشد. نتایجی که با انجام این پژوهش به دست آمد به این صورت بود که با افزایش فشار ورودی، میزان دبی عبوری در شیر افزایش پیدا می‌کند. همچنین در ناحیه خفگی دیسک، حباب‌های ناشی از کاویتاسیون تشکیل می‌شود. با افزایش فشار ورودی، دبی و در نتیجه میزان کاویتاسیون در این نواحی بیشتر می‌شود. این امر ادامه پیدا می‌کند تا حجم بالایی از حباب‌های هوا در این ناحیه تشکیل شود. با رسیدن به این نقطه در این ناحیه حالت خفگی رخ می‌دهد. بعد از رخ دادن خفگی افزایش فشار ورودی تأثیری بر دبی عبوری در شیر ندارد و دبی ثابت می‌ماند. شکل ۲-۴ نمای شماتیک از شیر سوپاپی را از نمای روبرو و بالا نمایش می‌دهد.

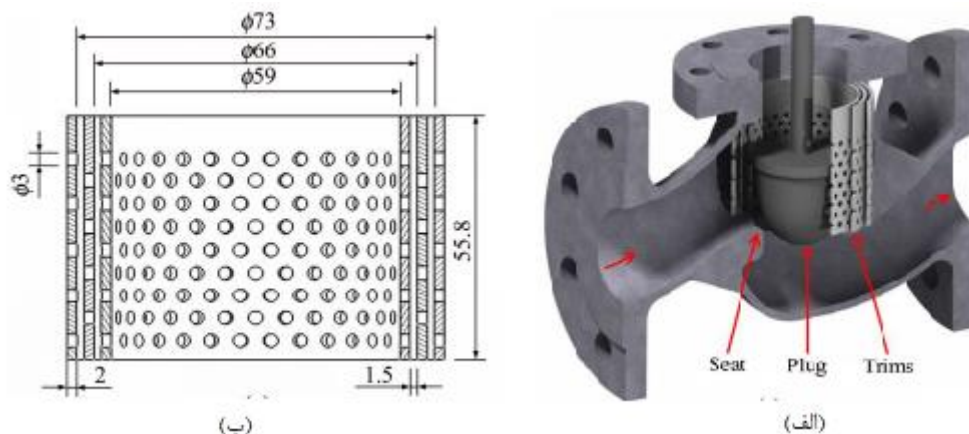


شکل ۴-۲: شیر سوپاپی در دو نما [۱۹]

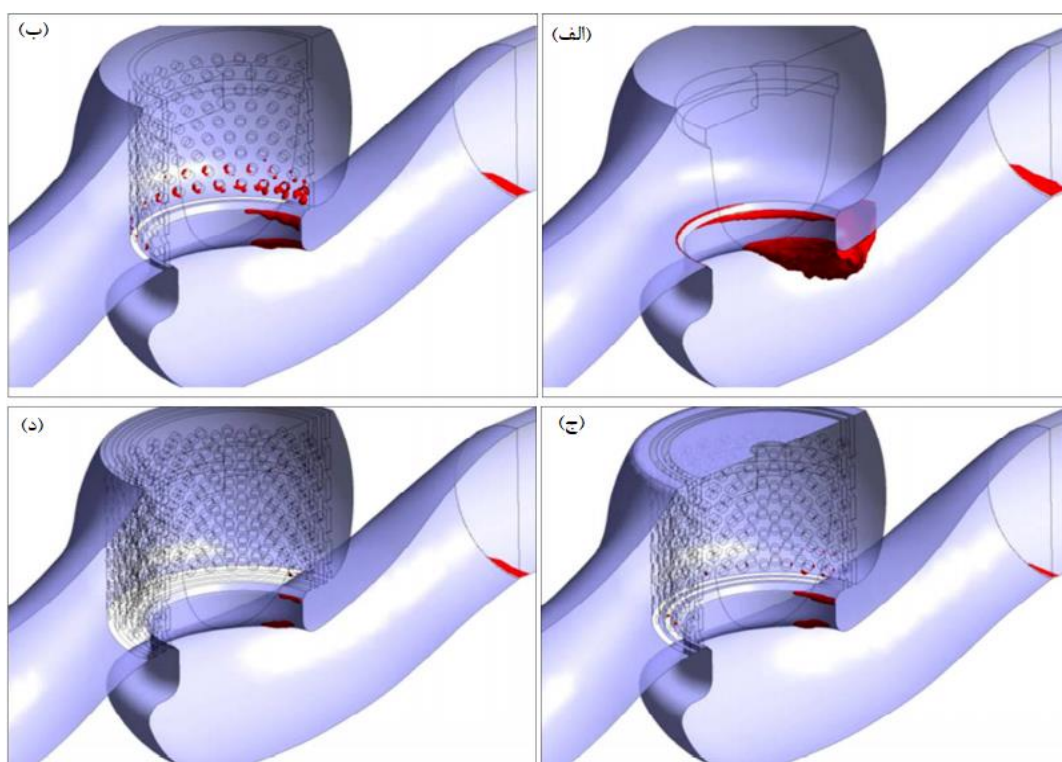
^{۲۶} Poppet Valve

۳-۲ بررسی نقش قفسه بر میزان و محل وقوع کاویتاسیون در شیر صنعتی گلوب

یعقوبی و همکاران [۲۰] به بررسی یک شیر گلوب در چهار حالت بدون قفسه، با قفسه تک مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و سه مرحله‌ای پرداختند. در این پژوهش هر یک از حالت‌های بالا در یک گشودگی و شرایط مرزی ثابت مورد بررسی قرار گرفتند و تاثیر نصب قفسه‌های مختلف بر میزان کاویتاسیون و همچنین محل وقوع این پدیده را مشخص کردند. با انجام شبیه‌سازی‌ها در حالت بدون قفسه مشاهده شد که افت فشار بیشتر در ناحیه بین پلاگ و نشیمنگاه رخ داده است. این ناحیه و ناحیه خروجی شیر نواحی هستند که در آن‌ها کاویتاسیون رخ می‌دهد. با اضافه کردن قفسه تک‌مرحله‌ای، محل رخ دادن کاویتاسیون تغییر کرده و مقدار آن نیز کاهش پیدا کرد. در این حالت افت فشار بیشتر در ناحیه منافذ قفسه رخ داد، به همین دلیل کاویتاسیون ابتدا در این نواحی تشکیل شد. میزان کاویتاسیون رخ داده در این حالت کم‌تر از حالت بدون قفسه بود. بعد از این دو حالت نوبت به قفسه‌های چند مرحله‌ای رسید. بنابراین شیر با قفسه‌های دو، سه مرحله‌ای مورد بررسی قرار گرفت. در ابتدا قفسه دو مرحله‌ای مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. این مدل نسبت به حالت تک قفسه تفاوت قابل ملاحظه‌ای در کاهش مقدار افت فشار و کاویتاسیون داشت. با نصب مدل سه مرحله‌ای مشاهده شد که تاثیر مناسبی در کاهش کاویتاسیون نسبت به مدل‌های قبل داشته است. ولی این مدل نسبت به مدل چهار مرحله‌ای تفاوت خاصی نداشت. بنابراین نتیجه‌گیری کردند که شیرهایی که در آن‌ها قفسه نصب شده است، نسبت به حالت معمولی در کنترل کاویتاسیون موثرتر هستند و هرچه مراحل افت فشار در قفسه افزایش پیدا کند، کارکرد قفسه بهتر می‌شود، ولی از مدل سه مرحله‌ای به بعد کاهش خاصی در میزان کاویتاسیون رخ نمی‌دهد، به همین دلیل و همچنین به دلیل مقرون به صرفه بودن، مدل سه‌مرحله‌ای به عنوان بهترین مدل مورد تایید قرار گرفت. شکل ۲-۵ شمای کلی شیر گلوب با قفسه سه‌مرحله‌ای و تصویر قفسه نصب شده را نمایش می‌دهد. شکل ۲-۶ نیز میزان کاویتاسیون رخ داده در شیر گلوب در حالت‌های بدون قفسه، قفسه تک‌مرحله‌ای، دو مرحله‌ای و چهار مرحله‌ای را نمایش می‌دهد.



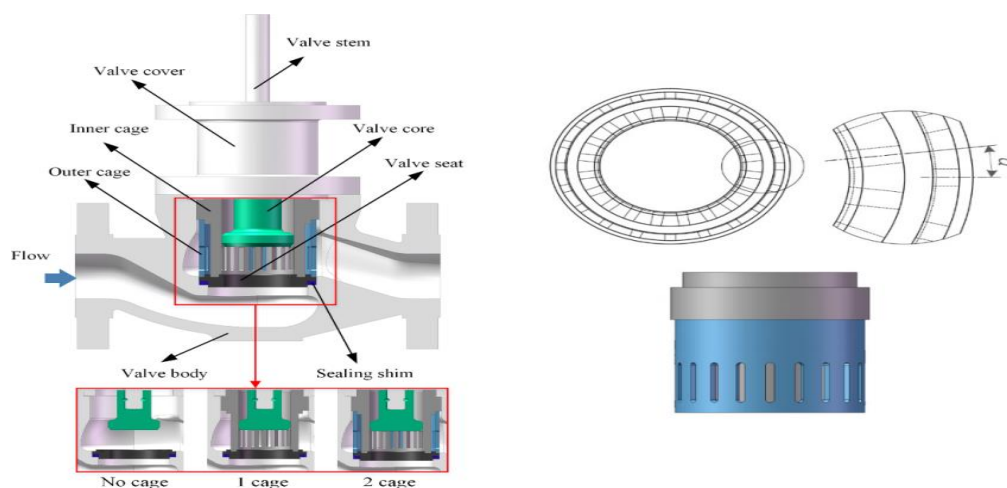
شکل ۲-۵: نمای سه بعدی (الف) شیر گلوب با قفسه سه مرحله‌ای و (ب) قفسه سه مرحله‌ای [۲۰]



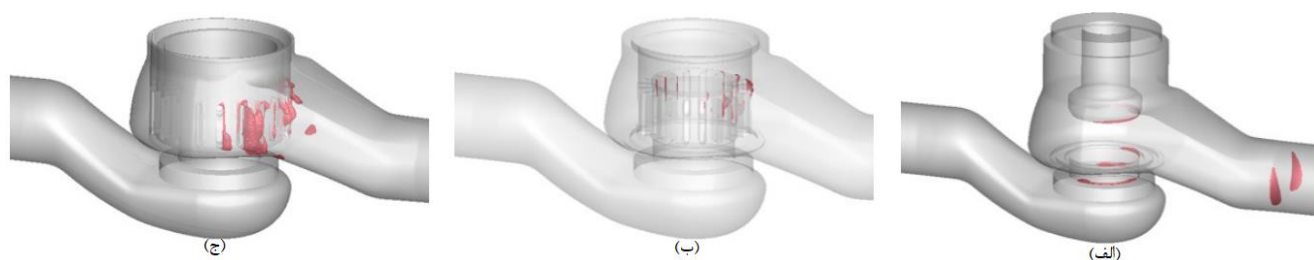
شکل ۲-۶: میزان کاویتاسیون رخ داده در حالت‌های مختلف (الف) بدون قفسه، (ب) قفسه تک مرحله‌ای، (ج) قفسه دو مرحله‌ای و (د) قفسه سه مرحله‌ای [۲۰]

جون یلی و همکاران [۲۱] به بررسی پدیده کاویتاسیون در شیر گلوب در حالت‌های بدون قفسه، تک قفسه‌ای و دو قفسه‌ای پرداختند. در این پژوهش ابتدا شیر گلوب در حالت‌های بالا مورد شبیه‌سازی قرار گرفت و سپس تاثیر فشار خروجی، دمای سیال و زاویه‌ی نصب قفسه مورد بررسی قرار گرفت. با شبیه‌سازی شیر در حالت بدون قفسه مشاهده شد که کاویتاسیون در ناحیه نشیمنگاه و پلاگ و همچنین ناحیه خروجی شیر رخ می‌دهد. با اضافه شدن یک قفسه به این شیر، ناحیه رخ دادن کاویتاسیون تغییر کرد. به این صورت که این پدیده فقط در ناحیه منافذ قفسه رخ داد. بنابراین اضافه

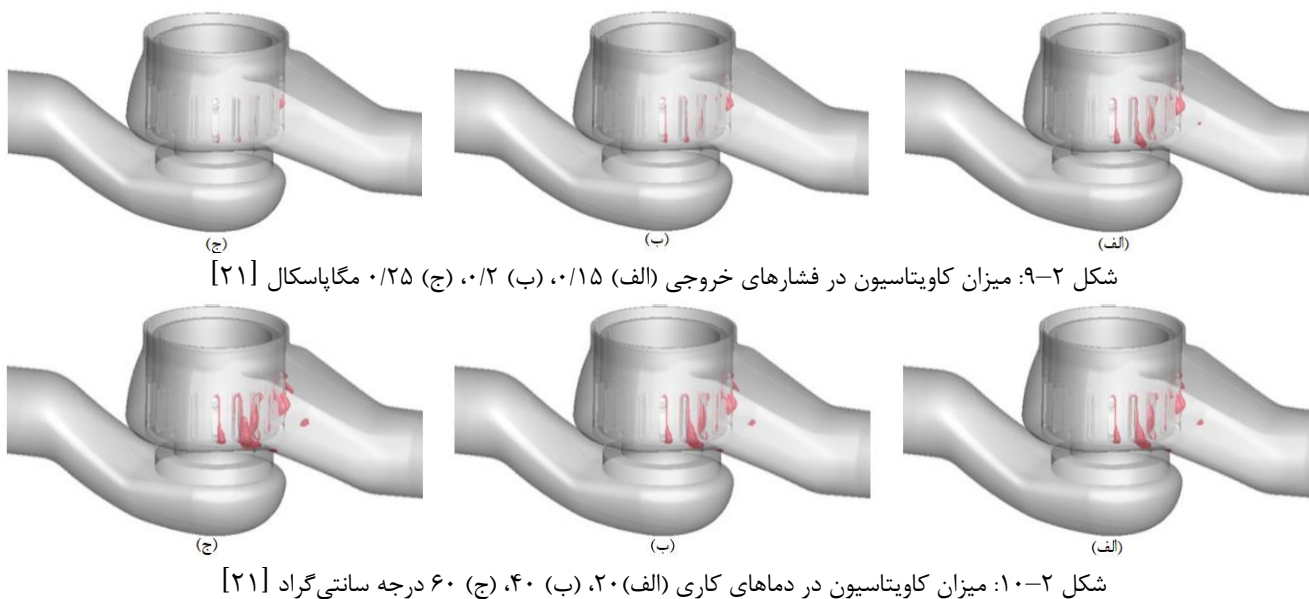
شدن قفسه باعث مصون ماندن بدنه اصلی شیر در برابر کاویتاسیون شد. اضافه شدن قفسه دوم نیز باعث کاهش میزان کاویتاسیون نسبت به مدل تک قفسه شد. در ادامه تاثیر فشار خروجی، دمای سیال و زاویه نصب قفسه بررسی شد. ابتدا با شبیه سازی در فشارهای خروجی متفاوت مشاهده شد که مقدار کاویتاسیون با افزایش فشار خروجی کاهش می یابد. با ادامه شبیه سازی ها در دماهای کاری متفاوت نیز نتیجه گیری شد که کاهش میزان دمای کاری سیال و همین طور افزایش زاویه نصب قفسه نیز باعث کاهش کاویتاسیون می شود. قابل ذکر است که کاهش دمای کاری کم ترین تاثیر را در بین حالت های مورد بررسی قرار گرفته در کاهش کاویتاسیون داشت. شکل ۲-۷ نمای کلی شیر گلوب و قفسه ای به کار رفته در این پژوهش را نمایش می دهد. شکل ۲-۸ میزان کاویتاسیون رخ داده در حالت های بدون قفسه، تک قفسه ای و دو قفسه ای را نمایش می دهد. شکل های ۲-۹ و ۲-۱۰ نیز به ترتیب، به بررسی تاثیر دمای کاری و فشار خروجی شیر در مقدار کاویتاسیون در حالت دو قفسه ای می پردازد.



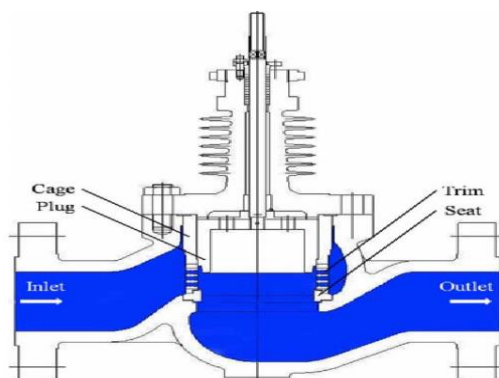
شکل ۲-۷: نمای کلی شیر گلوب و قفسه های به کار رفته در آن [۲۱]



شکل ۲-۸: میزان کاویتاسیون در حالت های (الف) بدون قفسه، (ب) تک قفسه ای و (ج) دو قفسه ای [۲۱]



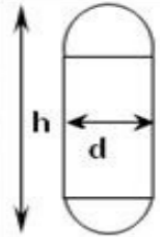
آن و همکاران [۲۲] عملکرد یک شیر گلوب با ساختار آنتی کاویتاسیون، به کار رفته در سیستم گاز طبیعی مایع دریایی را مورد مطالعه قرار دادند. در این پژوهش دو مدل متعارف و مدل جدید 200A برای قفسه شیر در نظر گرفته شد. در مدل متعارف از منافذ گوه‌ای شکل و در مدل 200A از منافذ استوانه‌ای شکل استفاده شد. هدف از این تحقیق، مقایسه‌ی این دو مدل در کنترل کاویتاسیون بود. با انجام شبیه‌سازی‌های متعدد در گشودگی‌های مختلف در این دو مدل، مشاهده شد که در مدل جدید 200A که دارای منافذ استوانه‌ای شکل بود، در کنترل کاویتاسیون عملکرد بهتری از خود نشان داد. در مدل 200A همانند مدل متعارف، افت فشار رخ داد، ولی فشار محلی غالباً بیشتر از فشار بخار سیال به کار رفته بود. به همین دلیل حجم کاویتاسیون در این مدل کمتر بود. شکل ۲-۱۱ شمای کلی شیر گلوب به کار رفته در این پژوهش را نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۱۱: شمای کلی شیر گلوب [۲۲]

راموهان و همکاران [۲۳] به مطالعه یک شیر گلوب با پنج قفسه متفاوت پرداختند. قفسه‌های به کار رفته در این پژوهش دارای منافذ شیاری شعاعی بودند. در این تحقیق تاثیر افزایش تعداد منافذ قفسه در حالتی که مساحت عبوری سیال ثابت باشد، مورد تحقیق قرار گرفت. در این پژوهش با افزایش تعداد منافذ از مساحت هر یک کم شد تا مساحت کل ثابت بماند. در انتها این قفسه‌ها با تعداد شیرهای مختلف در شرایط مرزی ثابت در حالت‌های تک‌فاز و دوفاز شبیه‌سازی شدند. مجرای متصل شده به این شیر دارای طول ورودی ۱۰ برابری و طول خروجی ۲۰ برابری قطر شیر بود. با بررسی نتایج به دست آمده در حالت تک‌فاز و دوفاز مشخص شد که با افزایش اختلاف فشار بین ورودی و خروجی، میزان دبی عبوری و مقدار افت فشار افزایش پیدا می‌کند. همچنین با افزایش تعداد منافذ در هر شرط مرزی ثابت، مقدار افت فشار کم‌تر می‌شد. بنابراین افزایش تعداد منافذ (در مساحت ثابت)، باعث کم‌تر شدن مقدار کاویتاسیون می‌شود. جدول ۲-۲ مشخصات منافذ به کار رفته در قفسه را نمایش می‌دهد.

جدول ۲-۲: ابعاد منافذ قفسه در مدل‌های مختلف [۲۳]

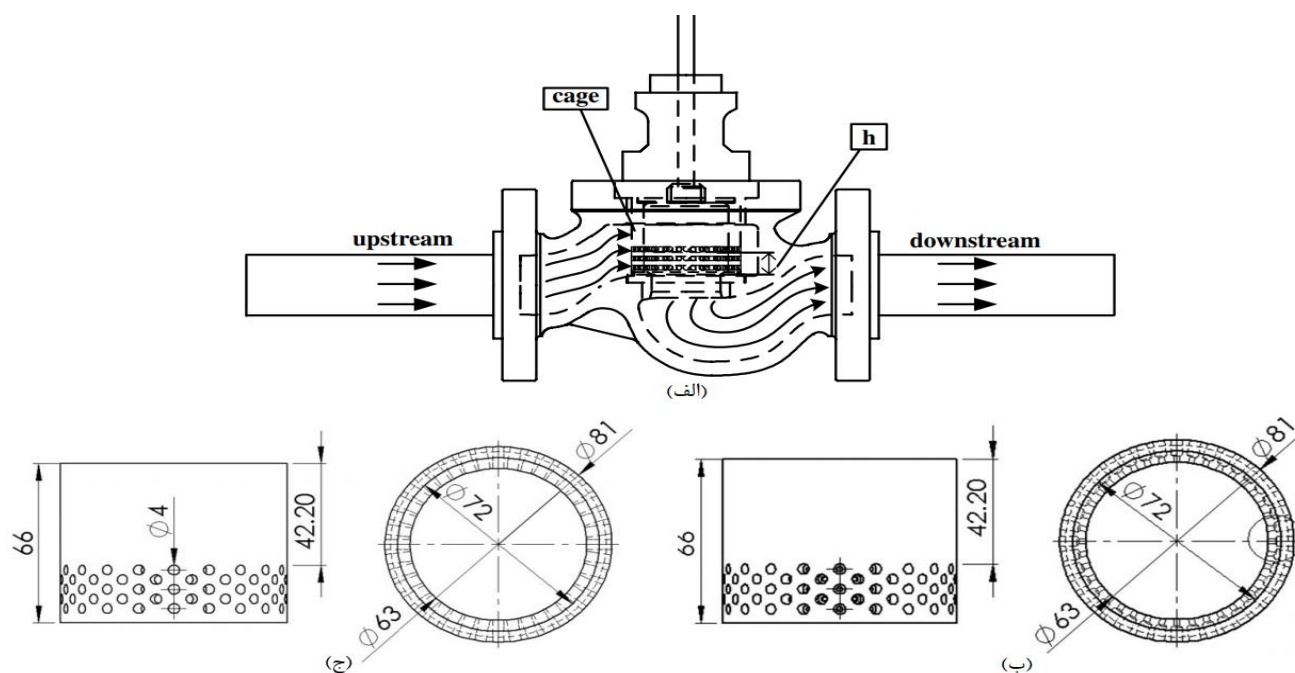
Total area = 981.1 mm ² Height of hole (h) = 17.5 mm			
Sl. No.	No. of orifices	Diameter of orifice(d)	
1	4	17.50	
2	6	10.50	
3	8	7.60	
4	12	4.87	

چرن و همکاران [۲۴] به بررسی یک شیر گلوب در حالت‌های معمولی و آنتی‌کاویتاسیون پرداختند. در این پژوهش دو نوع قفسه‌ی تک‌مرحله‌ای سوراخ‌دار^{۲۷} و تک‌مرحله‌ای پله‌ای^{۲۸} برای حالت آنتی‌کاویتاسیون به کار برده شد. در مدل تک‌مرحله‌ای سوراخ‌دار، منافذ شعاعی در محیط قفسه جهت عبور سیال تعبیه شده بودند، در مدل تک‌مرحله‌ای پله‌ای نیز منافذی شعاعی روی محیط قفسه قرار داشتند که سیال در هنگام عبور از آن‌ها دچار انقباض ناگهانی می‌شد. با انجام شبیه‌سازی‌های مختلف تاثیر افزودن قفسه و همچنین تاثیر میزان گشودگی در مقدار کاویتاسیون و همچنین محل رخ دادن آن بررسی شد. در ابتدا مشاهده شد که در مدل معمولی بدون قفسه کاویتاسیون بیشتر در نواحی پایین دست شیر رخ می‌دهد. افزودن قفسه باعث شد که در پایین دست شیر کاویتاسیون رخ ندهد، بلکه در نواحی منافذ قفسه ایجاد

^{۲۷} One-Stage Perforated Cage

^{۲۸} One Stage Step Cage

شود. در انتها هم مقدار کاویتاسیون به وجود آمده در مدل‌های مختلف در شرایط مرزی ثابت مقایسه شد. مقدار کاویتاسیون در مدل‌های قفسه‌دار کم‌تر از حالت بدون قفسه بود. در بین مدل‌های قفسه‌دار نیز مدل تک‌مرحله‌ای سوراخ‌دار از عملکرد بهتری در کنترل کاویتاسیون برخوردار بود. شکل ۲-۱۲ نمای کلی شیر گلوب و دو مدل قفسه به کار رفته در این تحقیق را نمایش می‌دهد.



شکل ۲-۱۲: نمای شماتیک (الف) شیر گلوب، (ب) قفسه تک‌مرحله‌ای سوراخ‌دار و (ج) قفسه تک‌مرحله‌ای پله‌ای [۲۴]

۴-۲ ضرورت انجام تحقیق

شیرهای کنترلی نقش مهمی را در سیستم‌های لوله‌کشی، انتقال آب و همچنین صنایع ایفا می‌کنند. در میان شیرهای کنترلی، شیر صنعتی گلوب معمولاً برای تنظیم و کنترل جریان در اختلاف فشارهای بالا به کار برده می‌شود. برای شیرهای گلوبی که مایعات از آن‌ها عبور می‌کند، کاویتاسیون یک مشکل بزرگ و جدی در عملکرد شیر به حساب می‌آید. در این نوع شیر، سیال در مسیر حرکت خود دچار افت فشار محلی^{۲۹} می‌شود. در صورتی که فشار سیال از فشار بخار خود کم‌تر شود، حباب‌های هوا تشکیل می‌شود که این حباب‌ها با رسیدن به منطقه پرفشار متلاشی می‌شوند. چنانچه کاویتاسیون در نزدیکی سطح دیسک یا بدنه شیر رخ دهد، امواج ناشی از انهدام حباب‌ها باعث آسیب دیدن اجزای داخلی شیر و همچنین سروصدا و لرزش می‌شود. در نتیجه شیر مورد نظر باید طی زمان کاری کوتاهی تعویض گردد. این امر باعث

^{۲۹} Local Pressure

ایجاد خسارات مالی بالایی می‌شود. با توجه با مشکلات بیان شده و کاربرد بالایی که این شیر دارد، باید تغییراتی در ساختار درونی شیر ایجاد شود تا اثرات مخرب کاویتاسیون کاهش پیدا کند. این تغییرات عموماً با اضافه کردن قفسه‌ها به درون ساختار شیر انجام می‌شود. در انتها باید بهترین نوع قفسه برای شیر انتخاب شود تا مقدار کاویتاسیون کاهش پیدا کرده و عمر کاری این شیر افزایش یابد.

۲-۵ نوآوری تحقیق

همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، با توجه به کارایی بالای شیر گلوب و مشکل کاویتاسیون در این شیر راهکارهایی جهت کنترل این پدیده وجود دارد. بهترین راهکار ارائه شده، نصب قفسه درون شیر است. این قفسه‌ها دارای شکل‌ها و ابعاد گوناگون و با شکل منافذ مختلف هستند. عوامل متعددی وجود دارد که در این قفسه‌ها می‌توان بررسی نمود. عواملی همچون استفاده از منافذ شیاری یا استوانه‌ای، آرایش و عمق منافذ، شکل داخلی منافذ و..... نکته‌ای که وجود دارد این است که تمامی متغیرها را به دلیل زمان‌بر بودن نمی‌توان به‌صورت جداگانه بررسی کرد. به همین دلیل برخی متغیرها همچون شکل، آرایش و قطر منافذ را از پژوهش‌های انجام شده توسط افراد و شرکت‌های دیگر جمع‌آوری شد. برخی دیگر از متغیرها همچون ضخامت قفسه را عواملی همچون محدودیت موجود در ابعاد شیر تعیین می‌کند. موضوعی که برای اولین بار در این تحقیق بررسی شد، تاثیر زاویه‌دار کردن منافذ می‌باشد. برای انجام این کار حالت‌های قفسه با منافذ شعاعی، قفسه با منافذ مایل به سمت کف و منافذ مایل به سمت بالای قفسه مورد پژوهش قرار گرفت، سپس تاثیر هر حالت بر میزان و محل وقوع کاویتاسیون بررسی شد. لازم به ذکر است که در تمامی حالت‌های بالا منافذ به میزان ۲۰ درجه زاویه‌دار شدند. در انتها مدلی که بهترین تاثیر را در کاهش وقوع کاویتاسیون روی بدنه شیر را دارد انتخاب می‌شود.

فصل ۳ معادلات حاکم

۱-۳ معادلات حاکم

در این بخش معادلات جریان برای یک مخلوط همگن^{۳۰} به دست می آید. تئوری جریان همگن، ساده ترین توصیف را برای تحلیل جریان های چند فازی ارائه می دهد. به عنوان تعریف، فاز یکی از حالت های ماده است که می تواند جامد، مایع یا گاز باشد. جریان چند فازی نیز جریانی است که حداقل دوفاز متفاوت در آن وجود داشته باشد. در نظریه جریان همگن حرکت نسبی بین فازها نادیده گرفته می شود. در حالت مخلوط کل فازهای موجود را به عنوان یک سیال در نظر گرفته می شود. خواص این سیال میانگین مناسبی از خواص اجزای تشکیل دهنده آن است. برای محاسبه معادلات جریان و خواص مخلوط ابتدا معادلات برای هر فاز جداسازی می شود [۲۵].

۲-۳ معادله پیوستگی جرم

با توجه به رخ دادن کاویتاسیون باید از معادلات چندفازی در شبیه سازی ها استفاده کرد. در ابتدا به بررسی معادله پیوستگی برای یک مخلوط چند فازی پرداخته می شود. معادله پیوستگی جرم برای فاز k ام در یک سیال چند فازی به صورت زیر می باشد [۲۶]:

$$\frac{\partial \rho_k \alpha_k}{\partial t} + \frac{\partial \rho_k \alpha_k u_{k,i}}{\partial x_i} = M_k \quad (۱-۳)$$

در این فرمول ρ_k چگالی عضو k ، $\alpha_k = \frac{V_k}{V}$ کسر حجمی عضو k که برابر است با نسبت حجم اشغال شده توسط عضو k در حجم کل (V) ، u_k سرعت عضو k و M_k میزان تبدیل جرم از فاز k به فاز دیگری می باشد. کمیت M_k هم مقدار فعل و انفعال جرم را نمایش می دهد. برای هر عضو یا فاز سیال یک معادله پیوستگی مانند معادله (۱-۳) وجود دارد. فرض می شود که کل دامنه مسئله توسط فازهای مختلف پر شده است و همین طور از آن جایی که مقدار جرم کل باید ثابت باشد، بنابراین مجموع مقادیر فعل و انفعالات جرم صفر می باشد. در انتها با جمع کردن تمامی معادلات پیوستگی فازهای مختلف، معادله پیوستگی برای حالت مخلوط به دست می آید.

$$\sum_k \alpha_k = 1 \quad (۲-۳)$$

^{۳۰} Homogeneous Mixture

$$\sum_k M_k = 0 \quad (3-3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\sum_k \rho_k \alpha_k \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\sum_k \rho_k \alpha_k u_{k,i} \right) = 0 \quad (4-3)$$

۳-۳ معادله ممنتوم

در این بخش با توجه به فرض چندفازی بودن سیال به بررسی معادله ممنتوم در حالت دوفازی پرداخته می‌شود. با عنایت به توضیحات داده شده، معادله بقای ممنتوم در جهت j و در فاز k به صورت زیر نوشته می‌شود [۲۶]:

$$\frac{\partial \rho_k \alpha_k u_{k,j}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho_k \alpha_k u_{k,j} u_{k,i}) = -\frac{\partial \alpha_k p_k}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\alpha_k \mu_k \frac{\partial u_{k,j}}{\partial x_i} - \alpha_k \rho \overline{u_i u_j}) + F_{k,j} \quad (7-3)$$

در این فرمول p_k فشار درون فاز k است که می‌تواند به عنوان میانگین فشار میکروسکوپی در نظر گرفته شود. $F_{k,j}$ نیرویی است که فازهای دیگر به فاز k وارد می‌کند. $F_{k,j}$ را نیروهای همچون کشش سطحی، نیروی شناوری و نیروهای دیگر که ناشی از سطوح مشترک بین فازها و همچنین فعل و انفعالات جرمی از فازی به فازی دیگر است، تشکیل می‌دهد. با تعریف مقدار فشار کل سیال چندفازی و با جمع کردن تمام معادلات ممنتوم در جهت j ، معادله ممنتوم برای حالت مخلوط به دست می‌آید. در این معادله نیز حاصل جمع مقادیر $F_{k,j}$ برای فازهای مختلف و در جهت‌های مختلف صفر می‌شود.

$$\sum_k F_{k,j} = 0 \quad (8-3)$$

$$p = \sum_k \alpha_k p_k \quad (9-3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} \sum_k \rho_k \alpha_k u_{k,j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \sum_k (\rho_k \alpha_k u_{k,j} u_{k,i}) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} + \frac{\partial}{\partial x_i} \sum_k (\alpha_k \mu_k \frac{\partial u_{k,j}}{\partial x_i} - \alpha_k \rho \overline{u_i u_j}) \quad (10-3)$$

۴-۳ معادله‌ی کاویتاسیون

مدل Schnerr-Sauer [۲۷] یکی از مدل‌های پیچیده و دقیق در مدل‌سازی کاویتاسیون می‌باشد. این امر به این دلیل است که معادلات به کار رفته در این مدل، از طریق دینامیک حباب‌ها به دست می‌آید. معادله انتقال برای تغییر فاز و همین‌طور کسر حجمی به طور کلی به صورت زیر می‌باشد [۲۸]:

$$\frac{D}{Dt} \rho_v \alpha_v + \rho_v \alpha_v \frac{\partial}{\partial x_i} u_{k,i} = R_{source} = R_v - R_c \quad (11-3)$$

$$\alpha_v = \frac{V_v}{V_{cell}} = \frac{N_{bubbles} \frac{4}{3} \pi R^3}{V_v + V_l} = \frac{n_0 V_l \frac{4}{3} \pi R^3}{n_0 V_l \frac{4}{3} \pi R^3 + V_l} = \frac{n_0 \frac{4}{3} \pi R^3}{1 + n_0 \frac{4}{3} \pi R^3} \quad (12-3)$$

در معادله انتقال، R_{source} تغییرات فاز، R_v میزان تبخیر، R_c میزان میعان را مدل سازی می کنند. در فرمول کسر حجمی نیز V_{cell} حجم سلول محاسباتی، V_v و V_l نیز به ترتیب حجم اشغال شده توسط فاز بخار و مایع، $N_{bubbles}$ تعداد حباب ها در سلول محاسباتی، n_0 میزان جمع شدن حباب ها در واحد حجم مایع خالص و R شعاع حباب را نمایش می دهد. در این مدل، معادله ی رایلی-پلسست^{۳۱} میزان رشد و فروپاشی را در یک محیط آزاد نمایش می دهد [۲۸]:

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 = \frac{p(R) - p_\infty}{\rho_l} - \frac{2\sigma}{\rho_l R} - 4 \frac{\mu}{\rho_l R} \frac{dR}{dt} \quad (13-3)$$

در این فرمول $p(R)$ فشار مایع در مرز حباب می باشد. معمولاً مقدار این فشار را برابر با فشار بخار در نظر گرفته می شود. عبارت p_∞ نیز مقدار فشار محیط را نشان می دهد. در ادامه دو کمیت R_v و R_c از این معادله محاسبه می شود [۲۹]:

$$R_v = \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \alpha_v (1 - \alpha_v) \frac{3}{R} \sqrt{\frac{2(p_v - p)}{3\rho_l}}, \text{ when } p_v \geq p \quad (14-3)$$

$$R_c = \frac{\rho_v \rho_l}{\rho} \alpha_v (1 - \alpha_v) \frac{3}{R} \sqrt{\frac{2(p - p_v)}{3\rho_l}}, \text{ when } p_v \leq p \quad (15-3)$$

۳-۵ معرفی مدل های توربولانسی

مدل های توربولانسی برای سادگی کار و جلوگیری از حل جریان با در نظر گرفتن نوسانات در تمامی ابعاد، به کار می روند. تاکنون مدل های زیادی برای تخمین اثرات توربولانسی در حل جریان بر پایه معادلات ناویر استوکس متوسط گیری شده توسط رینولدز ارائه شده است. اما تاکنون یک مدل توربولانسی جامع که بتوان برای تمام جریان ها و کاربردهای صنعتی و تحقیقاتی، با اطمینان و دقت بالا از آن استفاده کرد، وجود ندارد. در این بخش به بررسی مدل های توربولانسی به کار رفته در شبیه سازی ها پرداخته می شود [۳۰].

^{۳۱} Rayleigh-Plesset

۳-۵-۱ مدل $k - \epsilon$ Standard

یکی از مدل‌های معروف جریان‌های توربولنت در مسائل دینامیک سیالات محاسباتی که به‌عنوان یک مدل استاندارد و کاربرد در صنعت شناخته شده است، مدل $k - \epsilon$ (یا $k - \epsilon$) می‌باشد. این مدل یک مدل دومعادله‌ای است که از دقت و پایداری خوبی برای اهداف مدل‌سازی‌های عمومی برخوردار است و به سبب قدمت و هزینه محاسباتی پایین، یکی از پرکاربردترین مدل‌های اغتشاشی در مسائل مهندسی است. از این مدل می‌توان در جریان‌هایی که از قبل به شدت آشفته می‌باشند، مانند جریان برشی آزاد، لایه مرزی، لایه اختلاطی، جریان جت و آن هم در صورتی که که تنها نتایج کیفی و سریع مورد نظر باشد، استفاده کرد. این مدل بیشتر برای کاربردهای صنعتی استفاده می‌شود.

مزایای این مدل:

از این مدل می‌توان، برای تعیین کیفی پروفیل کمیت‌های مختلف، ساختار کلی جریان یا تعیین یک حدس اولیه برای استفاده در مدل‌های پیچیده‌تر، استفاده نمود. از دیگر مزایای دیگر می‌توان به سادگی، پایداری، همگرایی راحت، حساسیت کم آن نسبت به مشخصات جریان آزاد مثل شدت اغتشاشات، هزینه محاسباتی پایین و نتایج قابل قبول برای گستره وسیعی از جریان‌ها اشاره نمود. این مدل همچنین برای مدل‌سازی جریان‌های شامل احتراق، شناوری و اثرات تراکم‌پذیری اصلاحاتی دارد که نتایج خوبی را در اختیار قرار می‌دهد.

معایب این مدل:

دقت این مدل برای مسائل پیچیده و مطالعات دانشگاهی پایین بوده و تنها برای جریان‌های کاملاً آشفته نتایج خوبی ارائه می‌کند. استفاده از این مدل در جریان‌هایی که شامل جدایش لایه مرزی (خصوصاً در جریان‌های تراکم‌پذیر)، جریان در مجاری غیر دایروی (به نحوی که جریان بازگشتی ایجاد گردد)، جریان‌های بدون مرز یا محصور نشده خاص (مانند جریان آب رودخانه‌ها در ورودی به دریا)، جریان روی سطوح انحنا دار (مانند بسیاری از مسائل آیرودینامیکی که در آن سطوح خارجی دارای انحنای زیادی می‌باشند و خطوط جریان دچار انحنای زیاد می‌شوند)، جریان با گرادیان فشار زیاد یا جریان‌های چرخشی و دورانی توصیه نمی‌شود [۳۰].

با توجه به توضیحات داده شده، این مدل، یک مدل رایج برای شبیه‌سازی جریان‌های داخلی می‌باشد. با توجه به ویژگی‌های مناسب، همگرایی خوب در حل عددی، از این مدل در شبیه‌سازی دوفازی شیر گلوب با ساختار بدون قفسه

استفاده شد.

۳-۵-۲ مدل $k - \epsilon$ RNG

این مدل از اعمال یک تکنیک آماری به نام تئوری Renormalization Group روی معادلات ناویر-استوکس به دست آمده است و تا حد زیادی شبیه به معادله $k - \epsilon$ Standard می باشد. مدل RNG نسبت به مدل استاندارد شامل اصلاحات زیر می باشد:

✓ این مدل شامل یک ترم اضافی در معادله انتقال ϵ می باشد تا دقت در جریان هایی که به شدت تحت کرنش قرار دارند، افزایش یابد.

✓ دقت این مدل در اعمال اثرات چرخشی در جریان مغشوش نسبت به مدل استاندارد افزایش یافته است.

✓ ثوابت این مدل به صورت تحلیلی به دست آمده اند و با مدل استاندارد کمی تفاوت دارد.

✓ برخلاف مدل استاندارد که مدلی برای اعداد رینولدز بالا است، این مدل به کمک یک رابطه تحلیلی دیفرانسیلی برای لزجت موثر، می تواند در جریان های با اعداد رینولدز پایین نیز مورد استفاده قرار می گیرد.

استفاده از این مدل در جریان های برشی پیچیده که شامل نرخ کرنش شدید، چرخش کم و گردابه های زیاد هستند و به صورت موضعی در حال گذار می باشند (به عنوان مثال جدایش لایه مرزی، جدایش زیاد، نوسان گردابه ها در پشت اجسام، تخلیه جریان داخل فضای بسته و ...) نسبت به مدل استاندارد دقت بالاتری دارد.

مزایای این مدل:

در این مدل ساختارهای اغتشاشی بزرگ مقیاس، بیشتر از ساختارهای کوچک مقیاس، در حل جریان تاثیر دارند. در جریان های با رینولدز پایین یا جریان های پیچیده این مدل از دقت بالاتری نسبت به مدل استاندارد برخوردار می باشد. انتقال حرارت در جریان های مغشوش نیز در این مدل بهتر از مدل استاندارد مدل می شود. از دیگر مزایای این مدل می توان به پایداری، همگرایی راحت، حساسیت کم به مشخصات جریان آزاد (مثل شدت اغتشاشات) و اقتصادی بودن آن اشاره کرد.

معایب این مدل:

همانند مدل استاندارد، یکی از معایب این مدل در نحوه مدل کردن معادله نرخ تلفات گردابه ای و به تبع آن پیش بینی

نرخ پخش در مورد جت‌های دارای محور تقارن می‌باشد. اگرچه دقت این مدل نسبت به مدل استاندارد در مدل‌سازی جریان‌های شامل جدایش بهتر است، اما همچنان در پیش‌بینی نقطه شروع و مقدار جدایش جریان در حضور گرادیان فشار نامطلوب، نسبت به مدل‌های $k - \omega$ دقت پایین‌تری دارد [۳۰].

با نصب قفسه‌ها درون شیر گلوب مسیر حل مسئله دچار تغییرات زیادی می‌شد. با توجه به آشفتگی بالا در سیال و همین‌طور پیشنهاد مقالات انجام شده در این زمینه، از مدل $k - \epsilon$ RNG در شبیه‌سازی دوفازی شیر گلوب به همراه قفسه‌ها استفاده شده است.

۳-۵-۳ مدل $BSL k - \omega$

یکی از مشکلات عمده در مدل‌سازی جریان‌های مغشوش، پیش‌بینی دقیق جدایش جریان از روی سطوح صاف می‌باشد. این موضوع یکی از موضوعات مهم در مسائل مکانیک، مانند مسائل آیرودینامیک هواپیماها و توربوماشین‌ها می‌باشد، زیرا جدایش جریان از روی بال پدیده و اماندگی را به دنبال خواهد داشت. با توجه به اهمیت این مسئله جامعه علمی آیرودینامیک، مدل‌های توربولانسی پیشرفته‌تر زیادی را طراحی نمودند. از مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های $k - \omega$ اشاره کرد.

در مدل $BSL k - \omega$ مشکل حساسیت بیش از حد به شرایط جریان آزاد و مقدار ω تعیین شده در ورودی که در مدل‌های دیگر این خانواده وجود دارد، برطرف شده است. در این مدل با یک تغییر وضعیت دقیق و هموار، در نواحی نزدیک دیوار از مدل $k - \omega$ و در نواحی دور از دیوار از مدل $k - \epsilon$ استفاده شده است. از این مدل برای جریان‌های لایه مرزی پیچیده (مانند کاربردهای آیرودینامیکی، هوا فضایی، توربوماشین‌ها، نوسان گردابه‌ها در پشت اجسام) استفاده می‌شود. از این مدل می‌توان با دقت بالاتری نسبت به مدل‌های $k - \epsilon$ ، برای پیش‌بینی نقطه شروع و مقدار جدایش جریان در حضور گرادیان فشار نامطلوب استفاده نمود.

مزایای این مدل:

این مدل محاسن مربوط به هر دو مدل $k - \omega$ / $k - \epsilon$ Standard را دارد. به این ترتیب که حساسیت این مدل نسبت به شرایط آزاد نسبت به مدل $k - \omega$ Standard کم‌تر است (چون در خارج از لایه‌مرزی از مدل $k - \epsilon$ Standard استفاده می‌کند) و از طرفی دقت این مدل در نزدیکی دیواره جسم از مدل $k - \epsilon$ Standard بیشتر است (چون در

لایه‌مرزی از مدل $k - \omega$ Standard استفاده می‌کند).

معایب این مدل:

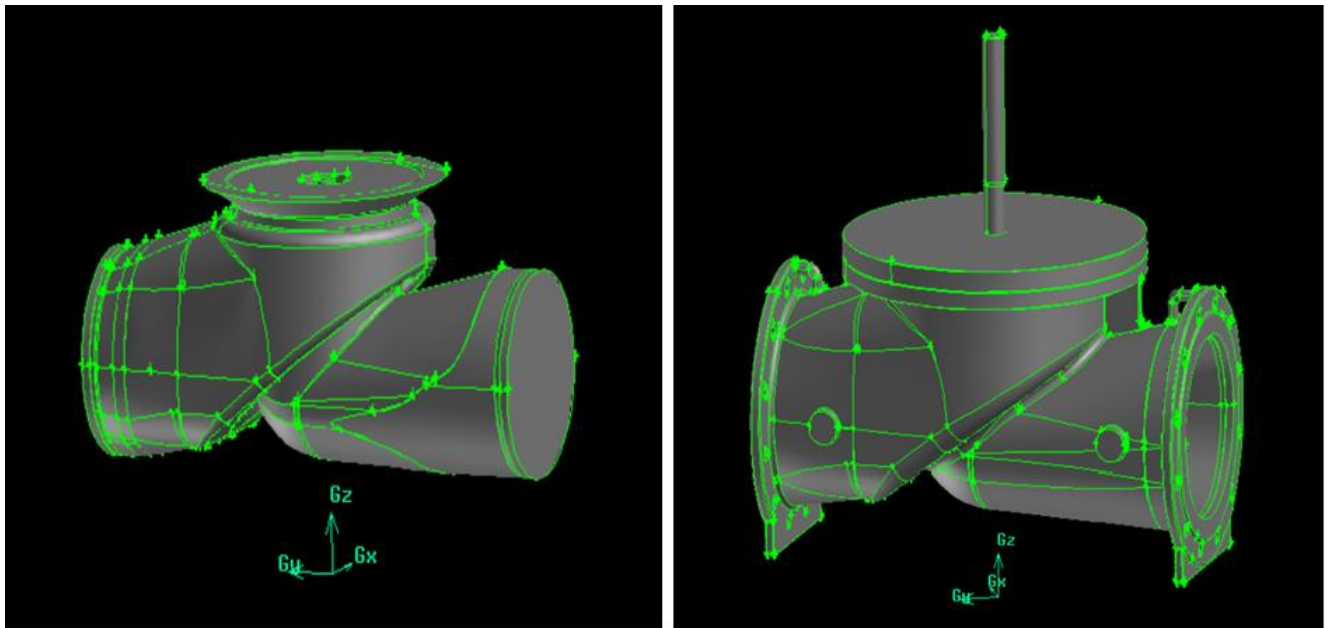
در نظر نگرفتن انتقال تنش برشی اغتشاشی در هر دو مدل $k - \epsilon$ / $k - \omega$ Standard باعث تخمین بیش از حد لزجت گردابه‌ای می‌گردد و نهایتاً باعث می‌شود تا شروع جدایش و مقدار آن اندکی زودتر و بیشتر تخمین زده شود. هزینه محاسباتی این مدل نسبت به مدل‌های $k - \epsilon$ / $k - \omega$ Standard بیشتر است [۳۰].

یکی از بخش‌های مهم در انجام این پروژه، بخش شبیه‌سازی‌های تک‌فاز می‌باشد. مدل توربولانسی $k - \omega$ BSL دارای نرخ همگرایی بسیار مناسبی در حل تک‌فاز می‌باشد. لازم به ذکر است که نتایج تک‌فازی این مدل با نتایج مدل Standard $k - \epsilon$ تقریباً یکسان می‌باشد. ولی به دلیل همگرایی سریع‌تر از این مدل توربولانسی در تمامی شبیه‌سازی‌های تک‌فاز استفاده شد.

فصل ۴ مدل سازی و شبیه سازی تک فاز و دو فاز شیر کلوب

۱-۴ ساده سازی شیر گلوب شرکت میراب

در این قسمت به ساده‌سازی شیر گلوب طراحی شده توسط شرکت میراب جهت آماده‌سازی برای شبکه‌بندی و سپس شبیه‌سازی، پرداخته می‌شود. این عملیات در نرم‌افزار گمبیت^{۳۲} صورت می‌پذیرد. بدنه‌ی شیر گلوب مورد نظر دارای صفحات زیادی است که تاثیری بر روند شبیه‌سازی ندارد و سیالی از مجاورت آن‌ها عبور نمی‌کند. به همین دلیل لازم است که این صفحات حذف شوند. در مرحله‌ی اول ساده‌سازی ابتدا پس از فراخوانی فایل شیر، حجم کلی را به صفحه تبدیل کرده تا صفحات قابل اصلاح شوند. پس از این کار تمامی صفحات اضافی که تاثیری بر روند حل ندارند حذف می‌شوند. پس از انجام این مرحله صفحاتی در ورودی و خروجی شیر جهت ایجاد حجم جدید تشکیل داده می‌شود. در این حالت شیر از سه حجم مجزای بدنه، پلاگ و نشیمنگاه تشکیل شده است. جهت ایجاد یک حجم واحد و درست جهت عبور سیال با استفاده از دستور کم کردن^{۳۳}، از حجم شیر حجم‌های پلاگ و نشیمنگاه کم می‌شود. شکل ۱-۴ به شمای کلی شیر را قبل از حذف سطوح اضافی و بعد از آن را نمایش می‌دهد.



شکل ۱-۴: شمای کلی شیر (الف) قبل از ساده‌سازی و (ب) بعد از ساده‌سازی

پس از انجام مراحل فوق باید به بررسی صفحات با دقت بیشتری پرداخت. پس از بررسی، تعدادی صفحه (حدود ۱۰ الی

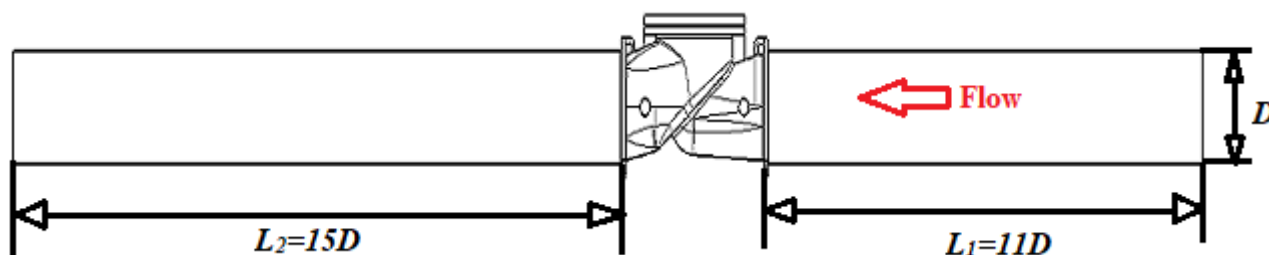
^{۳۲} Gambit

^{۳۳} Subtract

۱۵ صفحه) یافت می‌شود که بسیار کوچک بوده و تنها با بزرگ‌نمایی مشخص می‌شوند. این صفحات ریز در عملیات شبکه‌بندی مشکل‌آفرین هستند. به همین دلیل لازم است این صفحات اصلاح شوند. برای این کار بار دیگر حجم را به صفحه تبدیل می‌کنیم. لازم به ذکر است که این صفحات بسیار کوچک به دلیل اختلاف تیلانس بین نرم‌افزارهای کتیا^{۳۴} و گمبیت به وجود آمده است. برای حل این مشکل ابتدا صفحه‌ی کوچک و صفحه‌ی دیگری را که در یک ضلع با صفحه کوچک مشترک است حذف کرده و سپس با استفاده از خطوط باقیمانده یک صفحه واحد تشکیل داده می‌شود که هر دو صفحه قبل را پوشش می‌دهد. پس از انجام مراحل فوق صفحات به حجم تغییر داده می‌شوند. حجم به دست آمده به طور کامل ساده‌سازی شده است و آماده عملیات شبکه‌بندی می‌باشد.

۲-۴ شبکه‌بندی شیر گلوب شرکت میراب

پس از اتمام کامل عملیات ساده‌سازی باید سراغ شبکه‌بندی شیر موردنظر رفت. در ابتدا باید دو مجرا به ورودی و خروجی شیر متصل شود. طول این دو مجرا باید به اندازه‌ای باشد که سیال در آن‌ها به طور کامل توسعه یافته شود. قطر این دو مجرا مانند قطر ورودی و خروجی شیر 0.302 متر است. طول در نظر گرفته شده برای این دو مجرا نیز به ترتیب ۱۱ برابر و ۱۵ برابر قطر شیر برای طول ورودی و طول خروجی می‌باشد. شکل شماره ۲-۴ شمای کلی شیر ذکر شده به همراه مجراهای متصل شده به آن را نمایش می‌دهد.

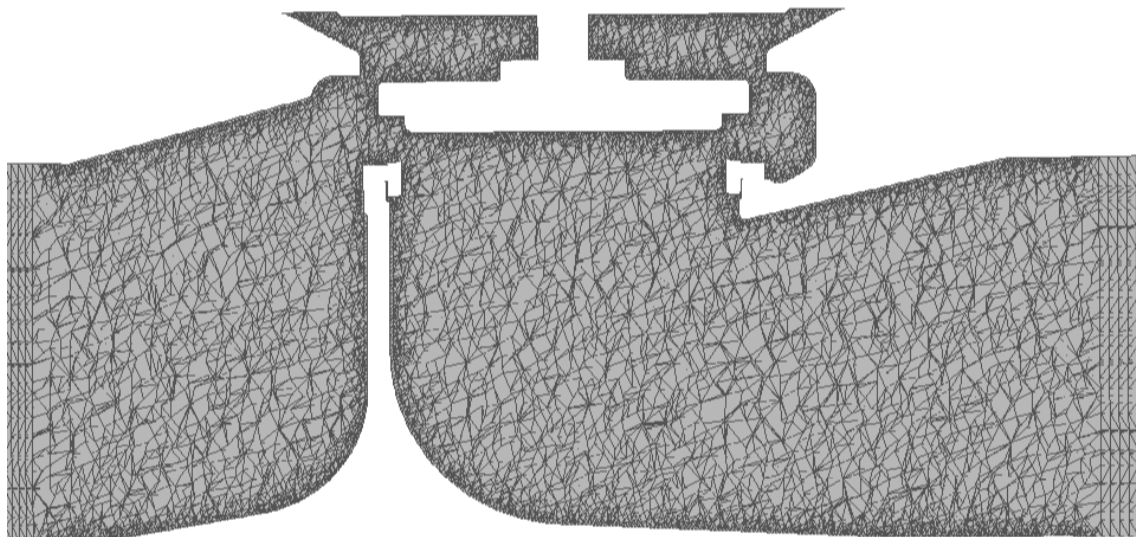


شکل ۲-۴: شمای کلی شیر به همراه لوله‌های متصل شده به آن

پس از اتصال لوله‌ها باید شیر را شبکه‌بندی کرد. برای بالا رفتن دقت در شبیه‌سازی‌ها از شبکه‌ها با اندازه‌ی ۲ میلی‌متر در ناحیه سطوح پلاگ و شبکه‌ها با اندازه حدود ۳ میلی‌متر در بقیه نواحی بدنه شیر استفاده شده است. سائز شبکه در نواحی داخلی شیر نیز ۹ میلی‌متر می‌باشد. با شبکه‌بندی سه‌بعدی شیر با این اندازه‌ها، به طور میانگین ۲۸۰۰۰۰۰ شبکه

^{۳۴} Catia

سه‌بعدی شش وجهی تشکیل می‌شود. شکل ۳-۴ شبکه‌ها را در یک صفحه برشی (در حالت گشودگی ۵۰٪) نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این شکل مشخص است، شبکه‌ها در نزدیکی پلاگ و دیواره شیر کوچک‌تر می‌باشد.



شکل ۳-۴: شمای کلی شبکه‌ها در یک صفحه برشی

پس از شبکه‌بندی شیر، باید مجراها را شبکه‌بندی کرد. با توجه به حساسیت کم‌تر مجرا نسبت به شیر، میتوان از شبکه‌های بزرگتری استفاده کرد تا از هزینه‌های محاسباتی و همین‌طور اتلاف وقت جلوگیری کرد. در این حالت اندازه شبکه‌ها درون لوله با افزایش فاصله از شیر افزایش می‌یابند. برای شبکه‌بندی مجراها می‌توان از دو مدل شبکه شش وجهی و هشت وجهی استفاده کرد. در ادامه به‌طور معمول از شبکه‌های شش وجهی با اندازه‌ی ۹ میلی‌متر در نزدیکی شیر و ۳۶ میلی‌متر در ورودی و خروجی مجراها استفاده شد. در این حالت حدود ۸۵۰۰۰ شبکه در مجرای ورودی و حدود ۱۲۰۰۰۰ شبکه در مجرای خروجی به‌وجود می‌آید. در صورت استفاده از مدل شبکه هشت وجهی، شبکه‌ها با اندازه‌ی ۹ میلی‌متر در مجراها تشکیل شدند. در این حالت حدود ۴۰۰۰۰۰ شبکه به‌طور مجموع در دو مجرا به‌وجود آمدند.

۳-۴ شبیه‌سازی تک‌فاز شیر گلوب

در این بخش ابتدا با فرض تک‌فاز بودن جریان آب، رفتار هیدرولیکی شیر گلوب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این شبیه‌سازی از فرضیات زیر استفاده شده است:

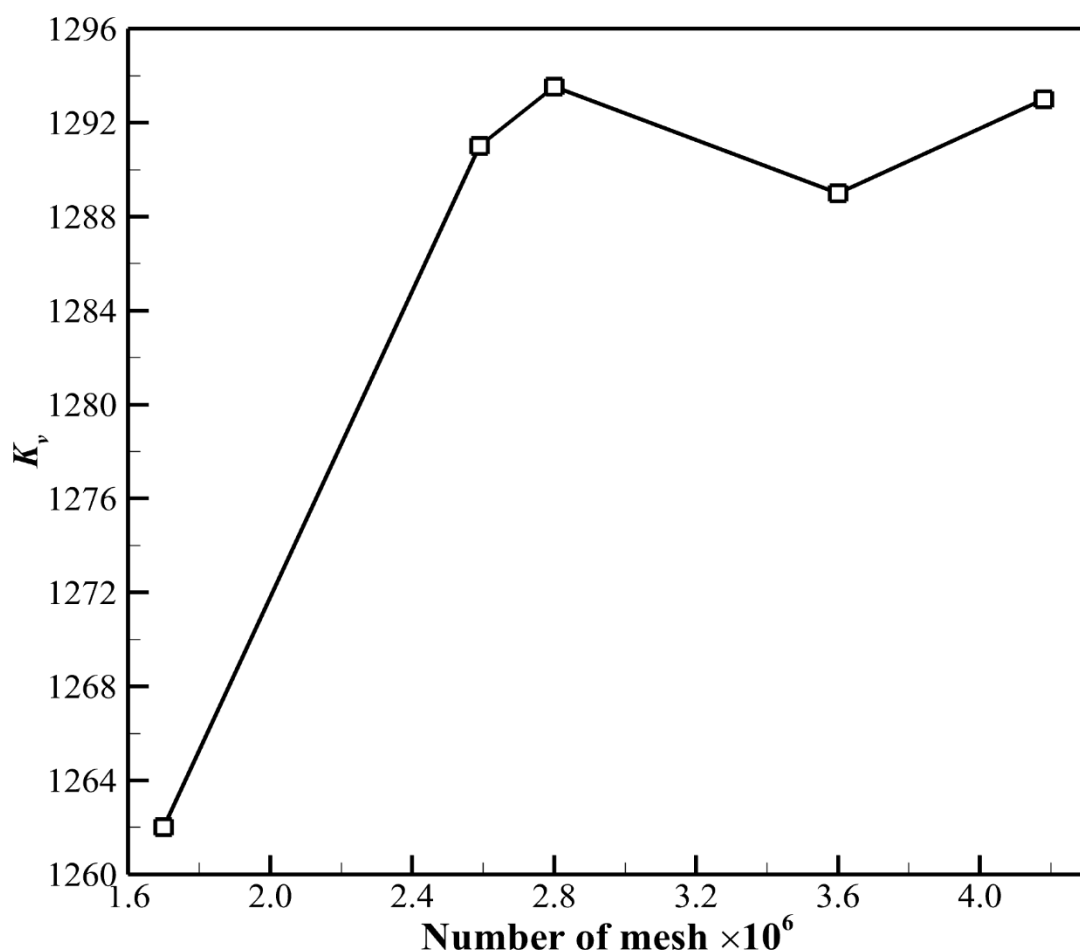
- جریان تک‌فازی است و فاز بخار ناشی از کاویتاسیون در آن حضور ندارد.
- ویژگی‌های سیال در دمای ثابت ۲۵ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است.
- برای اطمینان از اینکه فرض تک‌فازی خطای زیادی در محاسبات ایجاد نکند و در عمل نیز پدیده کاویتاسیون و بلاکیج جریان رخ ندهد از اختلاف فشارها و سرعت ورودی‌های پایین استفاده شده است.
- جریان تراکم‌ناپذیر و سیال مورد استفاده آب در شرایط استاندارد می‌باشد.
- شرایط جریان آشفته و مدل آشفته $k - \omega$ BSL لحاظ شده است.

در این شبیه‌سازی، شیر گلوب در وضعیت گشودگی‌های ۲۰، ۳۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد قرار گرفته و برای هر گشودگی، دامنه حل مطابق توضیحات بخش ۲-۴، شبکه‌بندی شده است. با اعمال شرایط مرزی مختلف (فشار ورودی و فشار خروجی یا سرعت ورودی و فشار خروجی) در هر گشودگی مقدار دبی جریان (Q) محاسبه و از نرم‌افزار استخراج می‌گردد. فشار متوسط در دو صفحه ورودی و خروجی شیر گلوب (P_1, P_2) محاسبه و اختلاف آن‌ها $\Delta P = P_1 - P_2$ محاسبه می‌گردد. سپس ضریب شیر (K_v) از رابطه‌ی $K_v = \frac{Q}{\sqrt{\Delta P}}$ تعیین می‌شود. در این شبیه‌سازی‌ها از شرط مرزی سرعت ورودی و فشار خروجی استفاده شده است. که مقدار سرعت ورودی برای گشودگی‌های ۲۰، ۳۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۰/۸، ۰/۴، ۰/۷۵، ۰/۸ و ۰/۹ متر بر ثانیه و همین‌طور برای فشار خروجی تمامی حالت‌ها مقدار ۰/۱ بار در نظر گرفته شد.

۱-۳-۴ آنالیز استقلال حل از تعداد شبکه بندی

یکی از راهکارهای اطمینان از جواب شبیه‌سازی، تغییر در تعداد شبکه‌ها و مطالعه تغییرات مقدار K_v است. برای این کار شبیه‌سازی در شبکه‌هایی با تعداد ۱۷۰۰۰۰، ۲۵۹۰۰۰، ۲۸۰۰۰۰، ۳۶۰۰۰۰ و ۴۱۸۰۰۰۰ المان برای گشودگی ۱۰۰ درصد انجام گرفت. با انجام این عملیات نتیجه‌گیری شد که مقدار K_v در تعداد شبکه‌های بالاتر از ۲۵۰۰۰۰

تقریباً ثابت می‌باشد و دارای مسیر همگرایی مناسبی است و در شبیه‌سازی‌های دوفاز نیز مناسب‌تر می‌باشد، به همین دلیل در ادامه شبیه‌سازی‌ها از تعداد شبکه‌های بین ۲۵۰۰۰۰۰ تا ۲۸۰۰۰۰۰ استفاده شد. شکل ۴-۴ تغییرات مقدار K_p برحسب تعداد شبکه‌ها در گشودگی ۱۰۰٪ را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشخص است، با افزایش تعداد شبکه‌ها تغییر خاصی در مقدار K_p به‌وجود نمی‌آید.



شکل ۴-۴: تغییرات مقدار K_p برحسب تعداد شبکه‌ها در گشودگی ۱۰۰٪

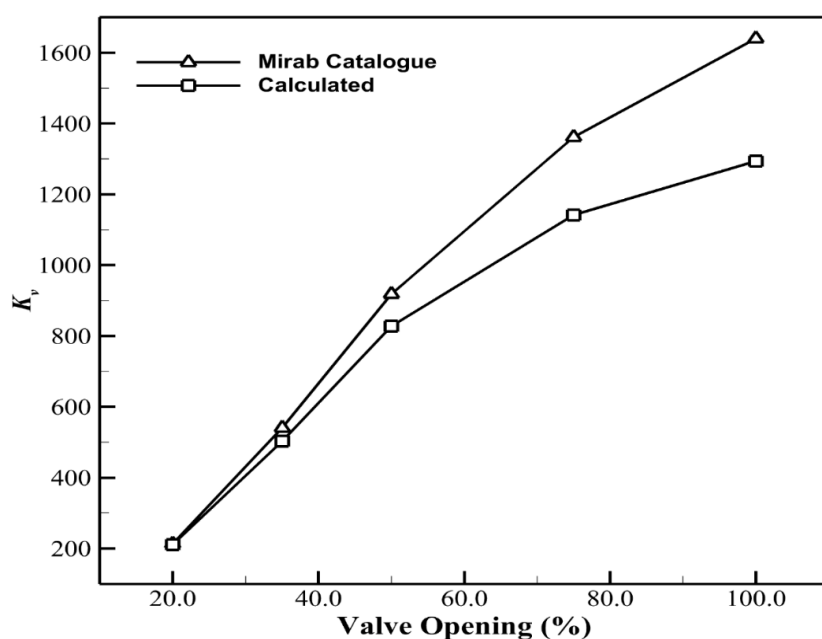
۲-۳-۴ بررسی نتایج در حالت تک‌فازی برای شیر گلوب

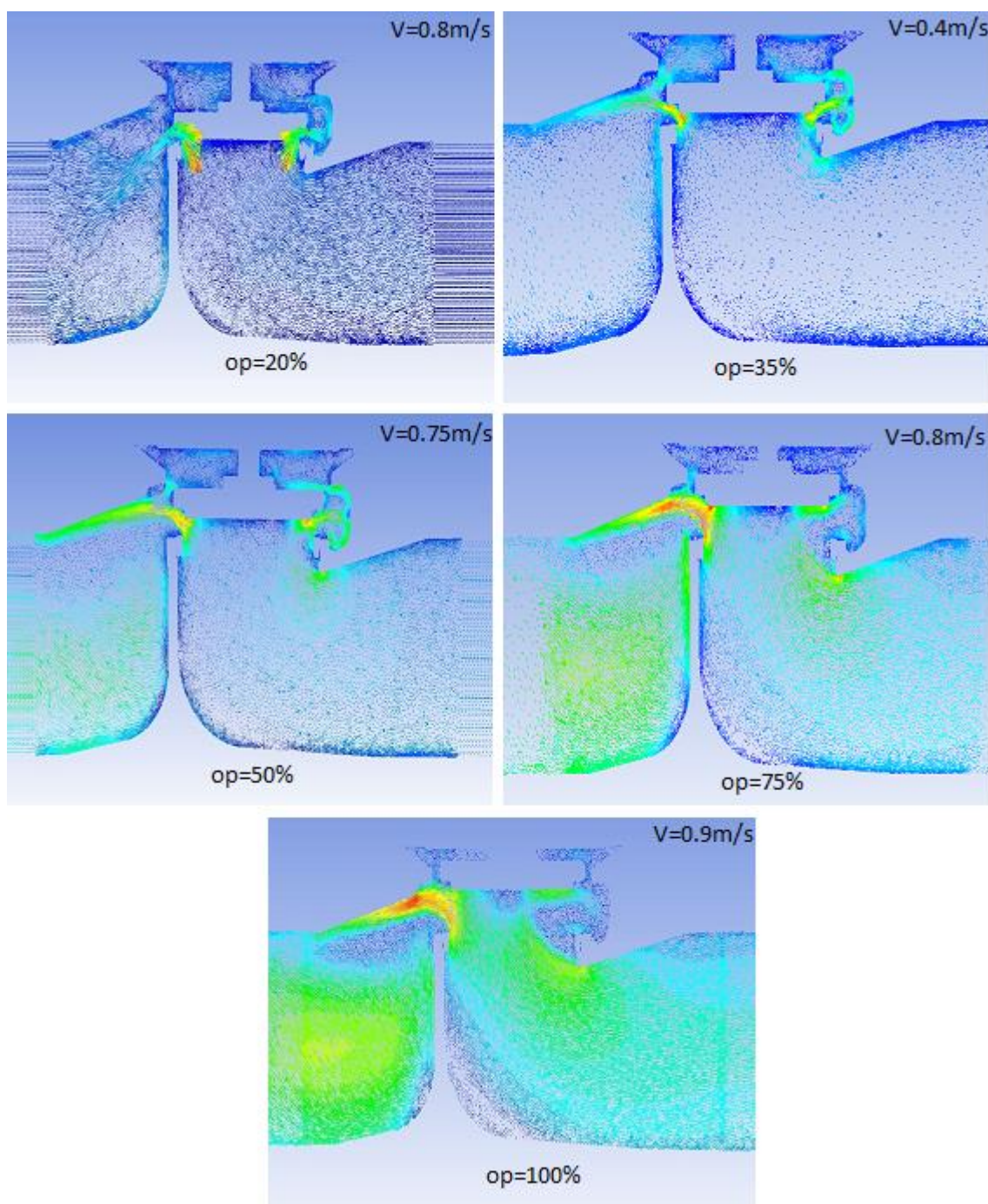
در این بخش خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر گلوب در جدول ۴-۱ آورده شده و با نتایج مندرج در کاتالوگ شرکت میراب مقایسه و اعتبار سنجی شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش گشودگی شیر نتایج حاصل از شبیه‌سازی و نتایج مندرج در کاتالوگ همخوانی مناسب‌تری دارد. نتایج مندرج در کاتالوگ همگی براساس انجام تحقیقات تجربی روی مدل اولیه می‌باشد. بنابر اظهار نظر کارشناسان فنی شرکت میراب، مدلی که در این پژوهش مورد بررسی قرار

گرفت، در طول فرایند تولید تغییر اندکی نسبت به مدل اولیه پیدا کرد. بنابراین نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌های انجام شده در این تحقیق، می‌تواند با نتایج مندرج در کاتالوگ اختلاف داشته باشد. نکته مهم دیگری که در نتایج این پژوهش می‌تواند تاثیرگذار باشد، استفاده از مدل‌های عددی برای مدل‌سازی پارامترهایی همچون آشفتگی، کسر حجمی و ... می‌باشد. به‌طور کلی مدل‌های عددی با حالت واقعی تفاوت‌هایی دارند که این تفاوت‌ها می‌توانند باعث بروز خطا شوند. به‌عنوان مثال، آشفتگی سیال در هنگام عبور آن درون شیر بسیار بالا می‌باشد و حتی با افزایش سرعت مقدار آن نیز افزایش می‌یابد. بنابراین با توجه به اختلافی که میان مدل عددی و حالت واقعی وجود دارد، این احتمال وجود دارد که با افزایش آشفتگی، میزان خطا نیز افزایش پیدا کند. شکل ۴-۵ وضعیت بردارهای سرعت اطراف دیسک در سه گشودگی مذکور را نمایش می‌دهد. با دقت به تصاویر نتیجه‌گیری می‌شود که مقادیر سرعت در ناحیه بین پلاگ و نشیمنگاه افزایش می‌یابد. این امر می‌تواند به این دلیل باشد که در این ناحیه سطح عبوری سیال ناگهان کاهش می‌یابد. همچنین هرچه میزان گشودگی کاهش یابد، میزان سرعت بیشتر افزایش پیدا می‌کند.

جدول ۴-۱: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر گلوب در حالت تک‌فازی

Item	Valve Opening (%)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Calculated K_v	Mirab Catalogue K_v	Error (%)
1	20	206.3	1.071	0.109	210.3	213.2	1.3%
2	35	103.1	0.144	0.102	502.77	541.2	7.1%
3	50	193.4	0.161	0.107	828.1	918.4	9.8%
4	75	206.3	0.140	0.107	1141.8	1361	16.1%
5	100	232.1	0.142	0.110	1294	1640	21%





شکل ۴-۵: بردارهای سرعت در سرعت‌ها و گشودگی‌های مختلف

۴-۴ شبیه‌سازی دوفاز شیر گلوب

در این بخش با فرض دوفازی بودن جریان، رفتار هیدرولیکی شیر گلوب مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هندسه و فرضیات انجام شده در این بخش، مطابق شبیه‌سازی تک‌فازی جریان می‌باشد با این تفاوت که از مدل دوفازی (mixture) نرم‌افزار فلونت در پیش‌بینی شروع کاویتاسیون و از مدل آشفته $k - \epsilon$ که برای شبیه‌سازی جریان‌های دوفازی توصیه می‌گردد، استفاده شده است. در این شبیه‌سازی‌ها، به جهت اینکه بتوان قضاوت مناسبی از شروع و نحوه تشکیل کاواک داشت بهرگیری می‌شود. شبیه‌سازی‌ها در گشودگی‌های مختلف انجام شده و نتایج مربوط به ضریب شیر (k_v)، شکل کاواک و همچنین ضریب کاویتاسیون گزارش می‌شود. لازم به توضیح است که فشار بخار آب در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد معادل عدد 0.03493 بار در نظر گرفته شده است.

۴-۴-۱ نتایج شبیه‌سازی دوفاز شیر گلوب

در این بخش نتایج شبیه‌سازی دوفازی شیر گلوب در جداول ۴-۲ الی ۴-۶ آورده شده است. در این جداول برای هر گشودگی چندین شبیه‌سازی مجزا (در دبی/سرعت‌های مختلف) انجام شده و آستانه تشکیل کاواک (بروز پدیده کاویتاسیون) نیز مشخص شده است. در این جداول P_1 و P_2 فشار متوسط در ورودی و خروجی شیر و $\Delta P = P_1 - P_2$ می‌باشند.

جدول ۴-۲: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر گلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۲۰٪

op (degree)	$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right)$	$V \left(\frac{\text{m}}{\text{s}} \right)$	$\Delta P (\text{bar})$	Calculated K_v	Cavitation Size
20	193.4	0.75	0.87751	206.4634	No Cavitation
20	257.87	1	1.55618	206.7170	Start
20	386.81	1.5	3.33858	211.6980	Very Small
20	515.75	2	6.20764	207.0013	Small
20	902.56	3.5	21.12402	196.3749	Moderate
20	1224.9	4.75	39.77428	194.2221	Big

جدول ۳-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۳۵٪

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
35	515.75	2	1.0274	508.8222	No Cavitation
35	644.7	2.5	1.60338	509.1297	Start
35	773.6	3	2.327	507.0481	Very Small
35	902.6	3.5	3.222	502.8014	Small
35	1289	5	7.01585	486.7839	Moderate
35	1934	7.5	16.84901	471.173	Big

جدول ۴-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۵۰٪

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
50	812.3	3.15	1.011957	807.4874	No Cavitation
50	979.92	3.8	1.471932	807.6924	Start
50	1134.6	4.4	1.97791	806.781	Very Small
50	1289.4	5	2.5768	803.224	Small
50	1740.6	6.75	4.9593	781.62009	Moderate
50	2140.3	8.3	7.8993	761.534	Big

جدول ۵-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۷۵٪

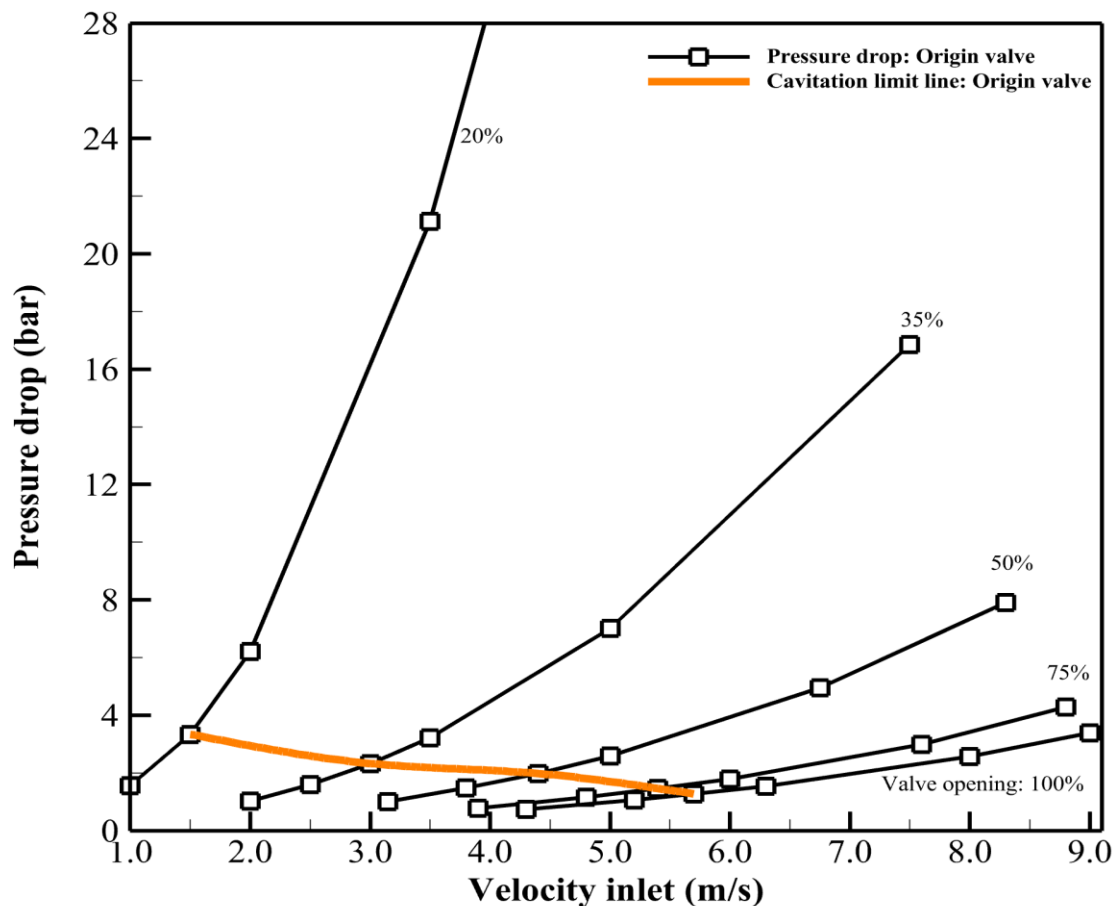
op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
75	1005.7	3.9	0.76749	1147.9767	No Cavitation
75	1237.8	4.8	1.15939	1149.5628	Start
75	1392.5	5.4	1.46195	1151.6816	Very Small
75	1547.2	6	1.78714	1157.3853	Small
75	1959.8	7.6	2.97819	1135.6464	Moderate
75	2269.3	8.8	4.28039	1096.8494	Big

جدول ۶-۴: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۱۰۰٪

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
100	1108.9	4.3	0.72751	1300.0337	No Cavitation
100	1340.9	5.2	1.06266	1300.8008	Start
100	1469.9	5.7	1.27216	1303.1955	Very Small
100	1624.6	6.3	1.54546	1306.8243	Small
100	2063	8	2.56680	1287.6561	Moderate
100	2320.9	9	3.39236	1260.0783	Big

با توجه به جداول ۲-۴ تا ۶-۴ همانگونه که انتظار می‌رود با افزایش سرعت سیال (یا افزایش دبی جریان)، میزان و حجم کاویتاسیون افزایش می‌یابد، که در نتیجه منجر به کاهش ضریب K_v شیر می‌گردد. در حقیقت مطابق تئوری‌های موجود

با افزایش حجم بخار کاویتاسیون، پدیده بلاکیج^{۳۵} جریان مانع عبور جریان شده و ضریب k_v شیر را کاهش می‌دهد. با عنایت به تعریف ضریب کاویتاسیون نتیجه‌گیری می‌شود در حالتی که فشار محلی برابر با فشار بخار سیال می‌باشد حباب‌های هوا در آستانه تشکیل قرار می‌گیرند، همچنین در حالت وقوع کاویتاسیون مقدار این ضریب به دلیل کمتر بودن فشار محلی نسبت به فشار بخار سیال منفی می‌باشد. با کاهش هر چه بیشتر فشار محلی نسبت به فشار بخار، مقدار ضریب کاویتاسیون کوچک‌تر شده و میزان کاویتاسیون نیز افزایش پیدا می‌کند. شکل ۴-۶ نمودار تغییرات افت فشار (بر حسب بار) به‌ازای سرعت سیال ورودی به شیر گلوب (بر حسب متر بر ثانیه) را در گشودگی‌های مختلف نمایش می‌دهد. در این شکل خط وقوع و آغاز پدیده کاویتاسیون^{۳۶} نیز نمایش داده شده است. مطابق این نمودار، ناحیه بالای خط کاویتاسیون ناحیه همراه با کاویتاسیون و ناحیه پایین خط کاویتاسیون ناحیه امن و فاقد کاویتاسیون می‌باشد.

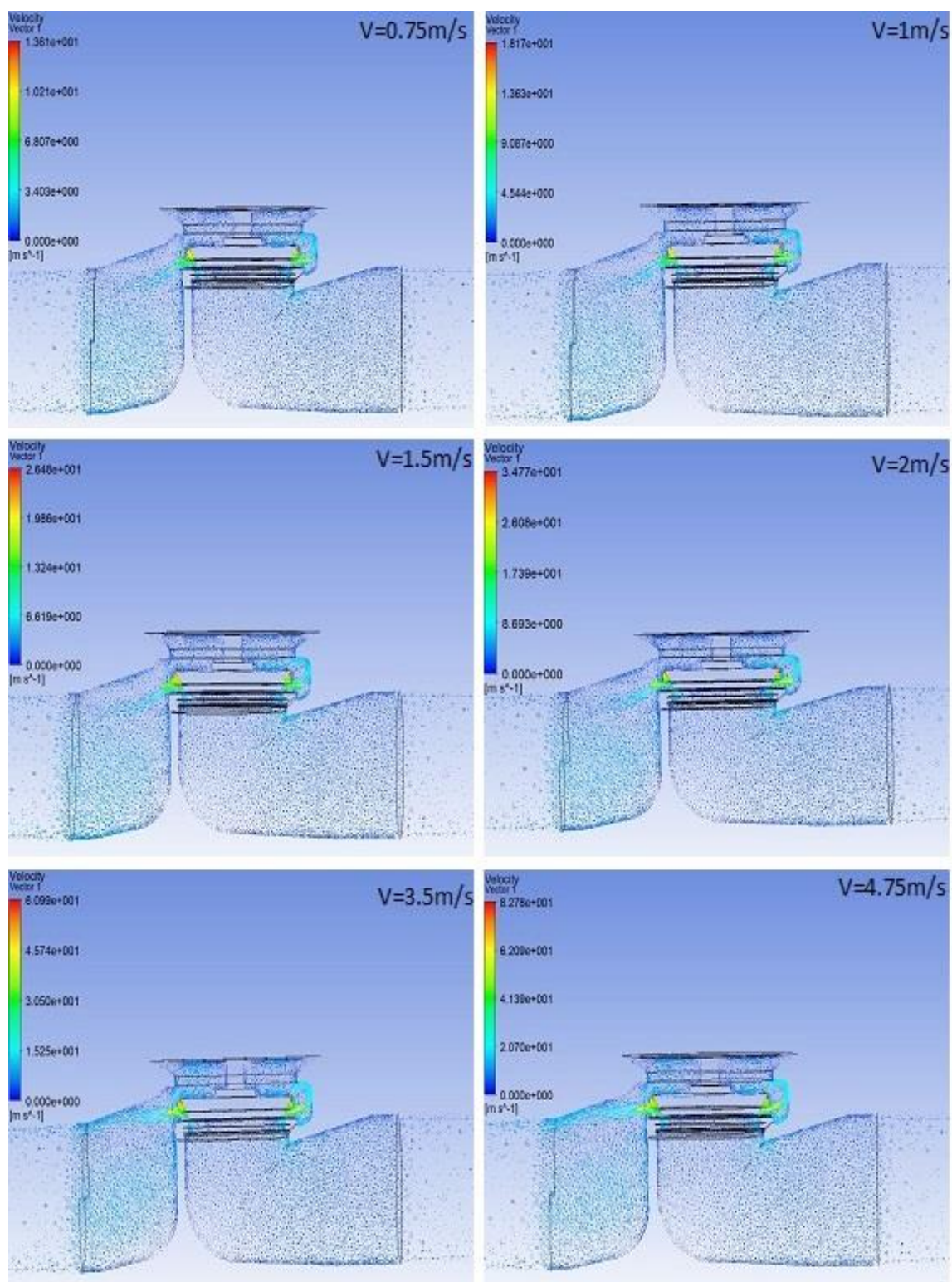


شکل ۴-۶: تغییرات افت فشار (bar) بر حسب سرعت ورودی (m/s) را در گشودگی‌های مختلف. در این شکل خط وقوع و آغاز پدیده کاویتاسیون (Cav. Line) نیز نمایش داده شده است.

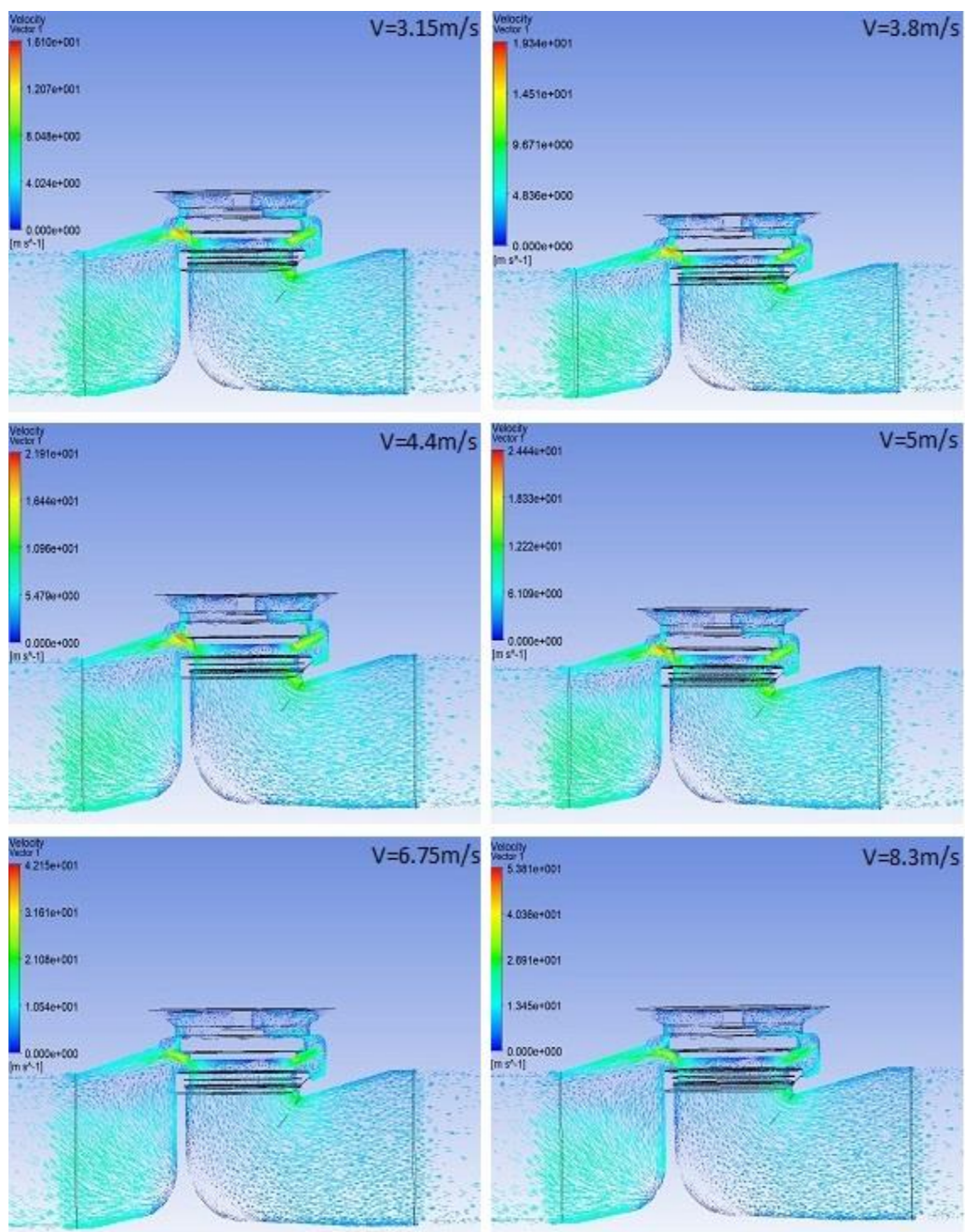
^{۳۵} Blockage

^{۳۶} Cavitation Line

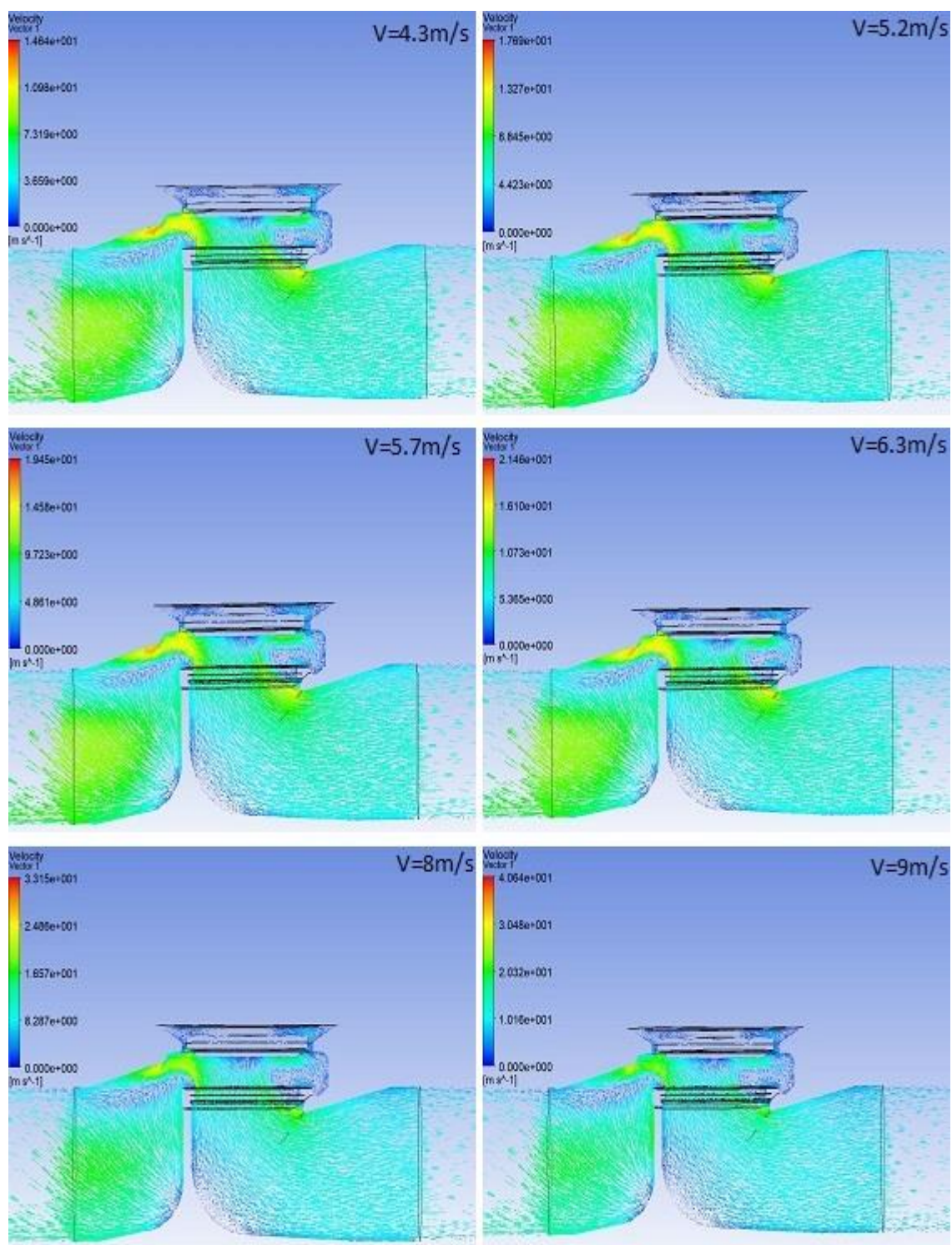
شکل‌های ۷-۴ الی ۹-۴ بردار سرعت سیال را در گشودگی‌های مختلف و سرعت‌های ورودی مختلف نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که برای کاهش حجم تصاویر، بردارهای سرعت فقط برای گشودگی‌های ۲۰، ۵۰ و ۱۰۰ درصد نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بیشترین سرعت سیال در فضای بین دیسک و نیشمنگاه دیسک رخ می‌دهد که همین فضا محلی برای آغاز و شکل‌گیری حباب‌های کاویتاسیون خواهد بود. این امر به این دلیل است که در این ناحیه سطح عبوری سیال ناگهان کاهش می‌یابد. با توجه به قانون پیوستگی میزان دبی عبوری همواره ثابت می‌باشد. با عنایت به این قضیه با کاهش ناگهانی سطح عبوری، سرعت سیال افزایش می‌یابد. مطابق کانتورهای ضریب کاویتاسیون که در شکل‌های ۱۰-۴ الی ۱۴-۴ نمایش داده شده است، در سرعت‌های پایین نواحی بسیار کوچکی با ضریب کاویتاسیون منفی در میان پلاگ و نیشمنگاه ایجاد شده است. با افزایش دبی جریان عبوری از شیر، به دلیل افت فشار بیشتر، این نواحی گسترش پیدا می‌کنند و نواحی کناره دیواره شیر را نیز در بر می‌گیرند. این امر باعث افزایش میزان کاویتاسیون و حجم کاواک خواهند شد. نتیجه تغییرات ضریب کاویتاسیون در شکل‌های ۱۵-۴ تا ۱۹-۴ در قالب تشکیل کاواک و حجم کاواک در دبی‌های مختلف و گشودگی‌های مختلف نمایش داده شده است. اندازه‌های کیفی گزارش شده در جداول ۲-۴ تا ۶-۴ براساس حجم کاواک مشاهده شده در این تصاویر می‌باشد. همان‌طور که مشخص است حباب‌های کاویتاسیون ابتدا در ناحیه بین پلاگ و نیشمنگاه رخ می‌دهد و سپس با افزایش سرعت ورودی، حباب‌های کاویتاسیون بیشتری در نواحی داخلی شیر تشکیل می‌شود.



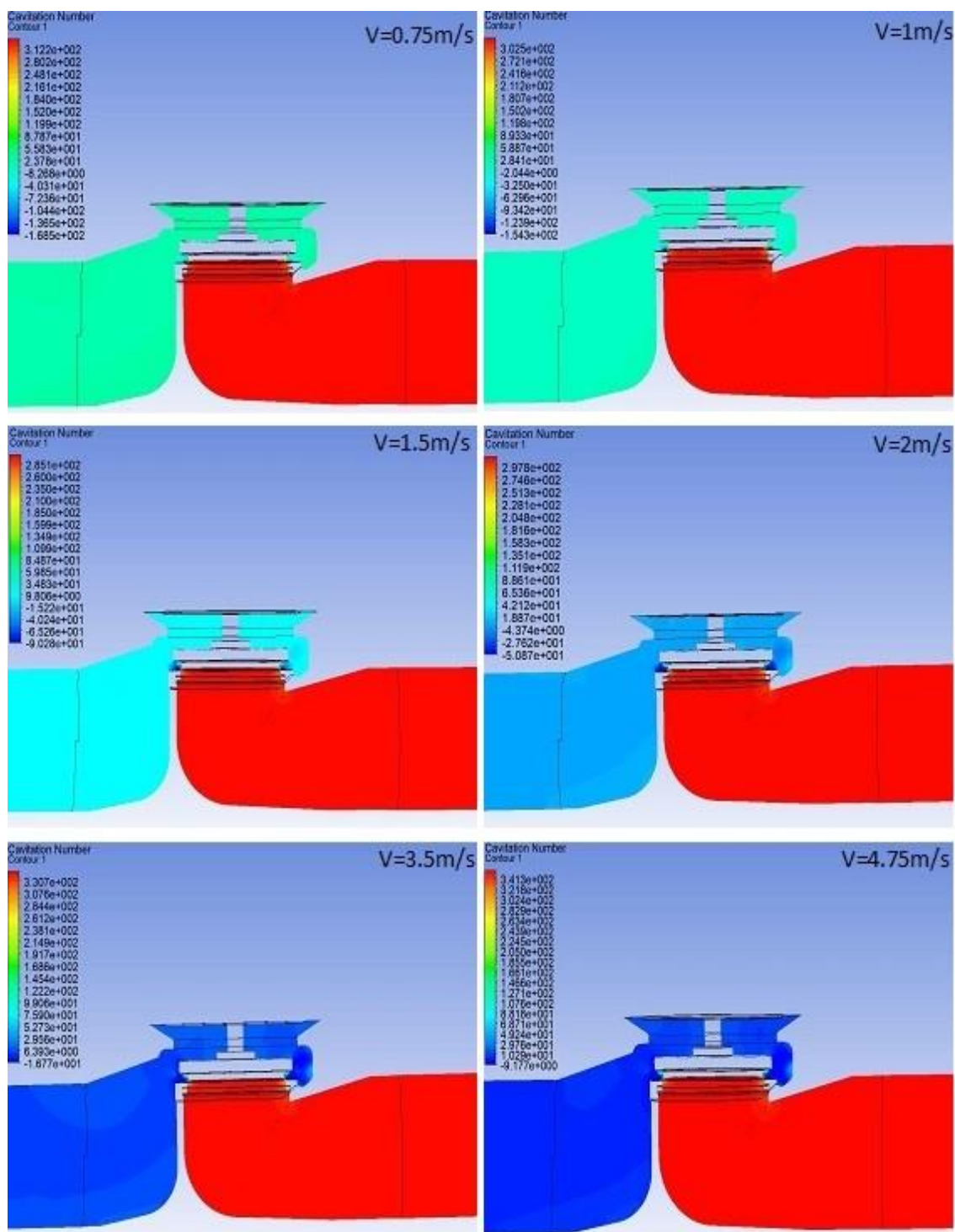
شکل ۴-۷: بردار سرعت شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪



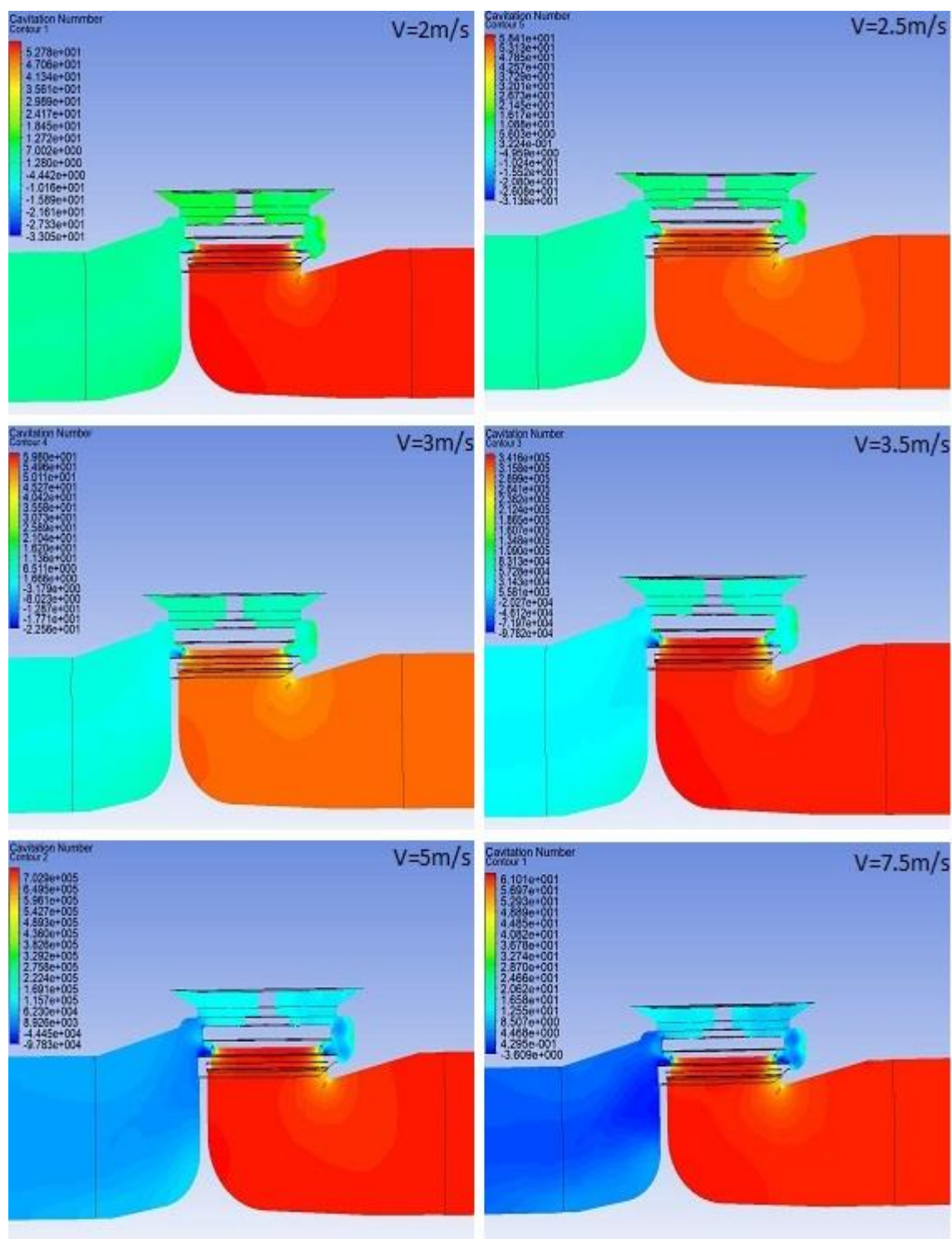
شکل ۴-۸: بردار سرعت شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪



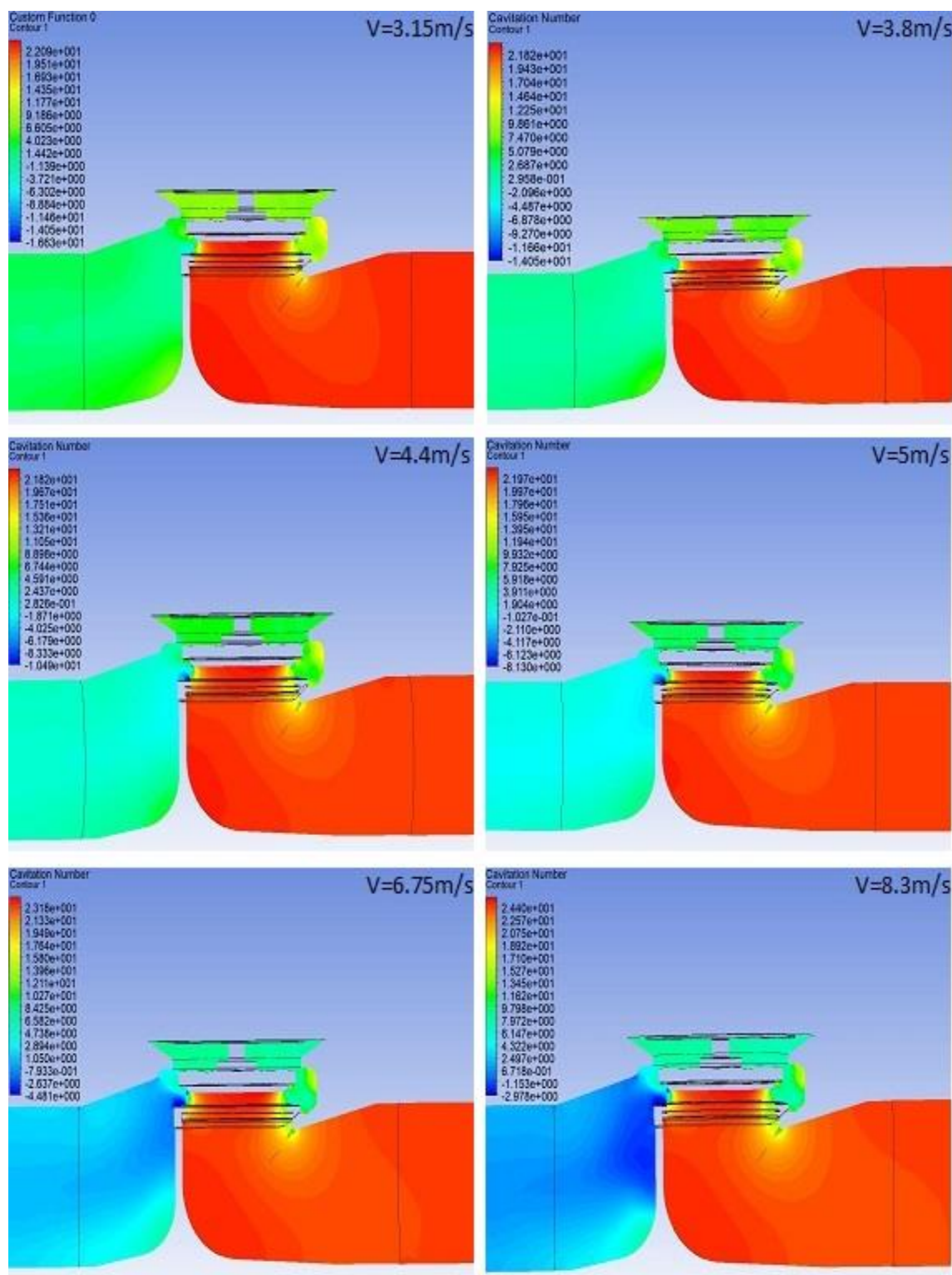
شکل ۴-۹: بردار سرعت شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪



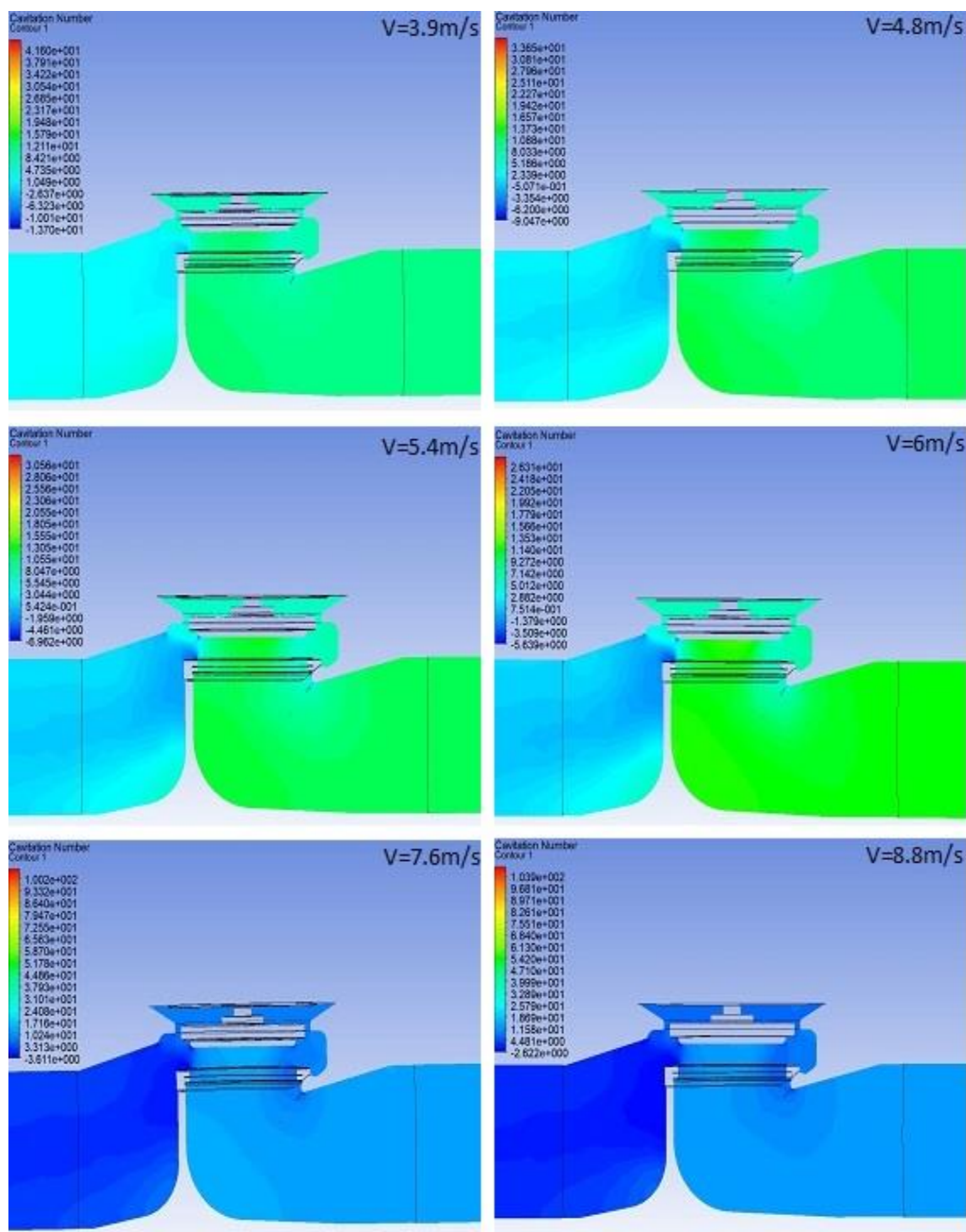
شکل ۴-۱۰: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪



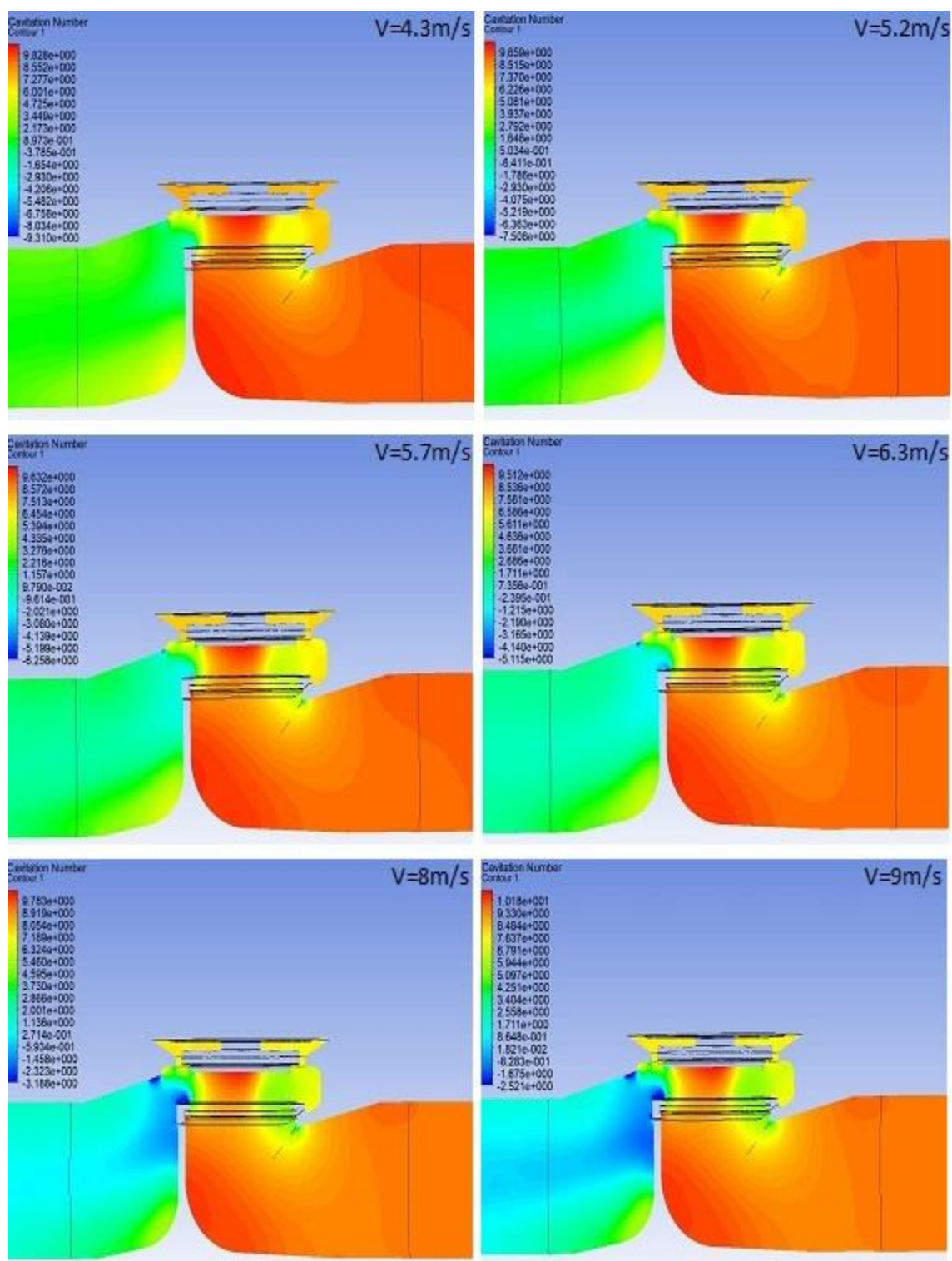
شکل ۴-۱۱: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۳۵٪



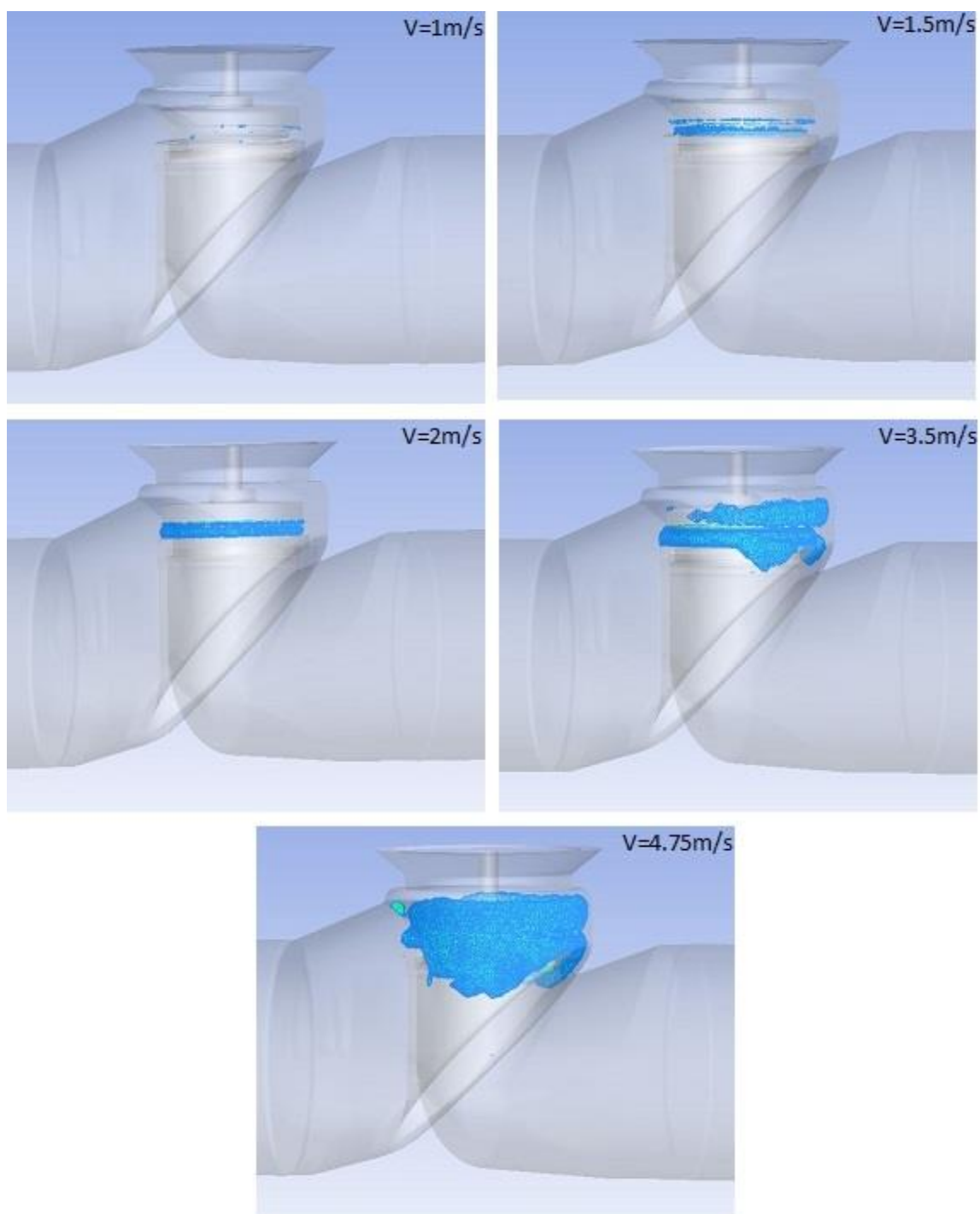
شکل ۴-۱۲: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪



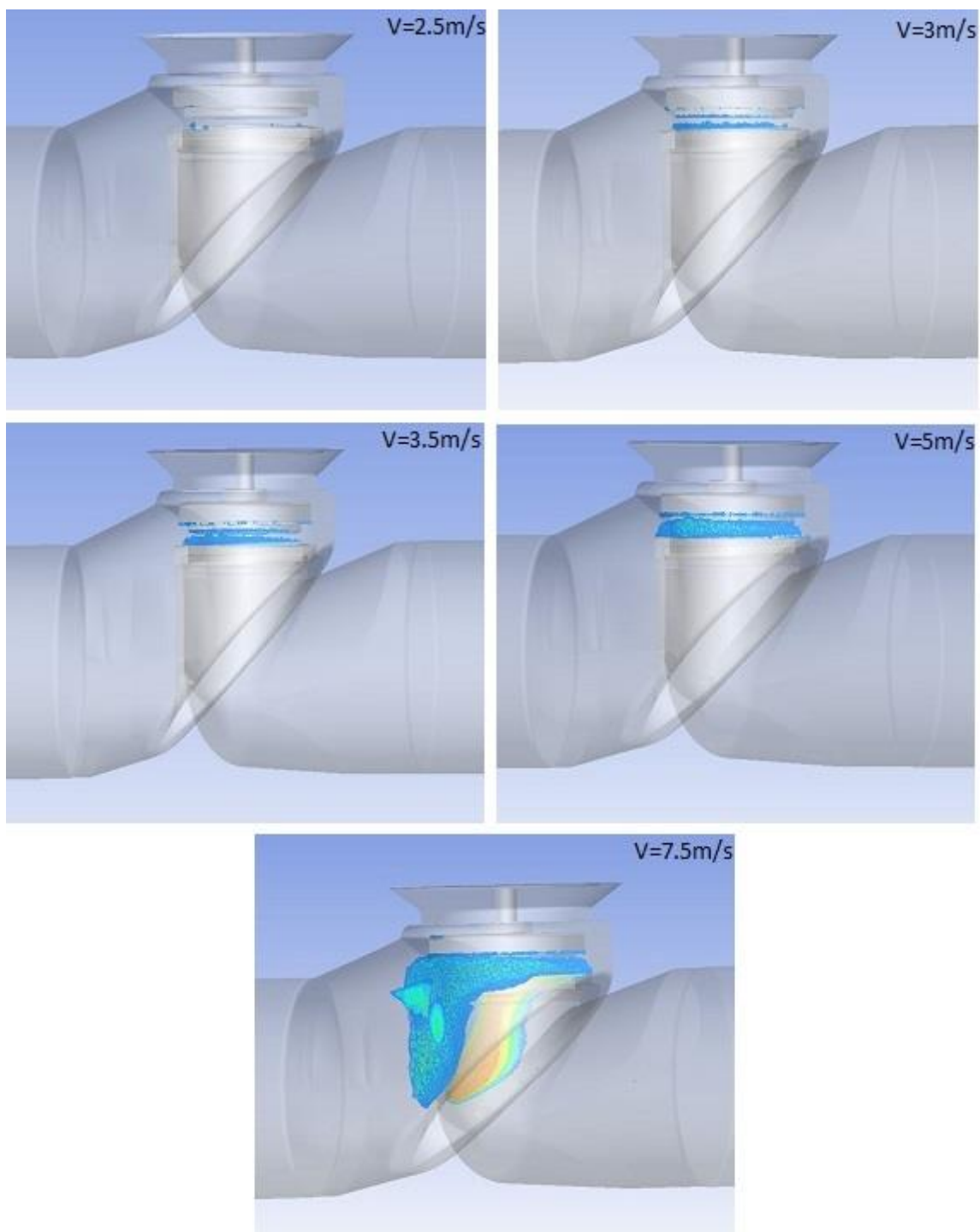
شکل ۴-۱۳: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۷۵٪



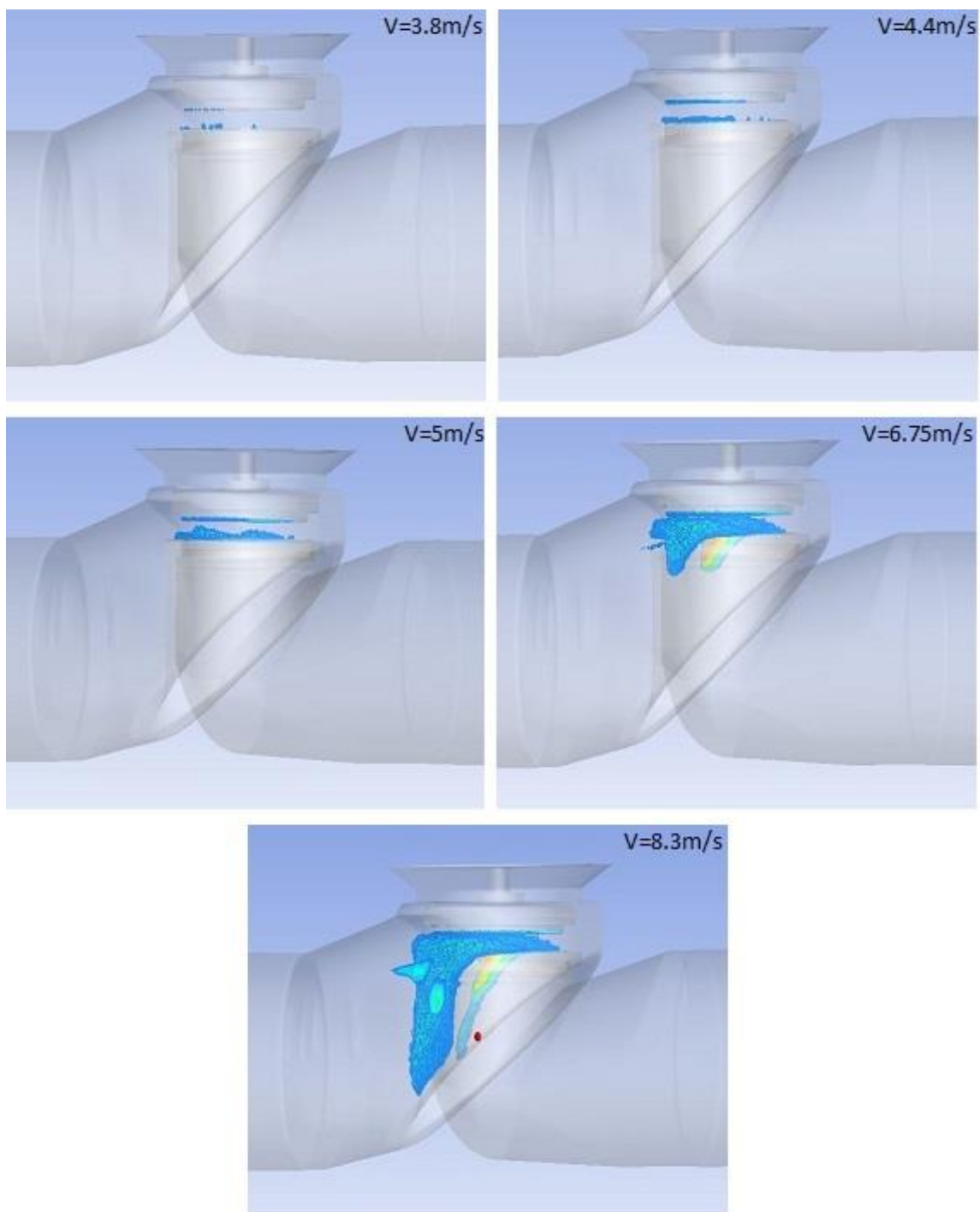
شکل ۴-۱۴: کانتور ضریب کاویتاسیون شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪



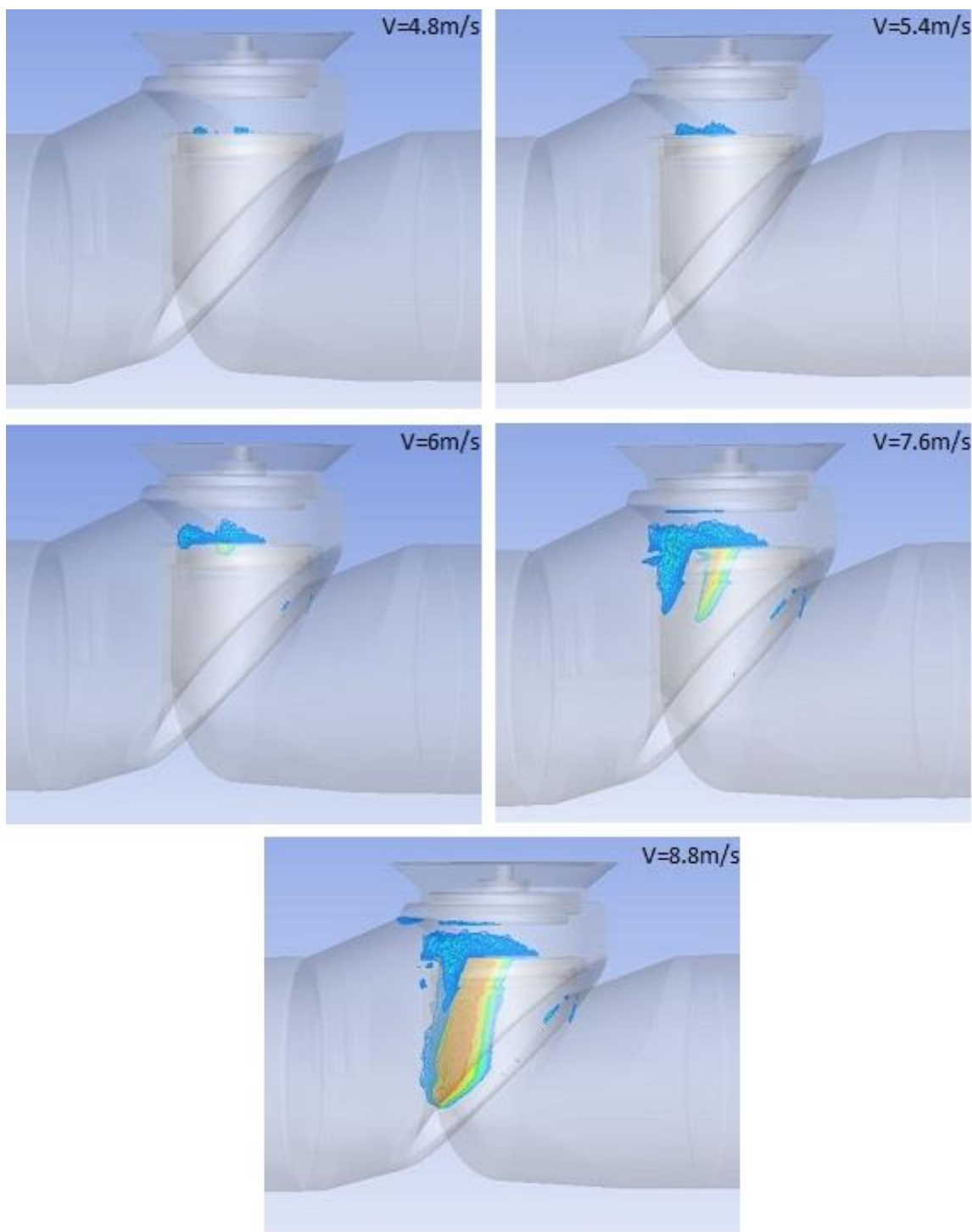
شکل ۴-۱۵: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪



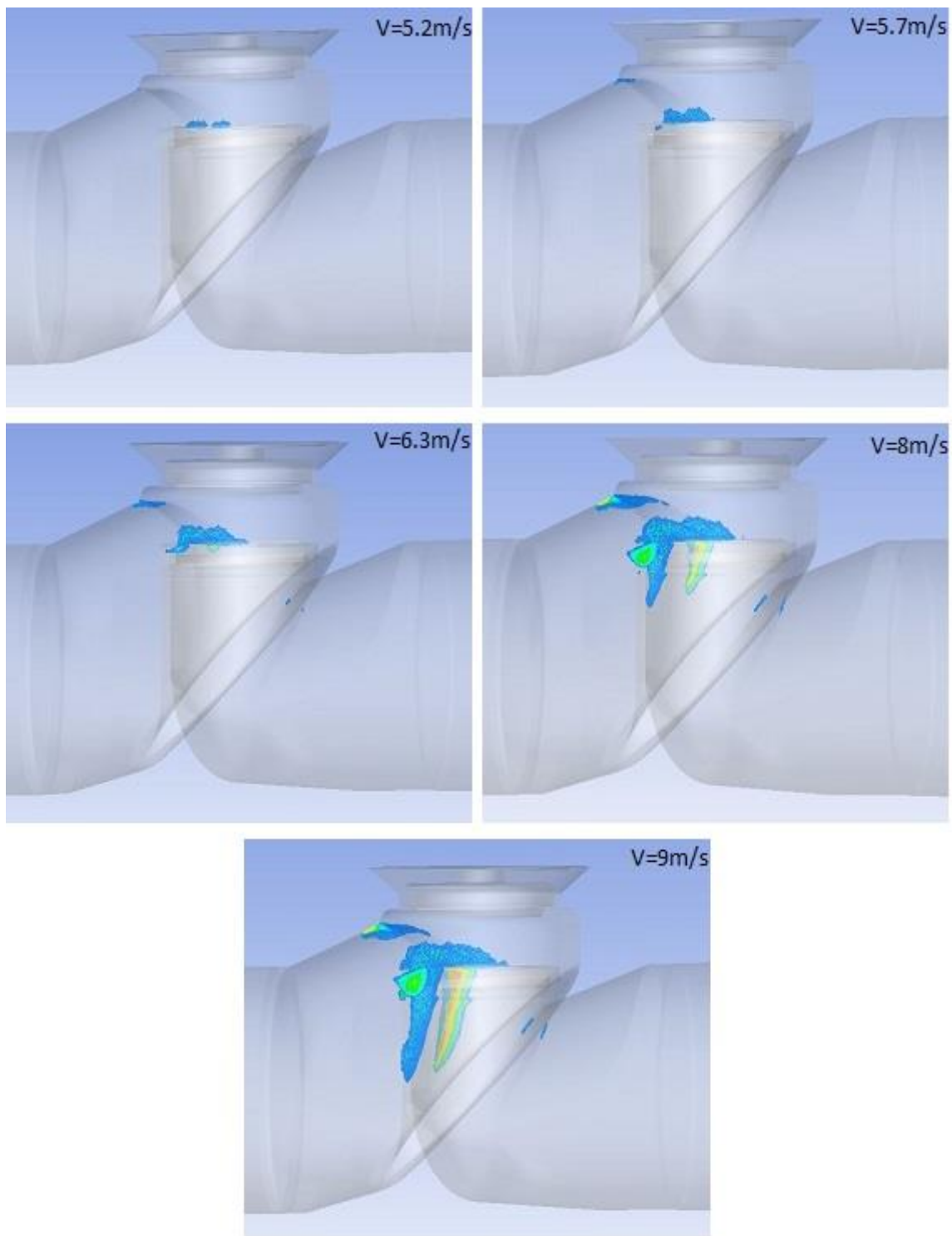
شکل ۴-۱۶: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۳۵٪



شکل ۴-۱۷: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪



شکل ۴-۱۸: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۷۵٪



شکل ۴-۱۹: حجم کاواک شیر گلوب در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪

فصل ۵ مدل سازی و شبیه سازی تک فاز و دو فاز شیر کلوب در حالت آنتی کلاویتاسیون

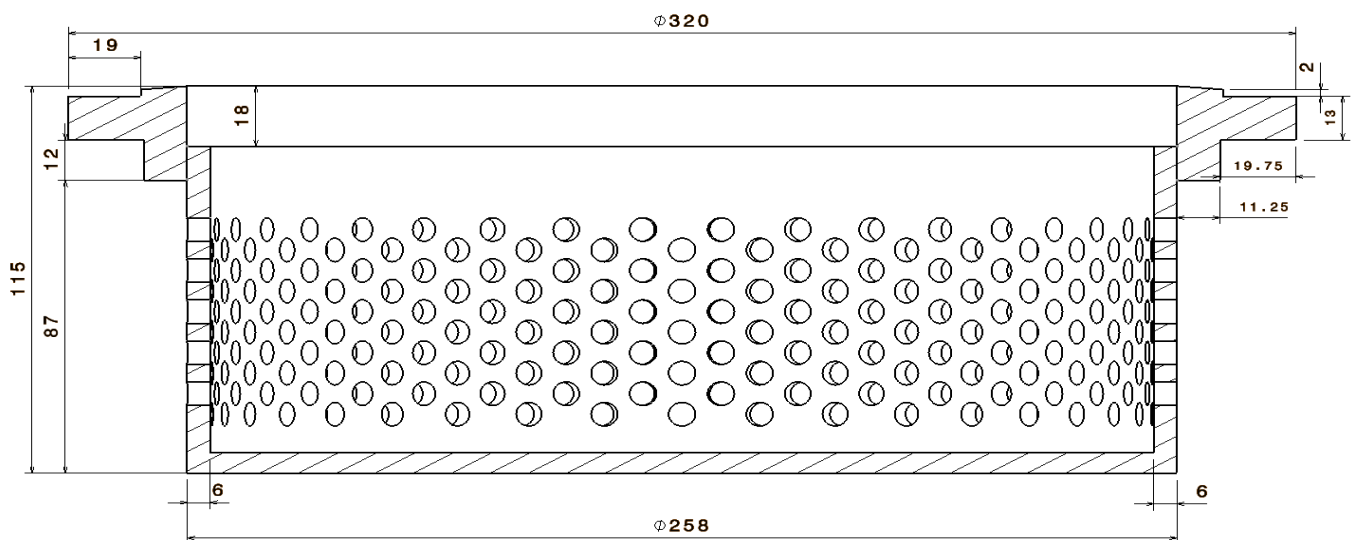
۵-۱ مقدمه

به منظور آغاز طراحی شیر گلوب آنتی کاویتاسیون، در این فصل ابتدا به طراحی قفسه آنتی کاویتاسیون در سه مدل متفاوت با منافذ مختلف (شعاعی و ۲۰ درجه مایل به سمت کف قفسه و ۲۰ درجه مایل به سمت بالا) و سپس به مونتاژ آن روی شیر در نرم افزار کتیا پرداخته می شود. تفاوت اصلی این سه مدل در جهت منافذ قفسه است. پس از طی مراحل ساده سازی و شبکه بندی در نرم افزار گمبیت، عملیات شبیه سازی در نرم افزار فلونت^{۳۷} انجام می شود. در انتها بهترین قفسه که توانایی بیشتری در کنترل کاویتاسیون دارد مشخص می شود. لازم به ذکر است که قطر و آرایش منافذ در این سه مدل قفسه ثابت می باشد.

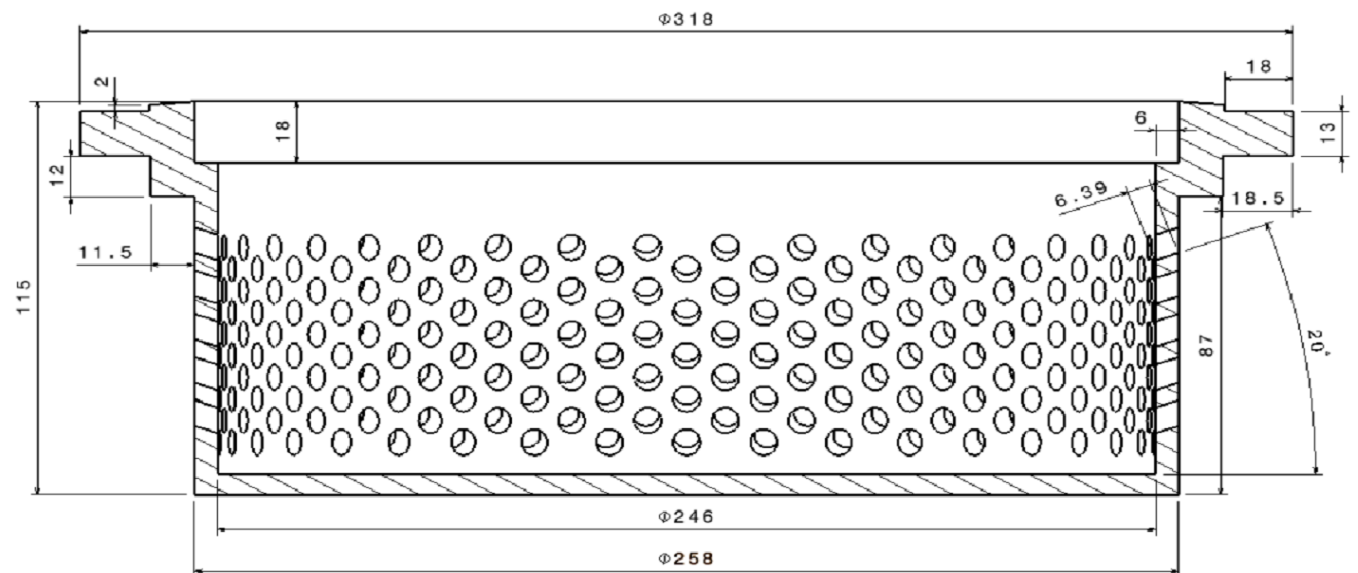
۵-۲ مدل سازی و شبکه بندی شیر گلوب با قفسه های مختلف

در این فصل ابتدا طراحی قفسه با منافذ شعاعی، مایل به سمت پایین و مایل به سمت بالا انجام می شود. پس از طراحی این مدل قفسه، عملیات مونتاژ قفسه روی شیر انجام می شود. با اتمام مرحله مونتاژ، عملیات ساده سازی و شبکه بندی صورت می پذیرد. قفسه های به کار رفته در این تحقیق دارای ضخامت ۶ میلی متر و سوراخ های با قطر ۷ میلی متر می باشد. فاصله ی مرکز تا مرکز سوراخ های مجاور حداقل ۱۲ میلی متر می باشد تا مشکلی جهت سوراخ کاری ورق به وجود نیاید. طول و عرض کلی قفسه ها نیز به ترتیب ۳۲۰ و ۱۱۵ میلی متر در نظر گرفته شده است. این قفسه ها دارای ۷۶ ستون سوراخ کاری شده است و هر ستون دارای ۵ ردیف سوراخ است. پس از طراحی سه بعدی این مدل ها، با ایجاد قید تماسی بین شیر و قفسه، درون شیر منتهای می شوند. شکل ۵-۱ نمای دوبعدی از قفسه های به کار رفته را نمایش می دهد.

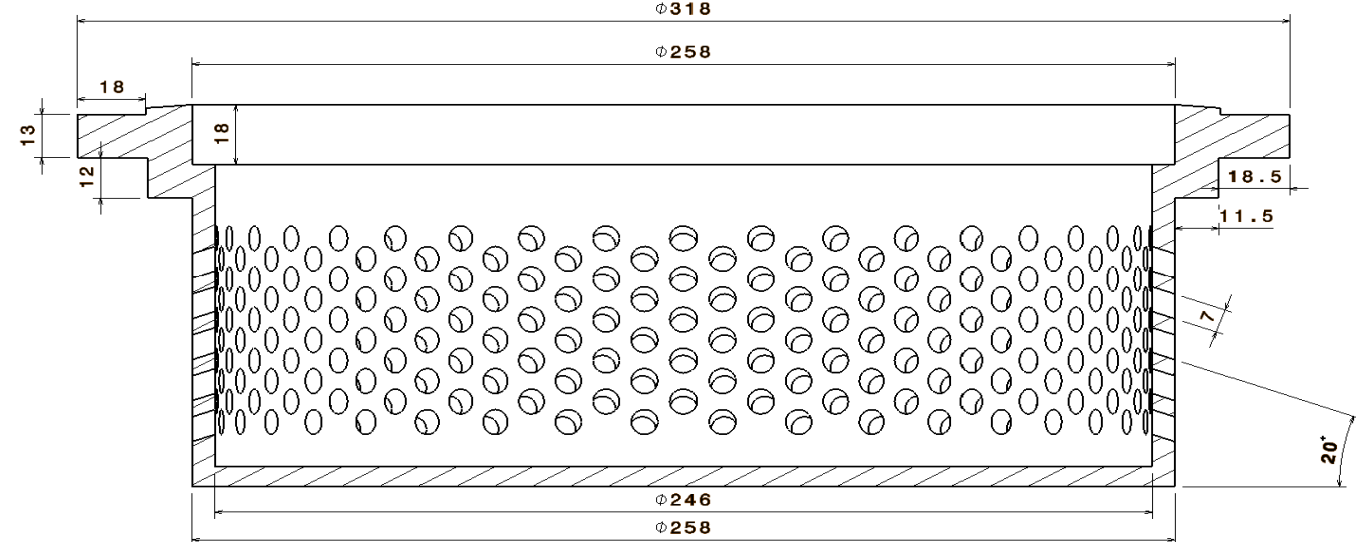
^{۳۷} Fluent



(الف)



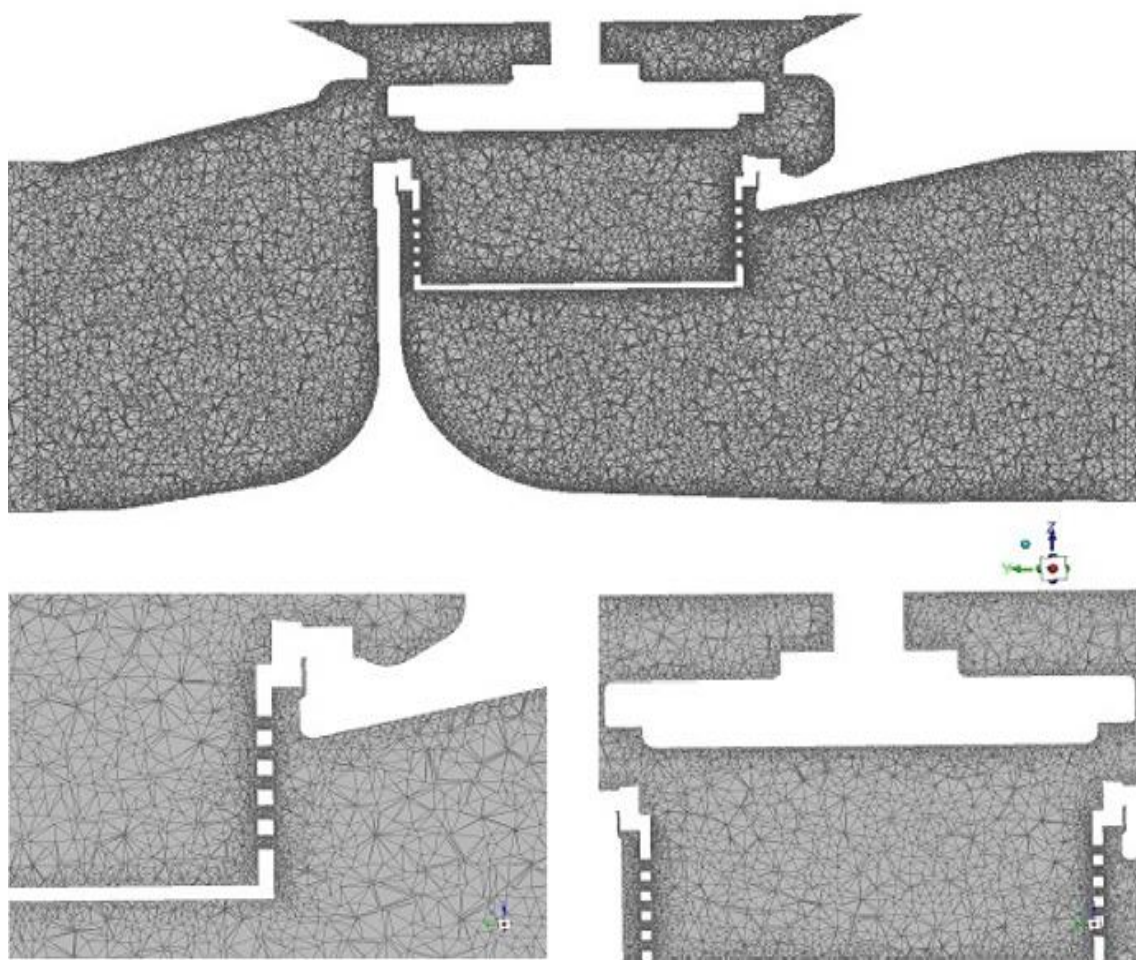
(ب)



(ج)

شکل ۵-۱: نمای دوبعدی قفسه‌ها در حالت (الف) شعاعی، (ب) مایل به سمت پایین و (ج) مایل به سمت بالا

پس از ساده‌سازی شیر گلوب باید این شیر به همراه قفسه مونتاژ شده را نیز شبکه‌بندی کرد. در ابتدا دو مجرا به ترتیب با طول‌های ۱۱ و ۱۵ برابر قطر شیر به ورودی و خروجی شیر اضافه می‌شود. اندازه‌ی شبکه در ورودی و خروجی شیر ۱۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. در قسمت منافذ قفسه به دلیل حساسیت بالا از شبکه‌های به اندازه‌ی ۱/۳ میلی‌متر استفاده شد. اندازه‌ی شبکه در روی سطح پلاگ ۲/۵ میلی‌متر و روی سطوح دیگر شیر ۳/۵ میلی‌متر تعیین شد. با ایجاد این نوع شبکه‌بندی، شبکه‌ها در نزدیک دیواره و در نواحی حساس ریزتر از سایر نواحی می‌باشد. با توجه به حساسیت کم‌تر شبکه‌ها در مجراهای ورودی و خروجی، مقدار ۳۶ میلی‌متر برای شبکه‌های روی سطح ابتدایی مجرای ورودی و سطح انتهایی مجرای خروجی در نظر گرفته شد. با اعمال این اندازه‌ها، حدود ۲۹۰۰۰۰۰ شبکه درون شیر و ۲۰۰۰۰۰ شبکه در دو مجرا ایجاد می‌شود. شکل ۵-۲ به عنوان مثال نمای شماتیک از شبکه‌بندی درون شیر و همین‌طور در نواحی قفسه و پلاگ را در مدل شعاعی و گشودگی ۵۰ درصد نمایش می‌دهد.



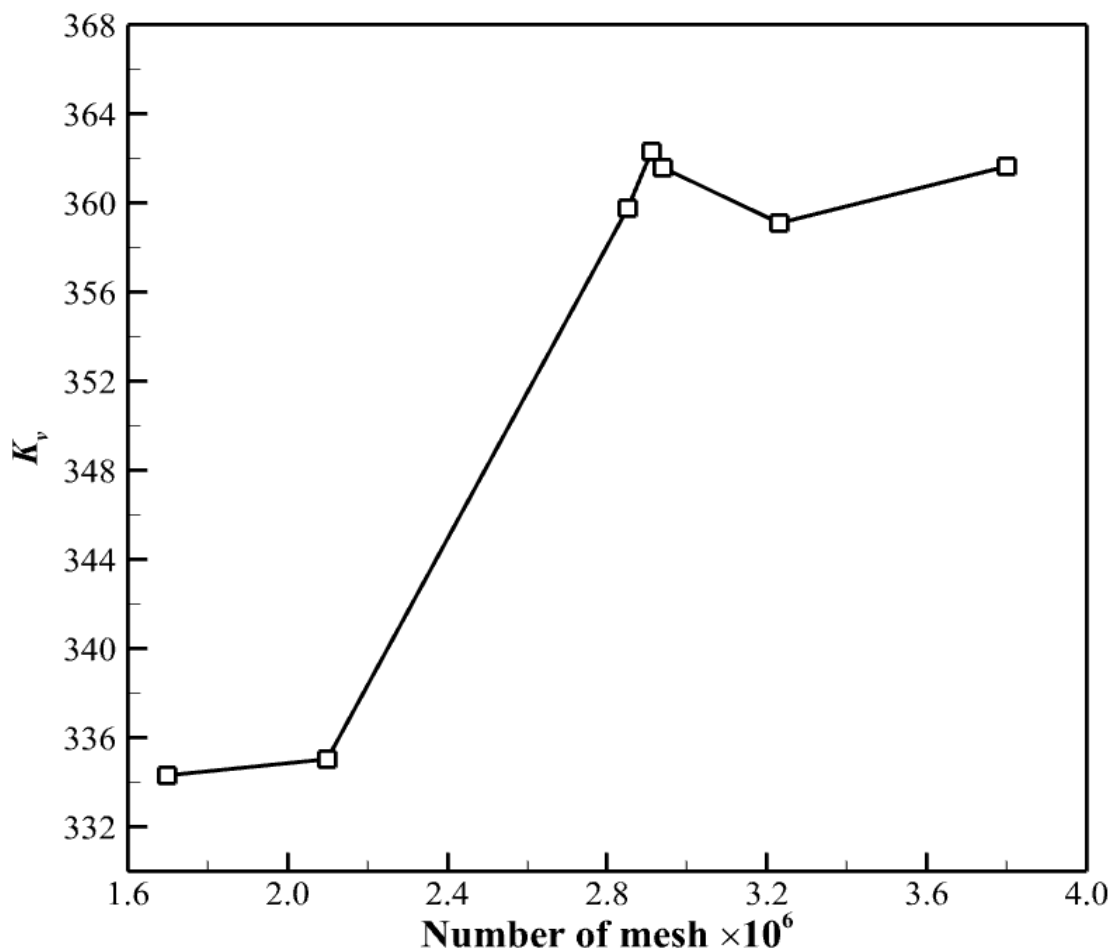
شکل ۵-۲: شبکه‌بندی در نواحی داخلی و مهم شیر در مدل شعاعی و گشودگی ۵۰٪

۳-۵ شبیه‌سازی تک‌فاز مدل‌های مختلف شیر آنتی‌کاویتاسیون

در این بخش به شبیه‌سازی تک‌فاز شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب پرداخته می‌شود. فرضیات مد نظر قرار گرفته به این صورت می‌باشد که از فاز بخار صرف نظر شده است، شبیه‌سازی‌ها در سرعت پایین انجام شده و مدل آشفتگی $BSL\ k - \omega$ جهت شبیه‌سازی استفاده شده است. در این شبیه‌سازی، شیر گلوب در وضعیت گشودگی‌های ۲۰، ۳۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد قرار گرفته و برای هر گشودگی، دامنه حل مطابق توضیحات بخش ۱-۲-۵، شبکه‌بندی شده است. در این شبیه‌سازی‌ها از شرط مرزی سرعت ورودی و فشار خروجی استفاده شده است. برای تمامی گشودگی‌ها از مقدار سرعت ورودی ۱ متر بر ثانیه و فشار خروجی ۰/۱ بار استفاده شده است. مقادیر فشار در دو صفحه ورودی و خروجی شیر استخراج شده و سپس مقدار ضریب K_v محاسبه می‌شود. در ابتدا نتایج به‌دست آمده ارائه می‌شود و پس از آن نتایج سه مدل با هم مقایسه می‌شوند.

۱-۳-۵ آنالیز استقلال حل از تعداد شبکه

در این بخش جهت اطمینان از درستی حل، به شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب در تعداد شبکه‌های مختلف، و بررسی تغییرات ضریب K_v پرداخته می‌شود. بدین منظور شیر آنتی‌کاویتاسیون در گشودگی ۵۰٪ و تعداد شبکه‌های ۱۷۰۰۰۰۰، ۲۱۰۰۰۰۰، ۲۸۵۰۰۰۰، ۲۹۱۰۰۰۰، ۲۹۴۰۰۰۰، ۳۲۳۰۰۰۰ و ۳۸۰۰۰۰۰ شبیه‌سازی شد. نتایج این شبیه‌سازی‌ها در شکل ۳-۵ نمایش داده شده است. طبق این نتایج تعداد شبکه‌بندی‌های بالای ۲۸۵۰۰۰۰ جهت شبیه‌سازی و رسیدن به جواب درست مناسب هستند.



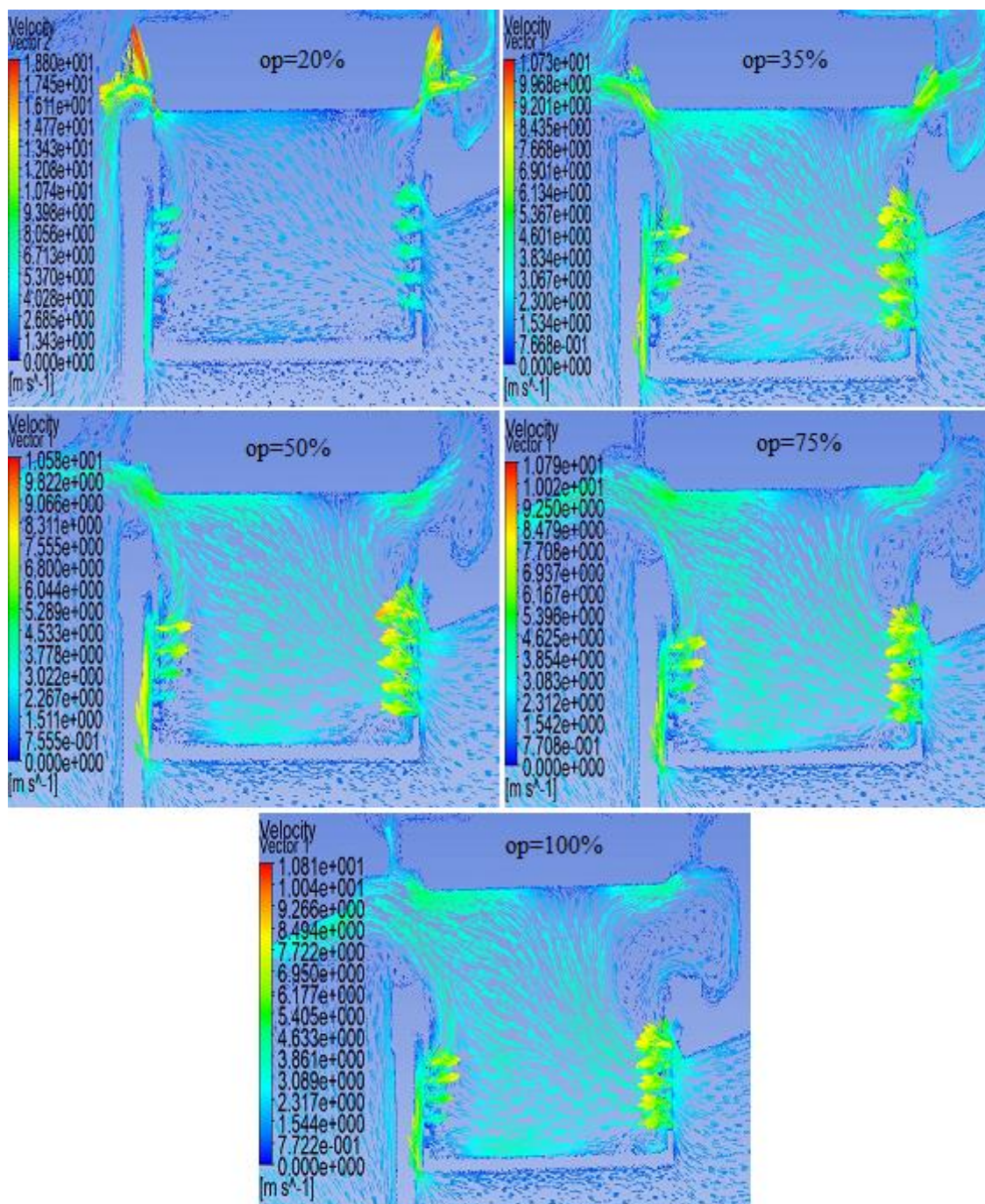
شکل ۵-۳: تغییرات مقدار K_v برحسب تعداد شبکه‌ها در گشودگی ۵۰٪

۵-۳-۲ نتایج حاصل از شبیه‌سازی تک‌فاز شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب مدل شعاعی (مدل ۱)

در این بخش به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب در گشودگی‌های مختلف پرداخته می‌شود. جدول ۵-۱ مقادیر فشار و ضریب K_v این شیر را نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج حاصله، قفسه‌ی اضافه شده به شیر باعث افزایش چشم‌گیر افت فشار شده است و در نتیجه کاهش ضریب K_v را در بر دارد. با بررسی این نتایج ملاحظه می‌شود که مقدار افت فشار در گشودگی‌های بالا تفاوت خاصی ندارد به دلیل این که در گشودگی‌های بالا افت فشار خاصی در ناحیه خارج از قفسه (ناحیه بین پلاگ و قفسه) رخ نمی‌دهد. به همین دلیل مقدار ضریب K_v آن‌ها نزدیک به هم هستند. ولی در گشودگی‌های کمتر مقدار افت فشار و در نتیجه مقدار ضریب K_v تغییرات چشم‌گیری دارد. شکل ۵-۴ بردار سرعت را درون قفسه و در گشودگی‌های مختلف نمایش می‌دهد.

جدول ۵-۱: نتایج شبیه‌سازی آنتی‌کاویتاسیون (مدل شعاعی)

Item	Valve Opening (%)	$Q \left(\frac{\text{m}^3}{\text{hr}} \right)$	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Anti Cavitation Valve K_v	Main Valve K_v
1	20	257.873	1.948	0.106	190.004	210.3
2	35	257.873	0.753	0.112	322.249	502.77
3	50	257.873	0.620	0.111	361.613	828.1
4	75	257.873	0.606	0.110	366.289	1141.8
5	100	257.873	0.603	0.111	367.632	1294



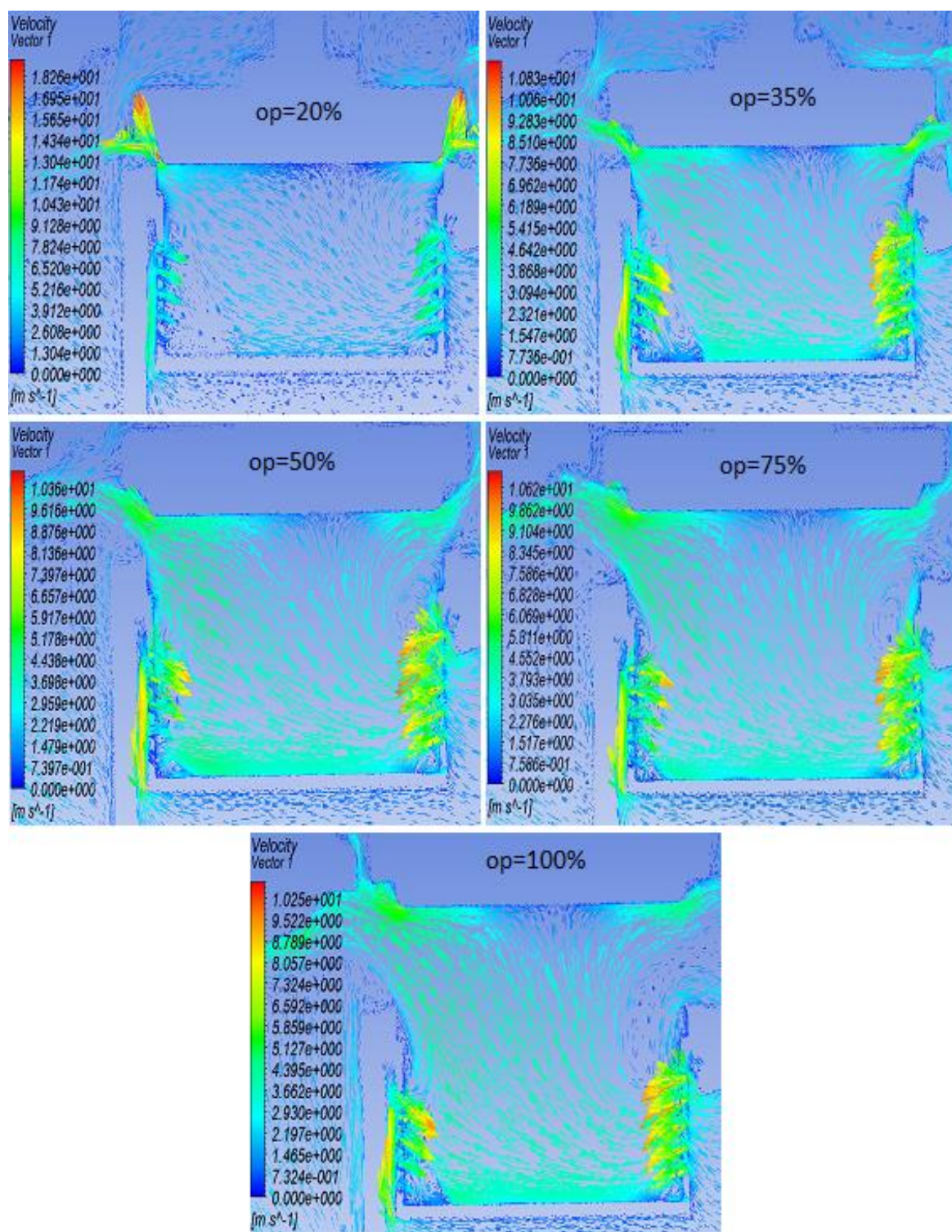
شکل ۵-۴: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی‌های مختلف (مدل شعاعی)

۵-۳-۳ نتایج حاصل از شبیه‌سازی تک‌فاز شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل ۲۰ درجه به سمت پایین (مدل ۲)

در ادامه نتایج حاصل از شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل در گشودگی‌های مختلف مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۵-۲ مقادیر فشار و ضریب K_v این شیر را نمایش می‌دهد. با توجه به نتایج حاصله، قفسه‌ی جدید طراحی شده با منافذ مایل باعث افزایش افت فشار نسبت به مدل منافذ شعاعی شده است و در نتیجه کاهش ضریب K_v را در بر دارد. در این مدل مقدار ضریب K_v در گشودگی‌های بالا کاملاً ثابت می‌باشد. همان‌طور که مشخص است در این مدل، به دلیل رخ دادن افت فشار بالا در ناحیه منافذ قفسه، فشار سیال کاهش چشمگیری می‌یابد، بنابراین در گشودگی‌های بالا دیگر سیال در ناحیه بین پلاگ و قفسه دچار افت فشار خاصی نمی‌شود. در واقع در این حالت، میزان افت فشار در ناحیه منافذ قفسه، مقدار ضریب K_v را تعیین می‌کند. شکل ۵-۵ بردار سرعت را درون قفسه و در گشودگی‌های مختلف نمایش می‌دهد.

جدول ۵-۲: نتایج شبیه‌سازی تک‌فاز مدل مایل به سمت کف

Item	Valve Opening (%)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Anti Cavitation Valve (model2) K_v	Anti Cavitation Valve (model1) K_v
1	20	257.873	2.159	0.114	180.328	190.005
2	35	257.873	0.826	0.112	305.197	322.249
3	50	257.873	0.685	0.110	339.978	361.613
4	75	257.873	0.676	0.110	342.742	366.289
5	100	257.873	0.679	0.111	342.170	367.632



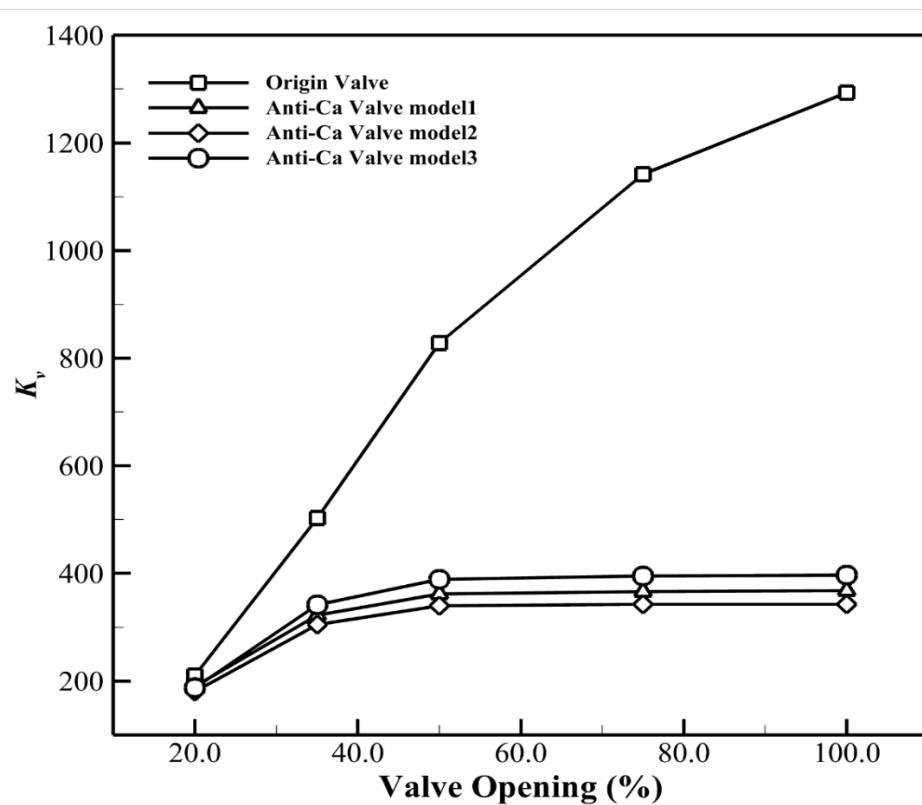
شکل ۵-۵: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی‌های مختلف

۵-۳-۴ نتایج حاصل از شبیه‌سازی تک‌فاز شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل ۲۰ درجه به سمت بالا (مدل ۳)

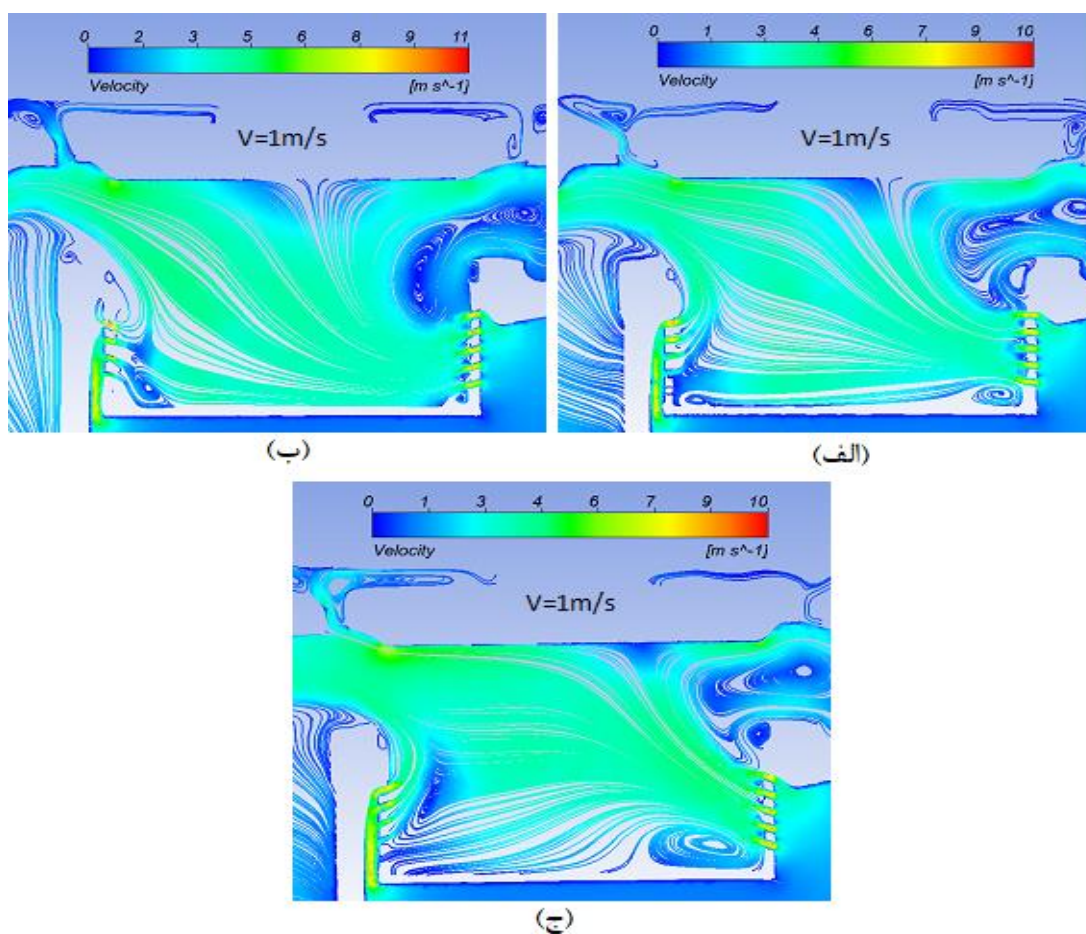
در این بخش نتایج حاصل از شبیه‌سازی تک‌فاز شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب با منافذ مایل به سمت بالا مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۳-۵ مقادیر فشار و همچنین مقادیر ضریب K_v را برای این مدل شیر در گشودگی‌های مختلف نمایش می‌دهد. جهت سهولت در مقایسه‌ی این سه مدل، مقادیر ضریب K_v دو مدل دیگر نیز در این جدول آورده شده است. طبق نتایج حاصله از جدول ۳-۵ مقدار افت فشار در این مدل، نسبت به مدل‌های دیگر کمتر می‌باشد. در نتیجه ضریب K_v بزرگ‌تری دارد. در این مدل هم همانند مدل‌های قبلی در گشودگی‌های بالای ۵۰ درجه تفاوت خاصی در میزان افت فشار وجود ندارد، در نتیجه مقدار K_v تقریباً ثابت می‌باشد. شکل ۵-۶ نمودار تغییرات ضریب K_v را برای شیر اصلی، شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ شعاعی، شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت پایین و شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا را در گشودگی‌های مختلف نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که منظور از مدل‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مدل‌های منافذ شعاعی، مدل منافذ مایل به سمت کف و مدل منافذ مایل به سمت بالا می‌باشد. شکل ۵-۷ به‌عنوان نمونه خط جریان در گشودگی ۱۰۰٪ را در سه مدل مختلف نمایش می‌دهند. با بررسی این شکل مشاهده می‌شود که در مدل مایل به سمت بالا سیال به‌طور مستقیم و با ممانعت کمی به سمت خروجی قفسه حرکت می‌کند، ولی در مدل مایل به سمت پایین سیال به سمت کف قفسه هدایت می‌شود و سپس به سمت خروجی هدایت می‌شود. این موضوع می‌تواند دلیل مناسبی باشد برای بیان علت رخ دادن افت فشار بالاتر از بقیه در مدل مایل به سمت کف و افت فشار کمتر در مدل مایل به سمت بالا. شکل ۵-۸ نیز بردار سرعت را درون قفسه در گشودگی‌های مختلف برای مدل مایل به سمت بالا را نمایش می‌دهد.

جدول ۳-۵: نتایج شبیه‌سازی تک‌فاز شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا

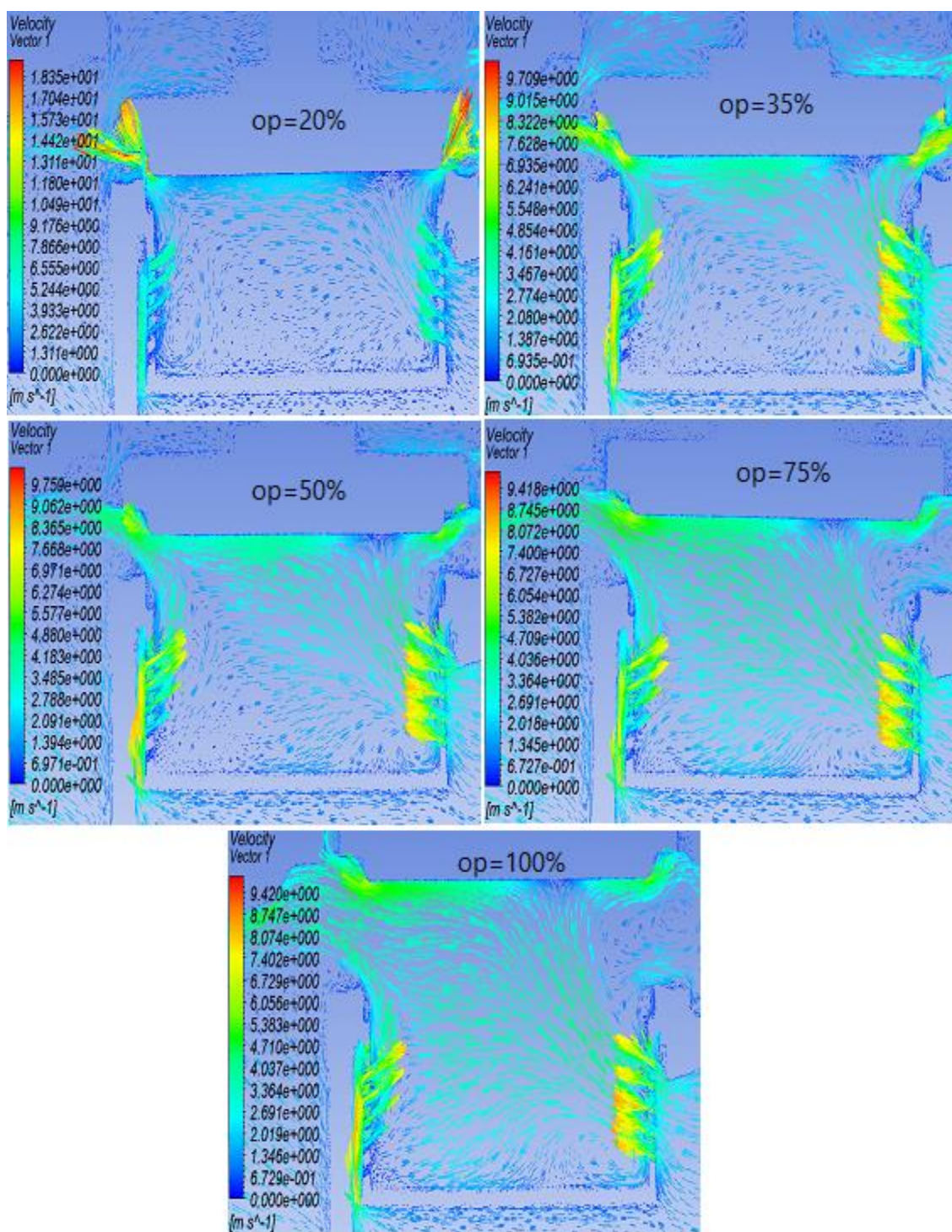
Item	Valve Opening (%)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	P_1 (bar)	P_2 (bar)	Anti Cavitation Valve (model3) K_v	Anti Cavitation Valve (model2) K_v	Anti Cavitation Valve (model1) K_v
1	20	257.873	2.001	0.115	187.8316	180.328	190.005
2	35	257.873	0.682	0.112	341.3914	305.197	322.249
3	50	257.873	0.550	0.111	389.2769	339.978	361.613
4	75	257.873	0.538	0.111	394.6880	342.742	366.289
5	100	257.873	0.531	0.109	397.0821	342.170	367.632



شکل ۵-۶: نمودار تغییرات K_v در گشودگی‌های مختلف و حالت تک‌فاز برای مدل‌های مختلف



شکل ۵-۷: خط جریان سیال برای مدل‌های (الف) مدل شعاعی، (ب) مدل منافذ مایل به سمت پایین و (ج) مدل منافذ مایل به سمت بالا



شکل ۵-۸: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی‌های مختلف (مدل مایل به سمت بالا)

۴-۵ شبیه‌سازی دوفاز شیر آنتی‌کاویتاسیون

در این بخش با فرض دوفازی بودن جریان، رفتار هیدرولیکی شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ شعاعی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. هندسه و فرضیات انجام شده در این بخش، مطابق شبیه‌سازی تک‌فازی جریان می‌باشد با این تفاوت که از مدل دوفازی (mixture) نرم‌افزار فلونت در پیش‌بینی شروع کاویتاسیون و از مدل آشفته $k - \epsilon$ RNG استفاده شده است. به جهت اینکه بتوان قضاوت مناسبی از شروع و نحوه تشکیل کاواک داشته باشیم، از سرعت‌های مختلف سیال در ورودی لوله و فشار مطلق ثابت ۰/۱ بار در خروجی لوله به عنوان شرایط مرزی بهره‌گیری می‌شود. شبیه‌سازی‌ها در گشودگی‌های ۲۰، ۳۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد انجام می‌گیرد و با توجه به نتایج به‌دست آمده خط کاویتاسیون رسم می‌شود. در انتها نتایج مربوط به ضریب شیر (k_v)، شکل کاواک و همچنین ضریب کاویتاسیون بررسی می‌شود.

۴-۵-۱ نتایج حاصل از شبیه‌سازی دوفازی شیر آنتی‌کاویتاسیون مدل شعاعی (مدل ۱)

در این بخش نتایج شبیه‌سازی دوفازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در گشودگی‌های ۲۰، ۳۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب در جداول ۴-۵ تا ۴-۷ ارائه شده است. در این جداول برای گشودگی‌های مختلف چندین شبیه‌سازی مجزا (در دبی/سرعت‌های مختلف) انجام شده و آستانه تشکیل کاواک (بروز پدیده کاویتاسیون) نیز مشخص شده است. در این شبیه‌سازی‌ها P_1 و P_2 فشار متوسط در ورودی و خروجی شیر و $\Delta P = P_1 - P_2$ می‌باشند.

جدول ۴-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در حالت دوفازی برای گشودگی ۲۰٪

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
20	167.62	0.65	0.8315	183.8141	No Cavitation
20	355.87	1.38	3.6327	186.7101	Start
20	438.38	1.70	5.5499	186.0826	Very Small
20	505.43	1.96	7.5272	184.2231	Small
20	593.11	2.30	10.693	181.3760	Moderate
20	747.83	2.90	17.500	178.7644	Big
20	889.66	3.45	25.194	177.2446	Very Big

جدول ۵-۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در حالت دوفازی برای گشودگی ۳۵٪

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
35	433.23	1.68	1.9602	304.3245	No Cavitation
35	541.53	2.1	3.0582	306.3639	Start
35	624.05	2.42	4.0657	308.0258	Very Small
35	688.52	2.67	4.9540	309.3424	Small
35	928.34	3.6	9.0832	309.4945	Moderate
35	1160.4	4.5	14.347	309.6658	Big
35	1418.3	5.5	21.720	309.4316	Very Big

جدول ۵-۶: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در حالت دوفازی برای گشودگی ۵۰٪

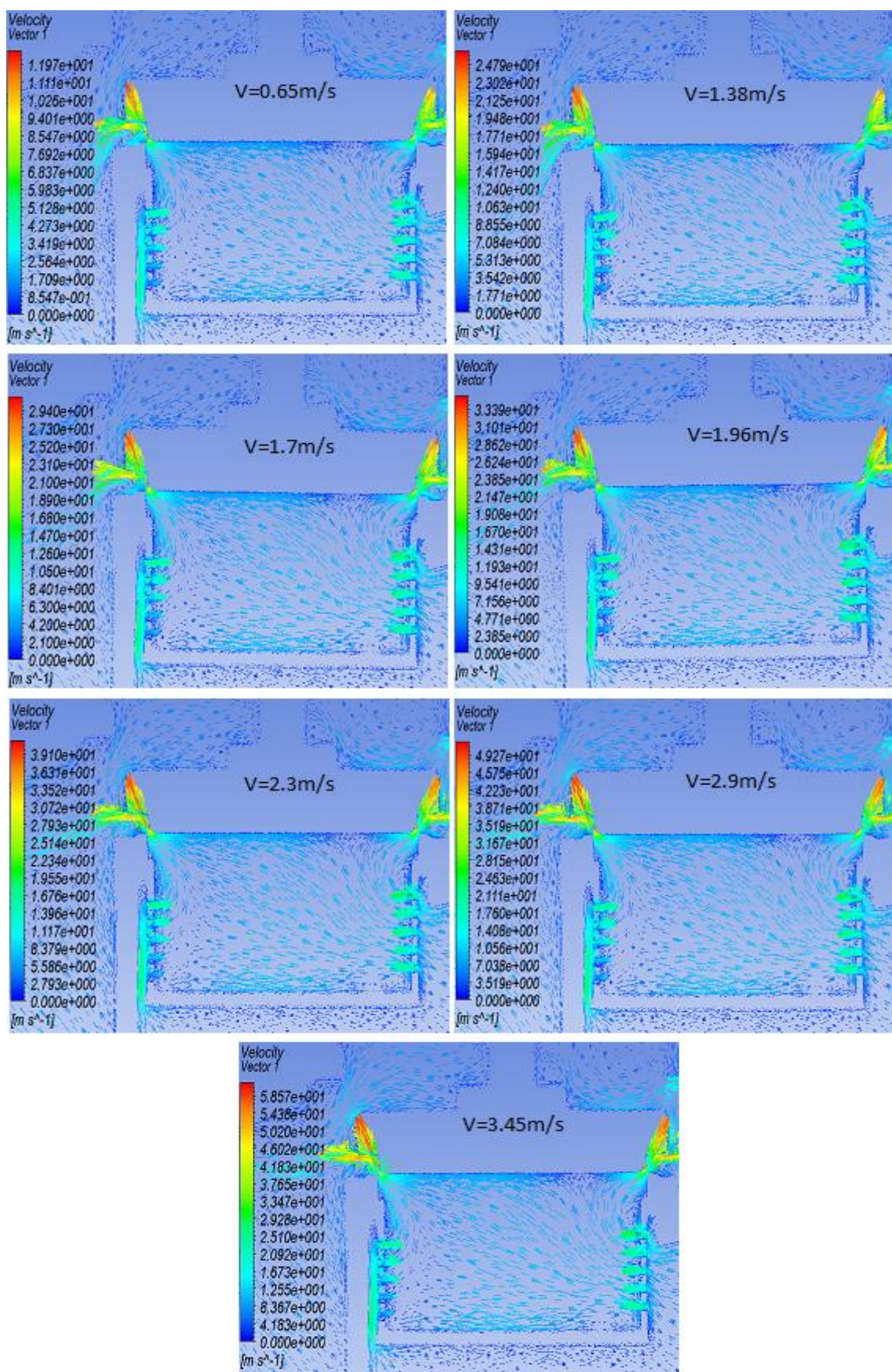
op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
50	386.81	1.5	1.2417	347.1258	No Cavitation
50	438.38	1.7	1.5933	347.2923	Start
50	515.75	2	2.2009	347.6374	Very Small
50	593.11	2.3	2.9202	347.0741	Small
50	799.41	3.1	5.3746	344.8212	Moderate
50	1160.4	4.5	11.569	341.1589	Big
50	1340.9	5.2	15.618	339.3005	Very Big

جدول ۵-۷: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیر آنتی‌کاویتاسیون گلوب (مدل شعاعی) در حالت دوفازی برای گشودگی ۱۰۰٪

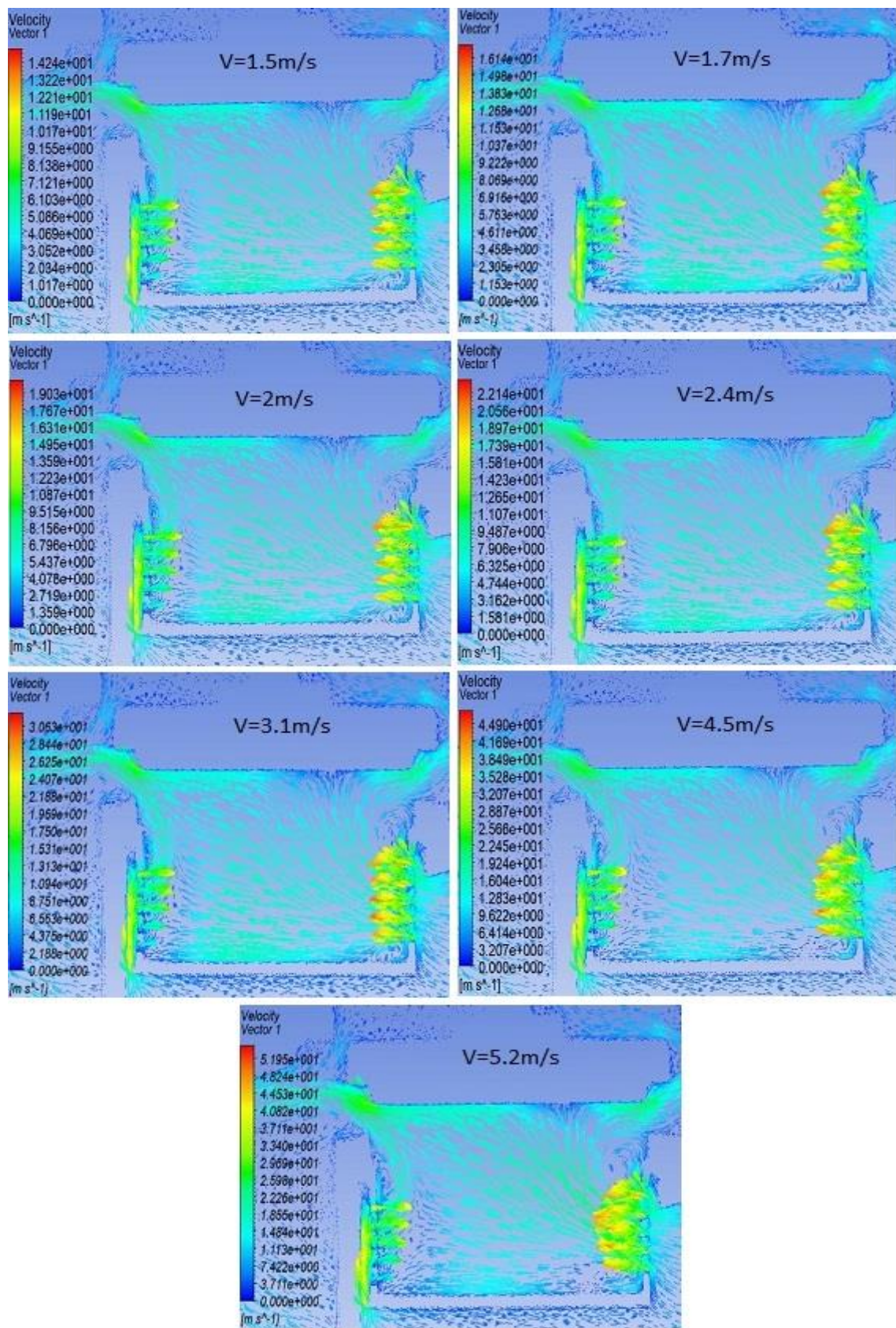
op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
100	399.70	1.55	1.2752	353.9453	No Cavitation
100	451.28	1.75	1.6258	353.9213	Start
100	554.43	2.15	2.4531	353.9833	Very Small
100	618.90	2.4	3.0636	353.5906	Small
100	850.98	3.3	5.9288	349.4899	Moderate
100	1212.0	4.7	12.373	344.5583	Big
100	1418.3	5.5	17.181	342.1654	Very Big

با توجه به نتایج به‌دست آمده از جداول ۴-۵ تا ۷-۵ در حالت آنتی‌کاویتاسیون مانند حالت معمولی (شیر بدون قفسه) با افزایش سرعت (یا افزایش دبی عبوری) مقدار افت فشار و در نتیجه کاویتاسیون افزایش می‌یابد. در این صورت با رخ دادن پدیده بلاکیج ضریب k_v شیر آنتی‌کاویتاسیون کاهش می‌یابد. شکل‌های ۵-۹ تا ۵-۱۱ بردارهای سرعت را درون قفسه و در گشودگی‌های مختلف نمایش می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها، ملاحظه می‌شود که مقادیر سرعت در قسمت منافذ قفسه دچار افزایش زیادی می‌شود. این امر به این دلیل است که سطح عبوری سیال دچار کاهش ناگهانی می‌شود. با توجه به اصل پیوستگی با کاهش ناگهانی سطح عبوری سیال، سرعت افزایش می‌یابد. شکل‌های ۵-۱۲ تا ۵-۱۵ نمای شماتیک از کانتور

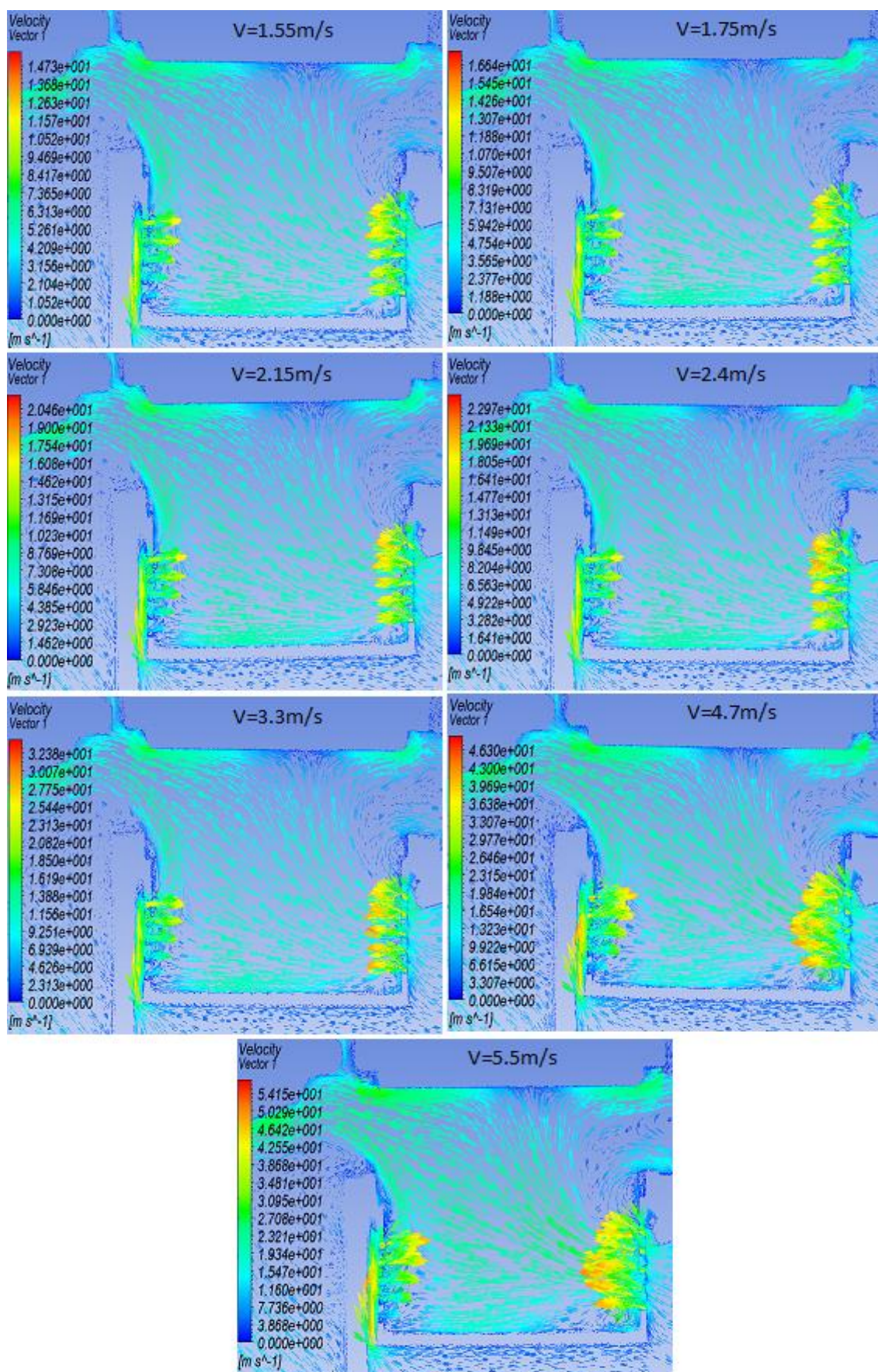
ضریب کاویتاسیون را درون قفسه نمایش می‌دهند. با بررسی این دو شکل مشخص می‌شود که در گشودگی‌های بالا ضریب کاویتاسیون در سرعت‌های پایین بیشتر در نواحی داخلی منافذ منفی می‌باشد. با افزایش سرعت ابتدا در نواحی نزدیک بدنه قفسه و سپس لبه‌های پایینی پلاگ ضریب کاویتاسیون منفی می‌شود، ولی در گشودگی‌های پایین این ضریب بیشتر در نواحی بین پلاگ و نشیمنگاه منفی است. این شرایط به این دلیل است که در گشودگی‌های پایین مقدار فشار درون قفسه بالا می‌باشد در نتیجه کاویتاسیون درون قفسه کمتر رخ می‌دهد. اما در گشودگی‌های بالا میزان فشار درون قفسه کمتر می‌باشد، در نتیجه کاویتاسیون بیشتر درون قفسه رخ می‌دهد. با توجه با دلایل ذکر شده و همچنین بررسی شکل‌های ۵-۱۶ تا ۵-۱۹، نتیجه‌گیری می‌شود که در گشودگی‌های بالاتر کاویتاسیون بیشتر درون منافذ و نزدیک دیواره قفسه رخ می‌دهد. ولی با کاهش گشودگی میزان کاویتاسیون روی قفسه کاهش پیدا کرده و مقدار آن روی پلاگ افزایش می‌یابد. هرچند این مقدار کاویتاسیون در این اختلاف فشار نسبت به مدل بدون قفسه بسیار کمتر می‌باشد. در حالت کاری این مدل شیر حداکثر تا اختلاف فشار ۳ بار کارکرد دارد. با توجه به نتایج، در گشودگی‌های مختلف و در این مقدار افت فشار پدیده کاویتاسیون روی بدنه شیر رخ نمی‌دهد. بنابراین اضافه شدن قفسه به شیر باعث کاهش و تغییر محل رخ دادن کاویتاسیون می‌شود و از آسیب دیدن بدنه شیر تا حدود زیادی جلوگیری می‌شود.



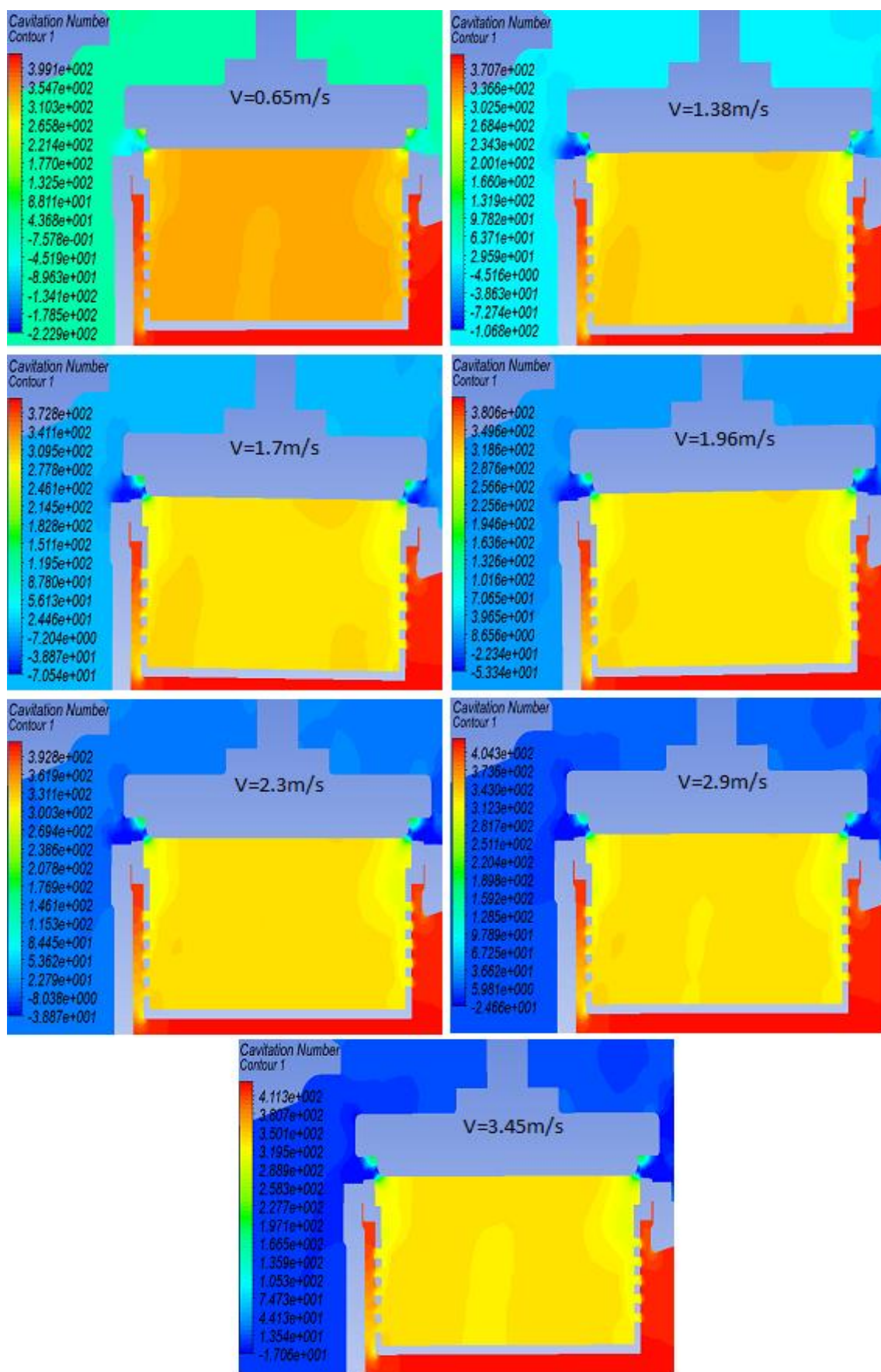
شکل ۵-۹: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۲۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)



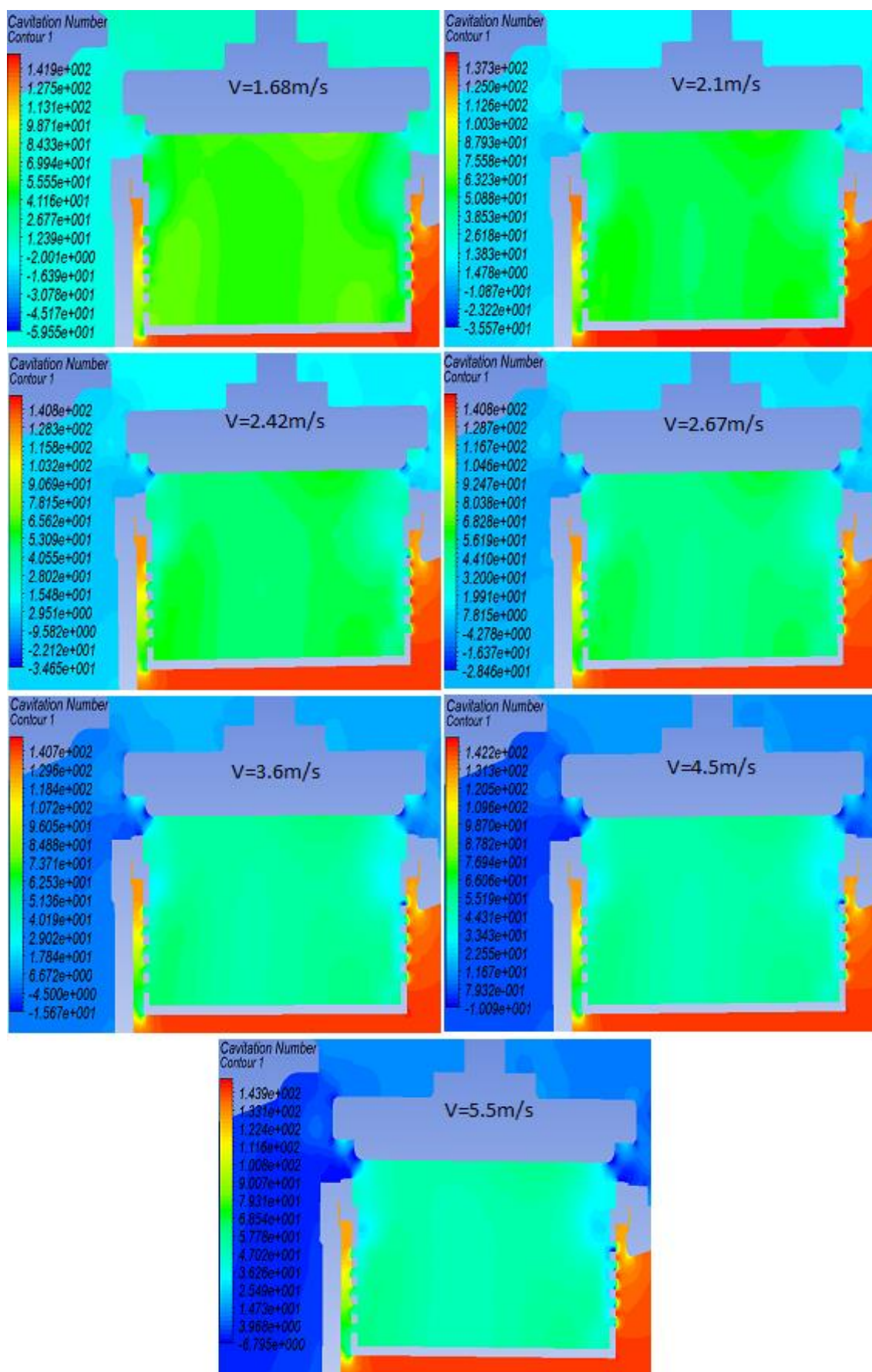
شکل ۵-۱۰: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۵۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)



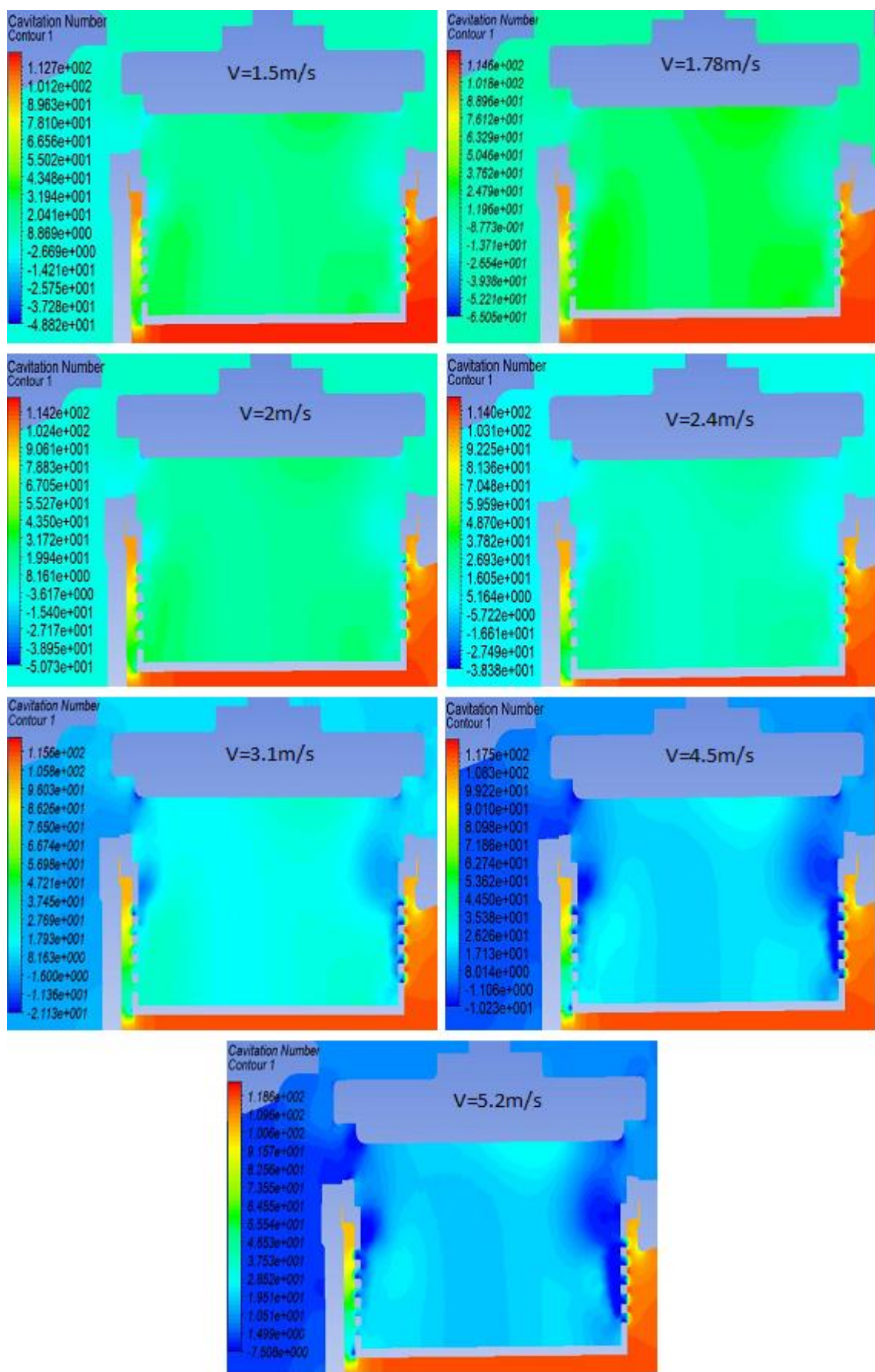
شکل ۵-۱۱: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۱۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)



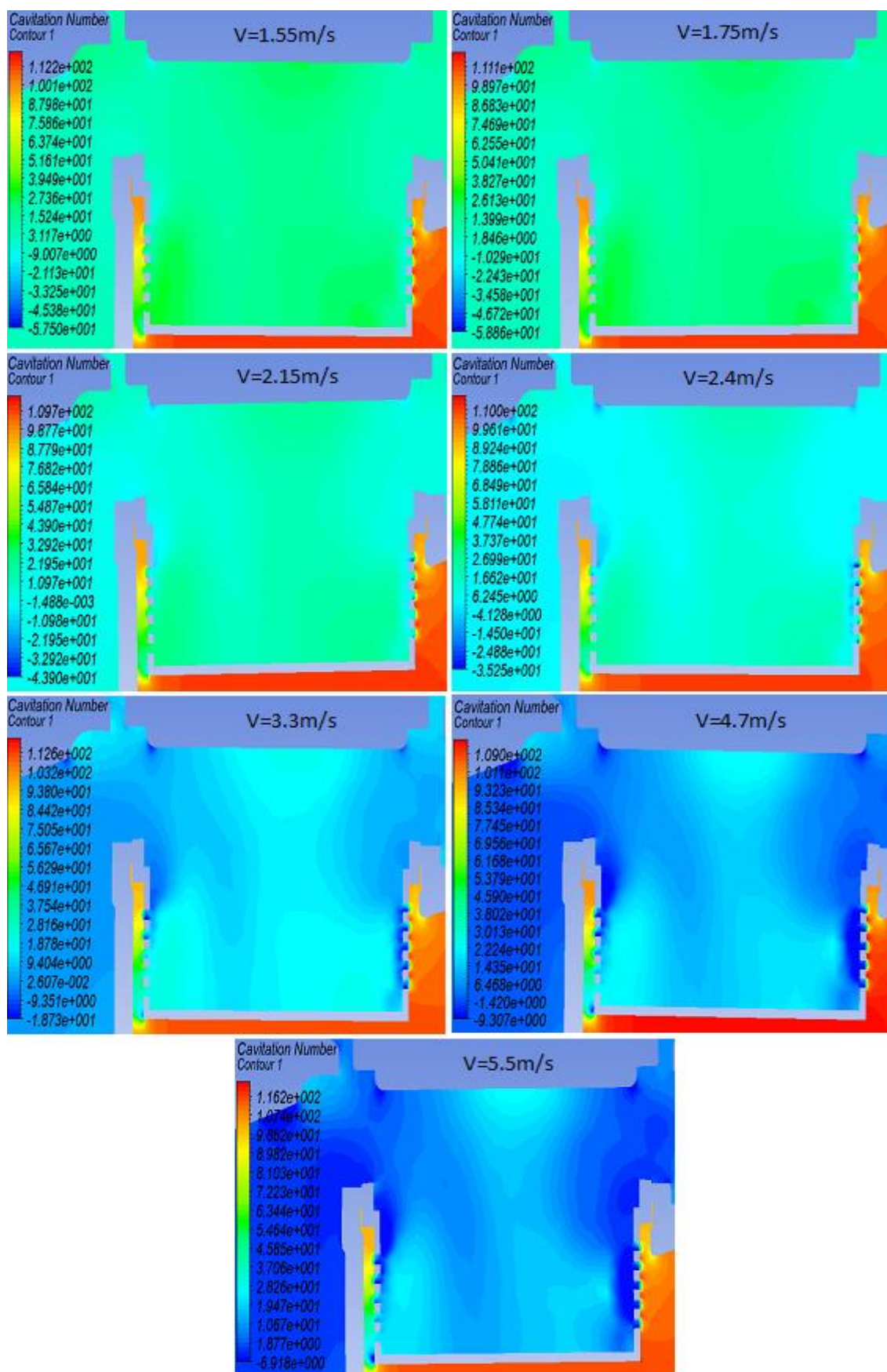
شکل ۵-۱۲: کانتور ضریب کاپیتاسیون درون قفسه در گشودگی ۲۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)



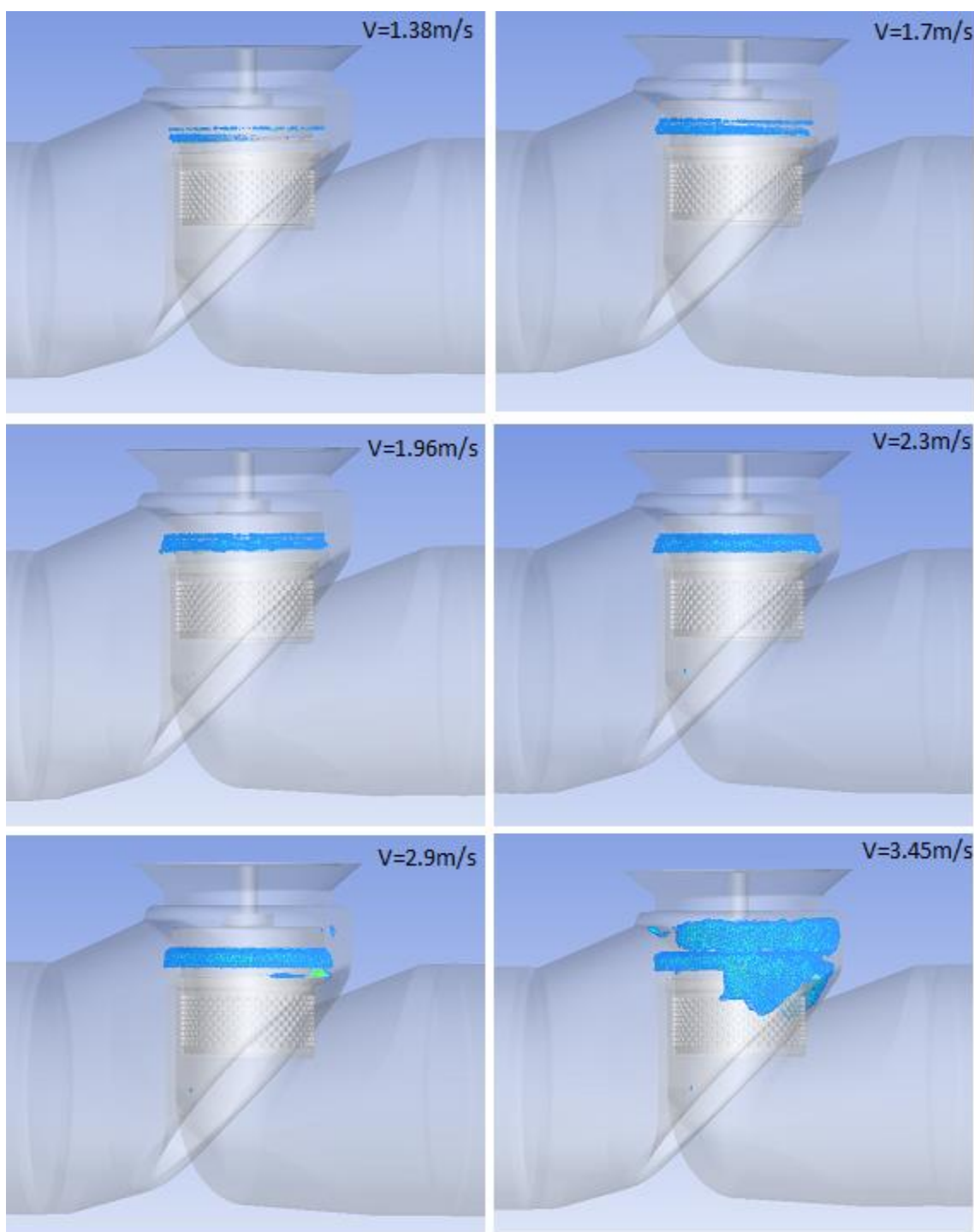
شکل ۵-۱۳: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۳۵٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)



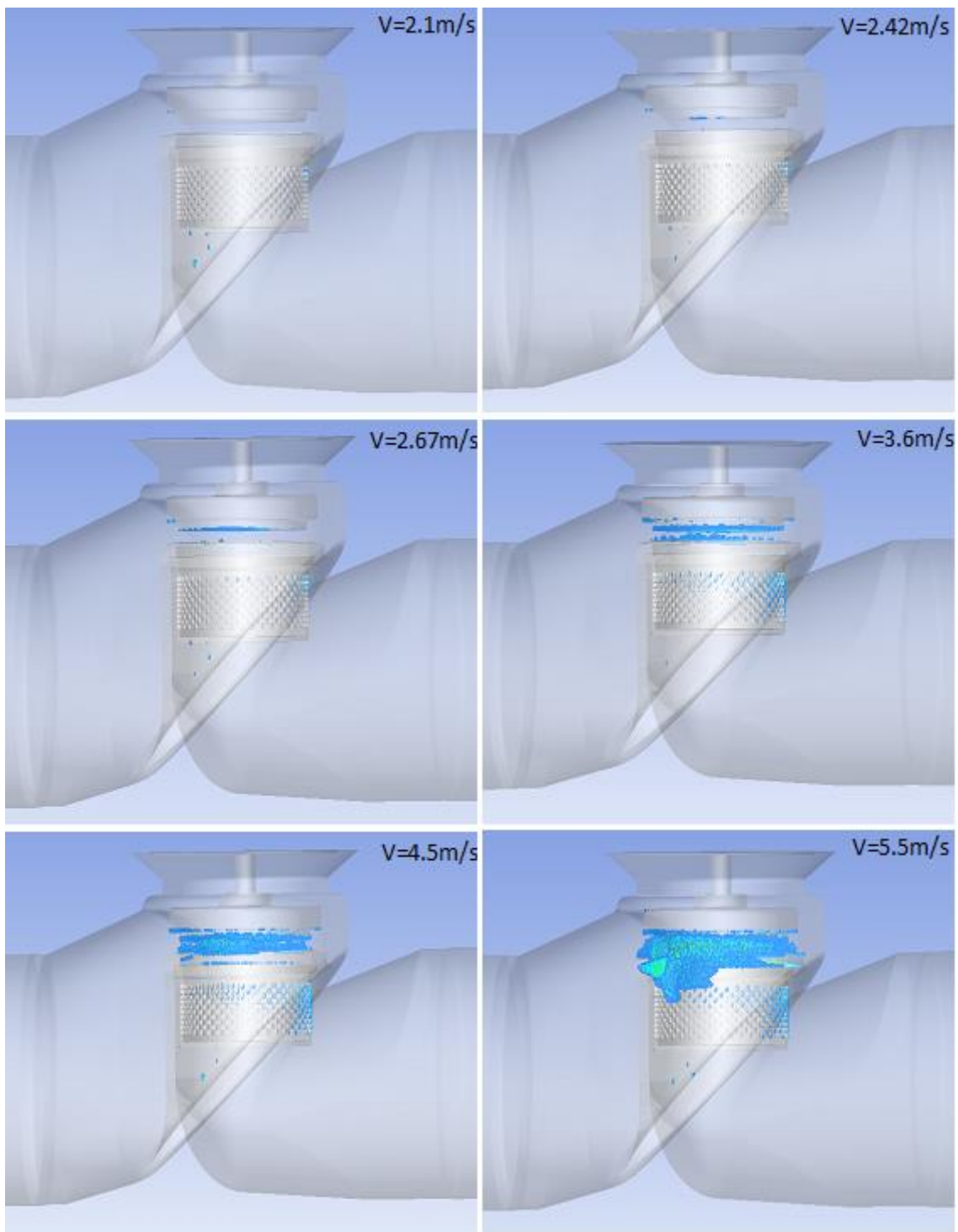
شکل ۵-۱۴: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۵۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)



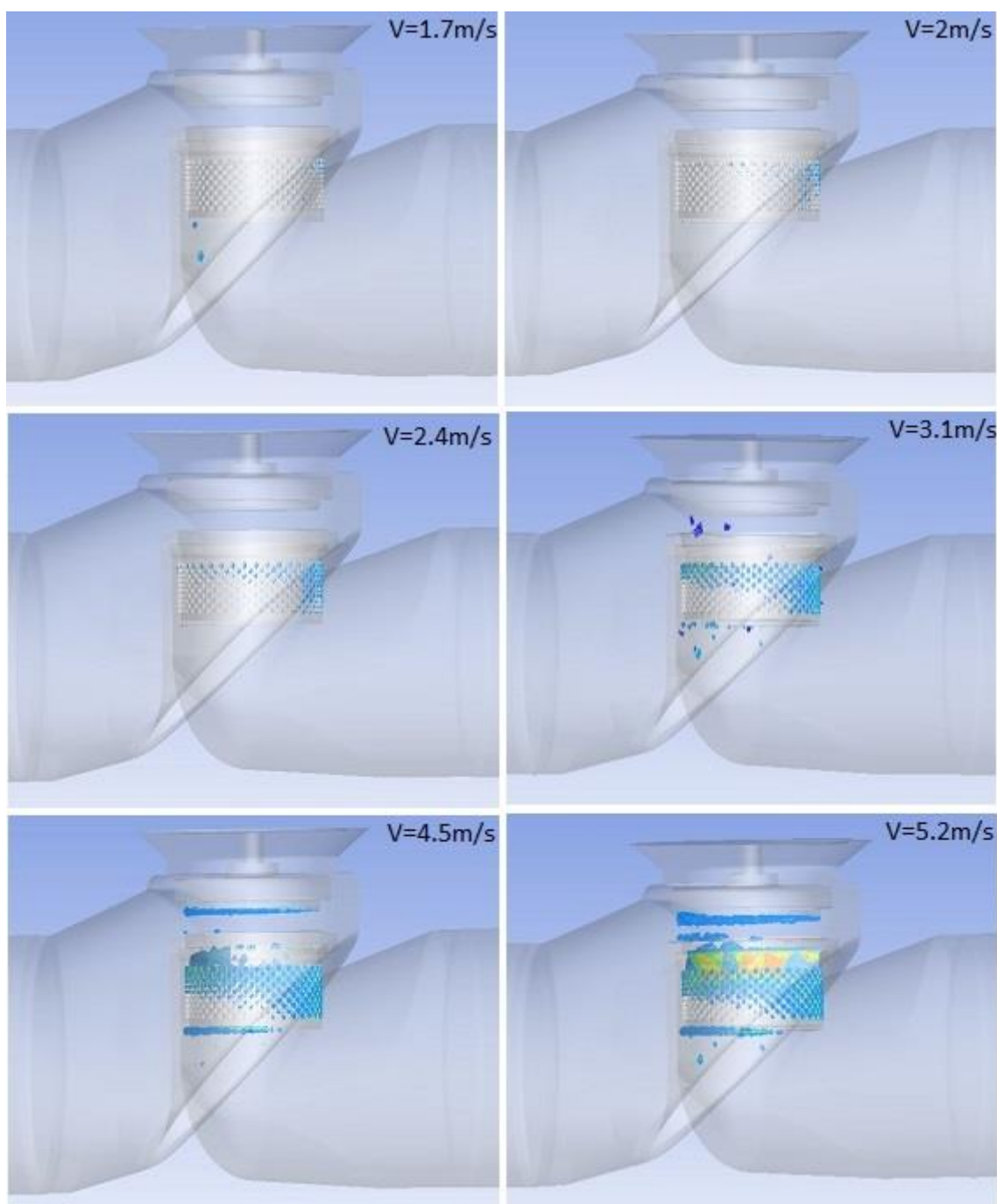
شکل ۵-۱۵: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۱۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل شعاعی)



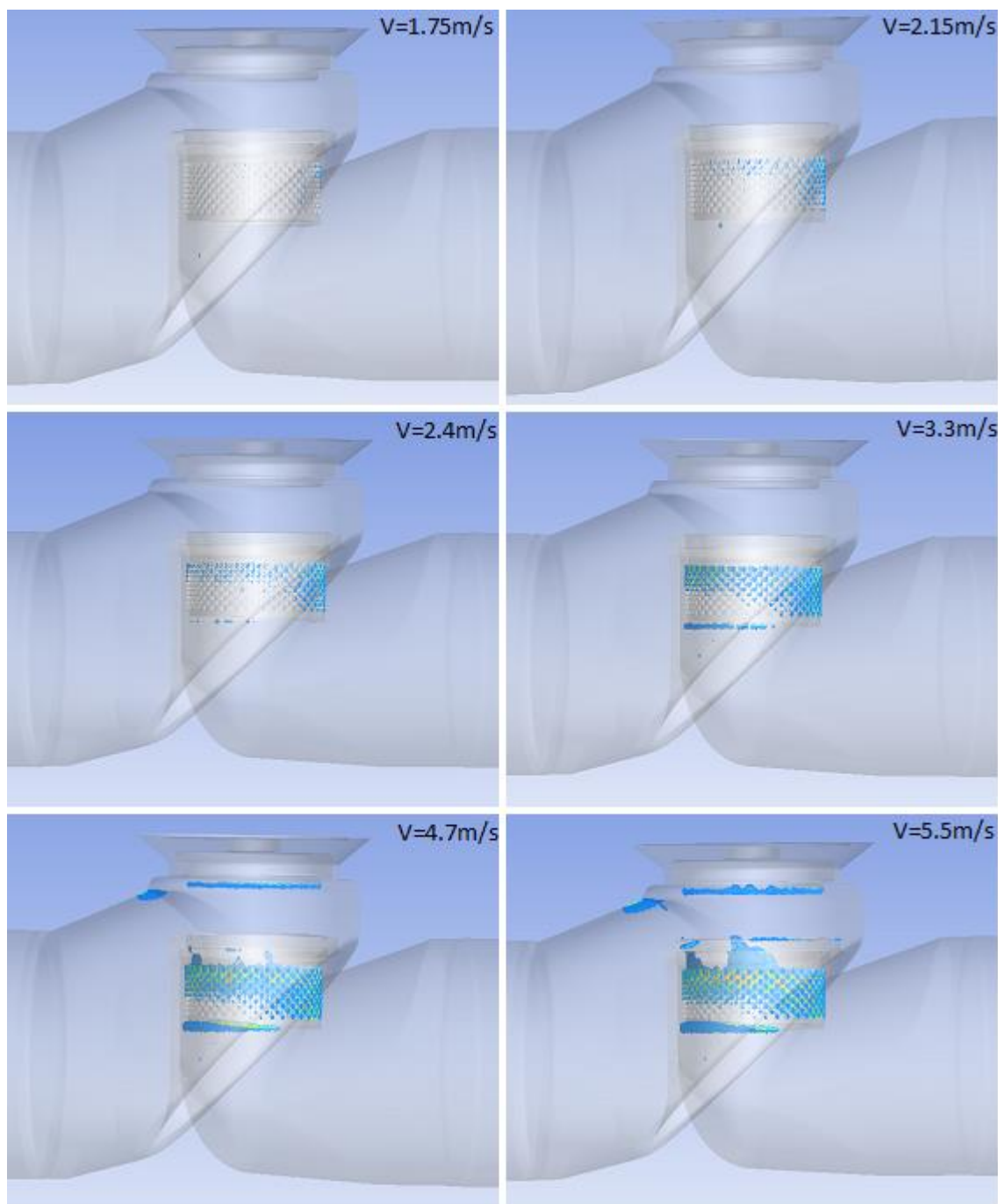
شکل ۵-۱۶: حجم کلاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪ (مدل شعاعی)



شکل ۵-۱۷: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۳۵٪ (مدل شعاعی)



شکل ۵-۱۸: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪ (مدل شعاعی)



شکل ۵-۱۹: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪ (مدل شعاعی)

۵-۴-۲ نتایج دوفازی شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت کف (مدل ۲)

جدول ۵-۸ تا ۵-۱۱ نتایج حاصل از شبیه‌سازی دوفازی شیر آنتی‌کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت کف را برای گشودگی‌های ۲۰، ۳۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد را نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشخص است برای تشخیص درست آستانه تشکیل کواک، شبیه‌سازی‌ها برای هر گشودگی در سرعت‌های مختلف انجام می‌شود.

جدول ۵-۸: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۲۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
20	180.5	0.7	26.194	173.8275	No Cavitation
20	299.1	1.16	18.283	174.8940	Start
20	438.4	1.7	11.160	177.5353	Very Small
20	505.4	1.96	7.8988	179.8377	Small
20	593.1	2.3	8.0323	295.7107	Moderate
20	747.8	2.9	14.579	293.7856	Big
20	889.7	3.45	20.280	292.0329	Very Big

جدول ۵-۹: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۳۵٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
35	422.9	1.64	2.0246	297.2193	No Cavitation
35	469.3	1.82	2.4840	297.7815	Start
35	541.5	2.1	3.3141	297.4695	Very Small
35	624.1	2.42	4.3931	297.7391	Small
35	838.1	3.25	8.0323	295.7107	Moderate
35	1122	4.35	14.579	293.7856	Big
35	1315	5.1	20.280	292.0329	Very Big

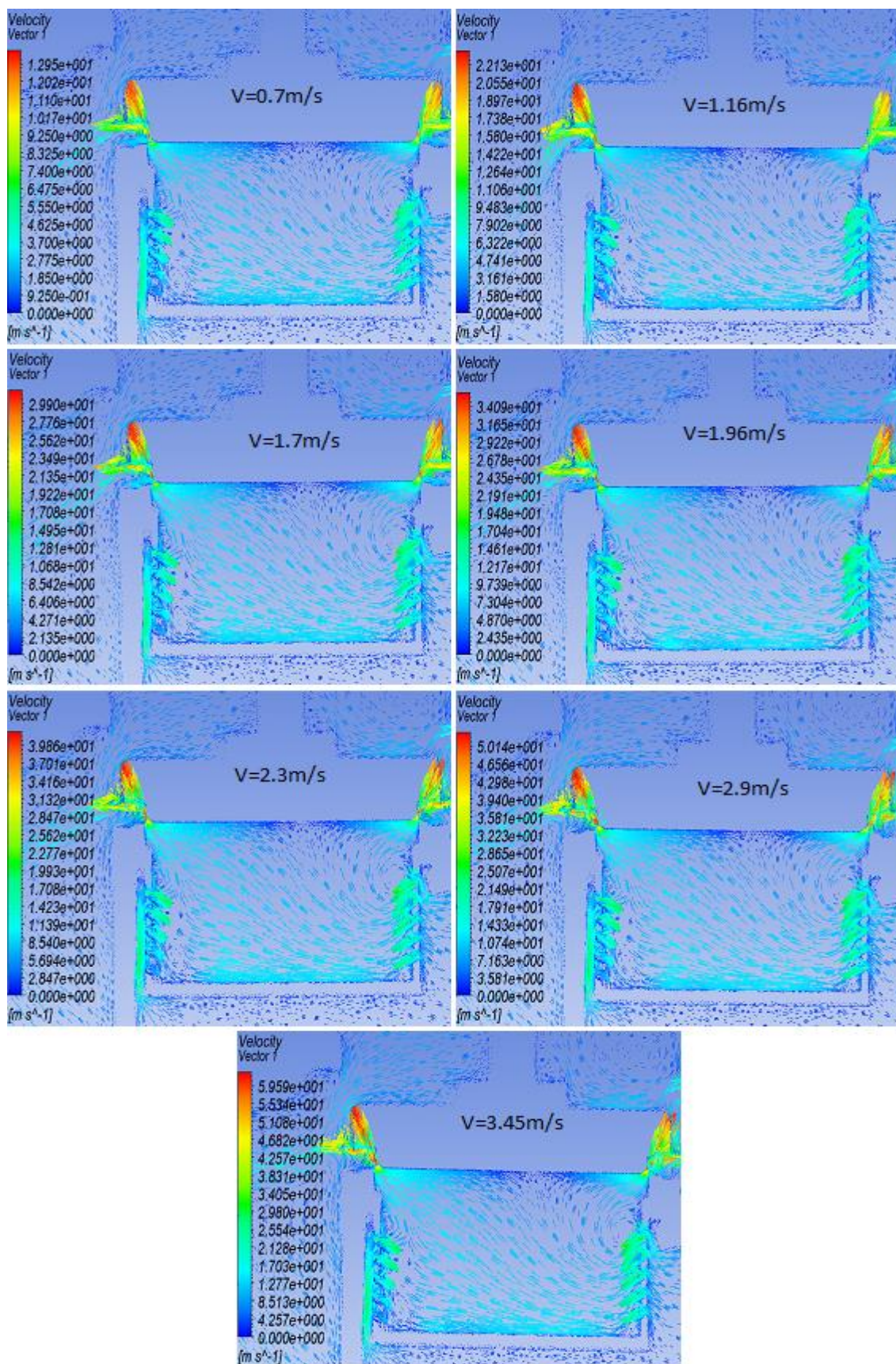
جدول ۵-۱۰: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۵۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
50	386.81	1.5	1.3640	331.1884	No Cavitation
50	438.38	1.7	1.7539	331.0116	Start
50	515.75	2	2.4260	331.1238	Very Small
50	593.11	2.3	3.2092	331.0776	Small
50	799.41	3.1	5.9261	328.3848	Moderate
50	1160.4	4.5	12.739	325.1235	Big
50	1340.9	5.2	17.174	323.5655	Very Big

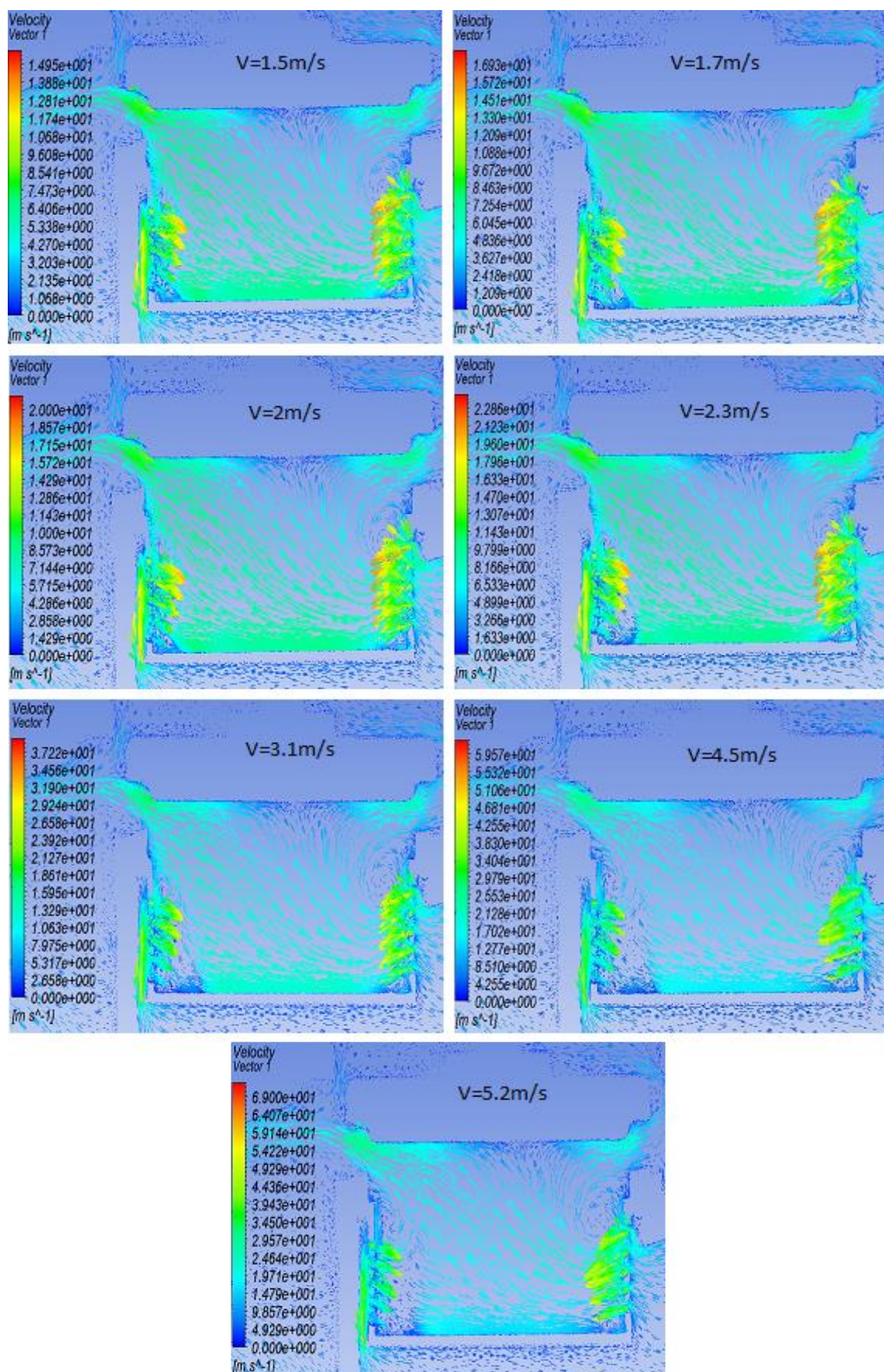
جدول ۵-۱۱: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۱۰۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
100	389.4	1.51	1.3681	332.9023	No Cavitation
100	443.5	1.72	1.7787	332.5655	Start
100	549.3	2.13	2.7297	332.4467	Very Small
100	616.3	2.39	3.4568	331.4861	Small
100	851	3.3	6.7087	328.5491	Moderate
100	1212	4.7	13.912	324.9415	Big
100	1418	5.5	19.155	324.0558	Very Big

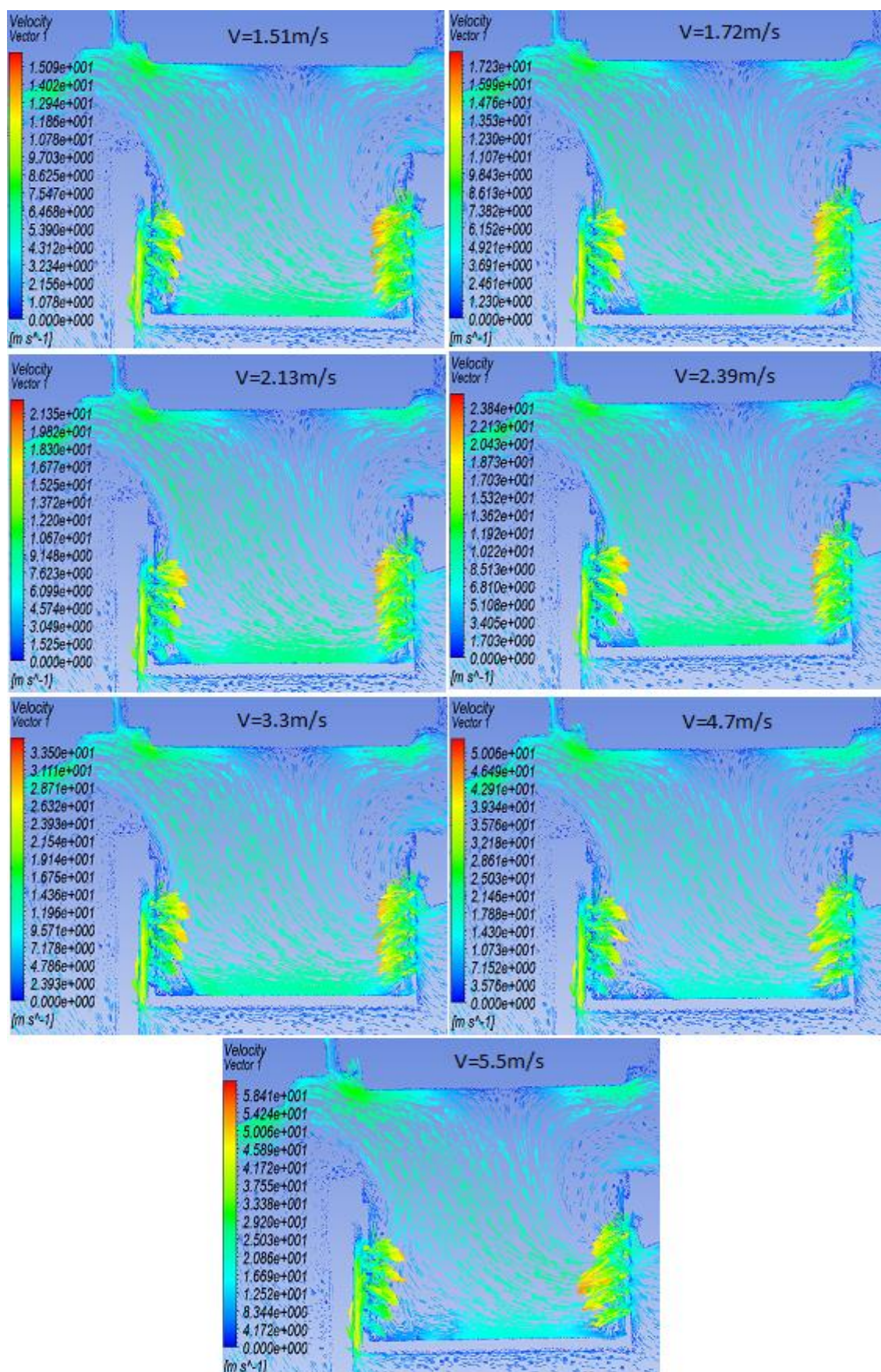
با توجه به نتایج به‌دست آمده از جداول ۵-۸ تا ۵-۱۱ همانند مدل قبل با افزایش سرعت میزان افت فشار و در نتیجه کاویتاسیون افزایش می‌یابد. این افزایش کاویتاسیون باعث شدت یافتن پدیده بلاکیج می‌شود و در نتیجه مقدار ضریب k_v شیر آنتی کاویتاسیون کاهش می‌یابد. شکل‌های ۵-۲۰ تا ۵-۲۲ بردارهای سرعت را درون قفسه نمایش می‌دهند. با توجه به این شکل‌ها، ملاحظه می‌شود که مقادیر سرعت در قسمت منافذ قفسه دچار افزایش زیادی می‌شود. شکل‌های ۵-۲۳ تا ۵-۲۶ نمای شماتیک از کانتور ضریب کاویتاسیون را درون شیر و قفسه نمایش می‌دهند. با بررسی این دو شکل مشخص می‌شود که ضریب کاویتاسیون در گشودگی‌های بالا و سرعت‌های پایین بیشتر در نواحی داخلی منافذ مایل منفی می‌باشد. با افزایش سرعت ابتدا در نواحی نزدیک بدنه قفسه و سپس لبه‌های پایینی پلاگ ضریب کاویتاسیون منفی می‌شود. ولی در گشودگی‌های پایین این ضریب در نواحی بین پلاگ و نشیمنگاه منفی می‌باشد و تنها در سرعت‌های بسیار بالا در ناحیه قفسه منفی می‌شود. این امر به‌دلیل رخ دادن افت فشار بیشتر در نواحی نامبرده می‌باشد. همان‌طور که در بخش قبل توضیح داده شد، در گشودگی پایین، سیال درون قفسه نسبت به گشودگی‌های بالا محبوس‌تر می‌باشد، به همین دلیل فشار درون قفسه بالا می‌باشد و در نتیجه ضریب کاویتاسیون در آن منفی نمی‌باشد. با توجه با دلایل ذکر شده و همچنین بررسی شکل‌های ۵-۲۷ تا ۵-۳۰، نتیجه‌گیری می‌شود که کاویتاسیون در گشودگی‌های بالا بیشتر درون منافذ و نزدیک دیواره قفسه و سپس در نواحی لبه‌ی پلاگ رخ می‌دهد. با کاهش گشودگی شیر میزان کاویتاسیون درون منافذ کم‌تر شده و در نواحی بین پلاگ و نشیمنگاه افزایش پیدا می‌کند.



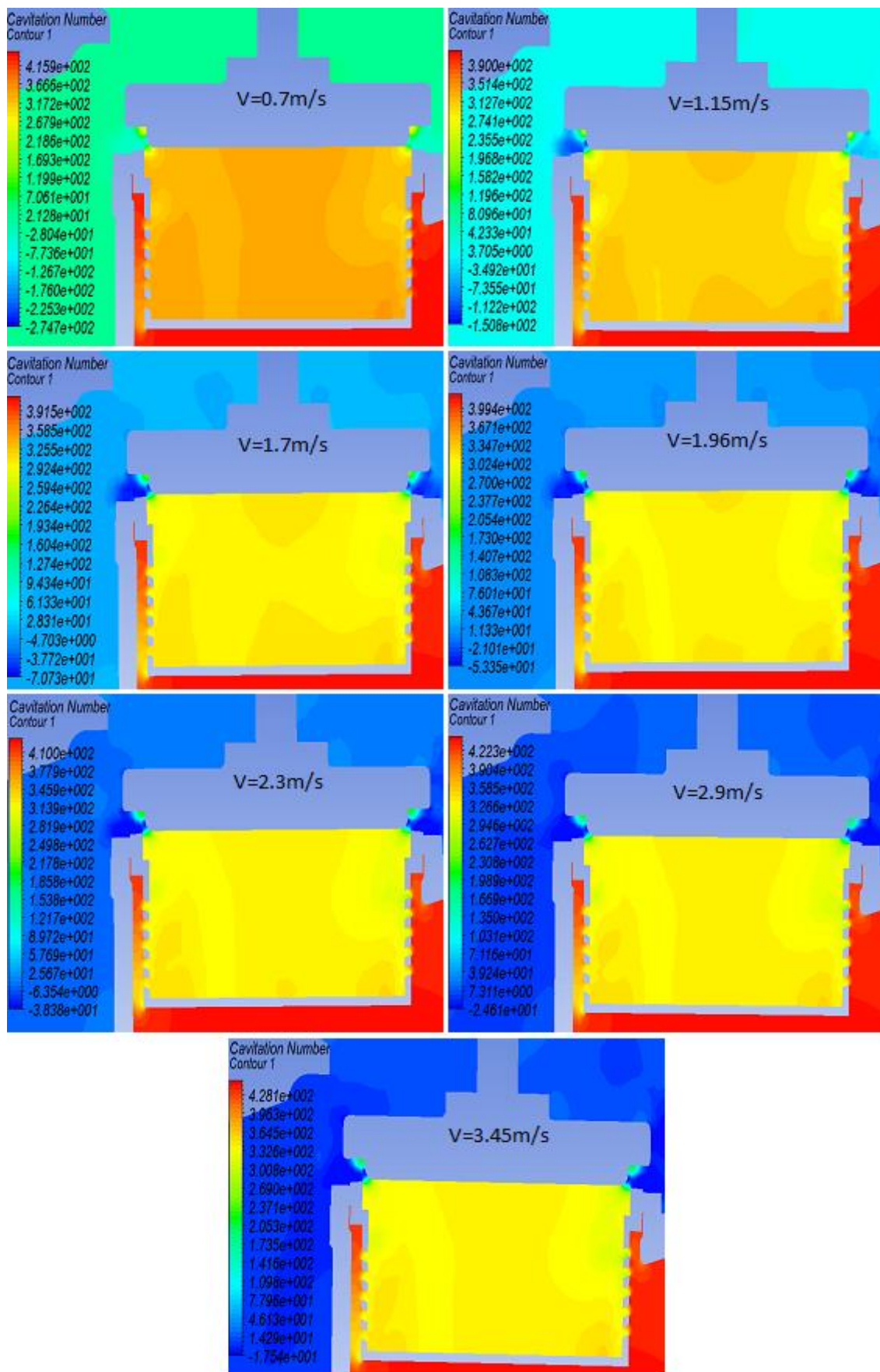
شکل ۵-۲۰: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۲۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)



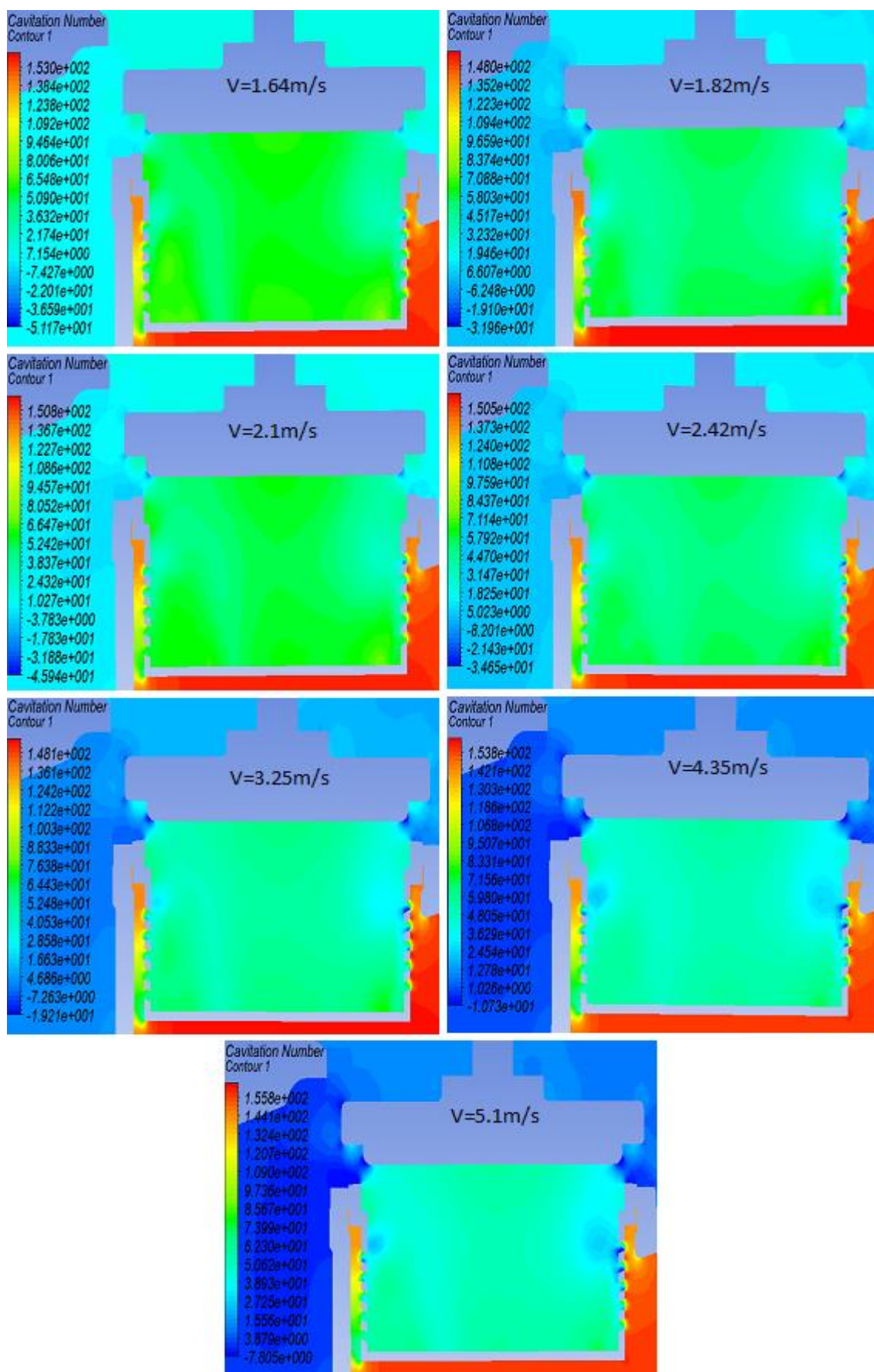
شکل ۵-۲۱: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۵۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)



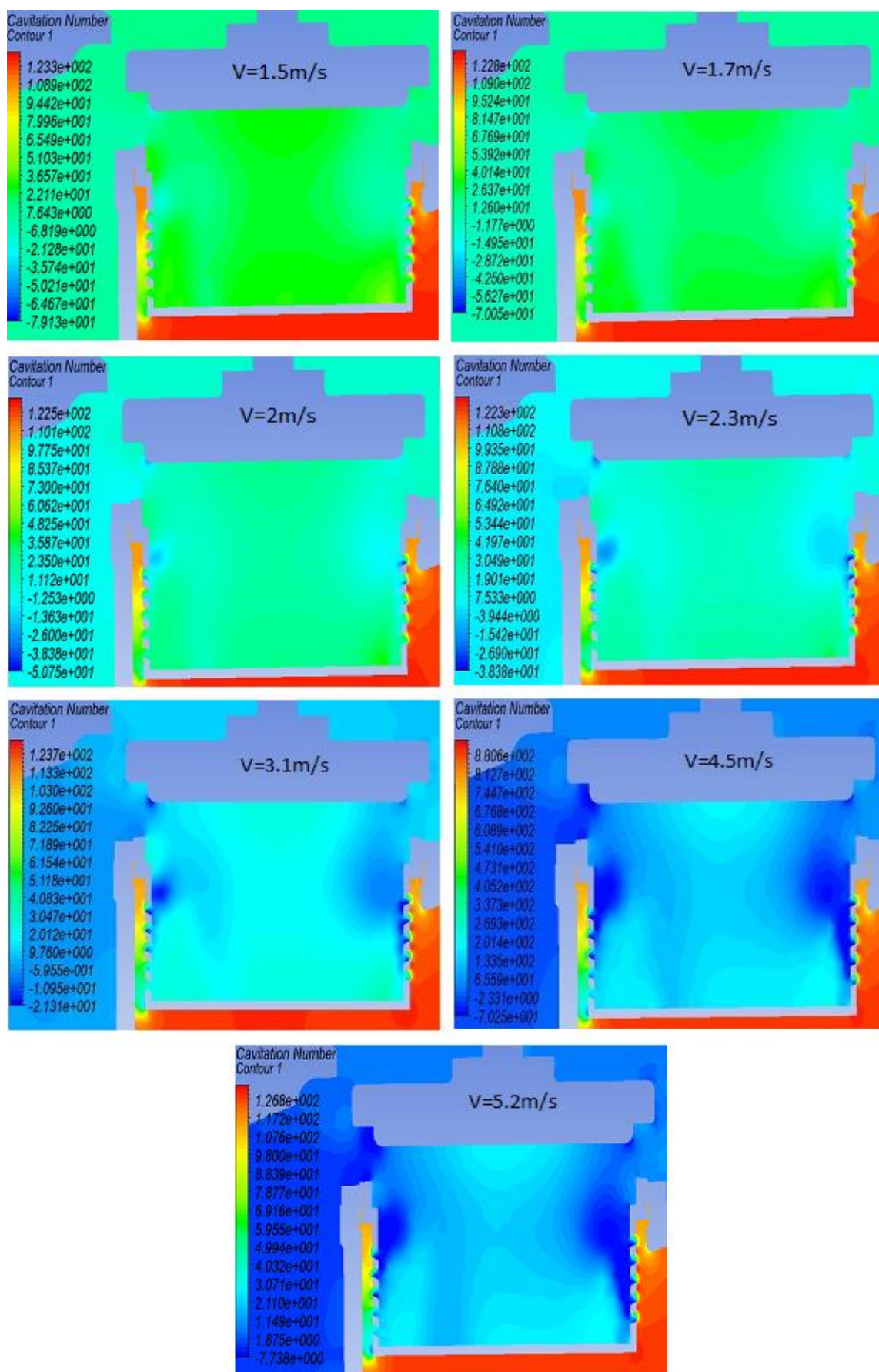
شکل ۵-۲۲: بردار سرعت درون قفسه در گشودگی ۱۰۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)



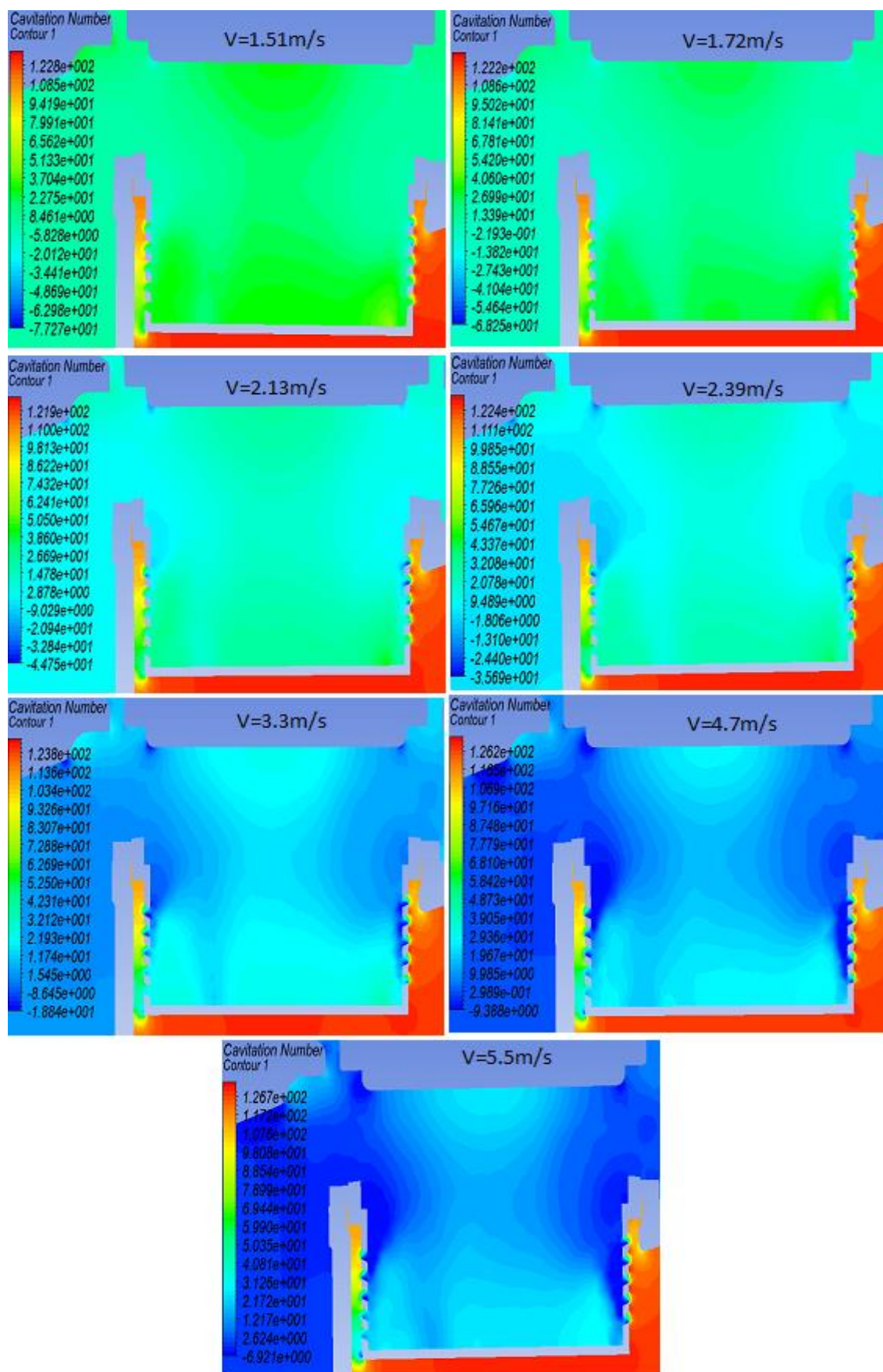
شکل ۵-۲۳: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۲۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)



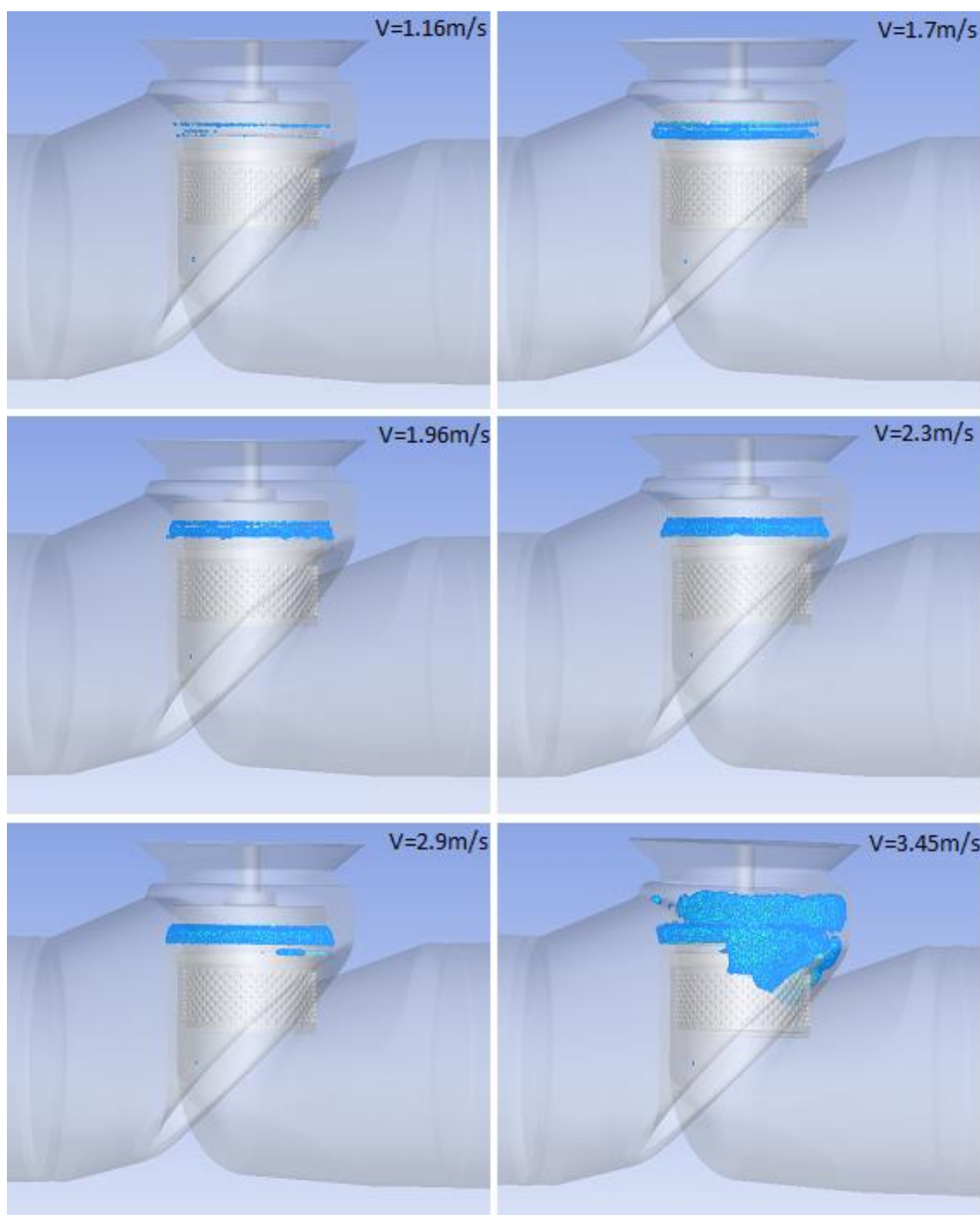
شکل ۵-۲۴: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۳۵٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)



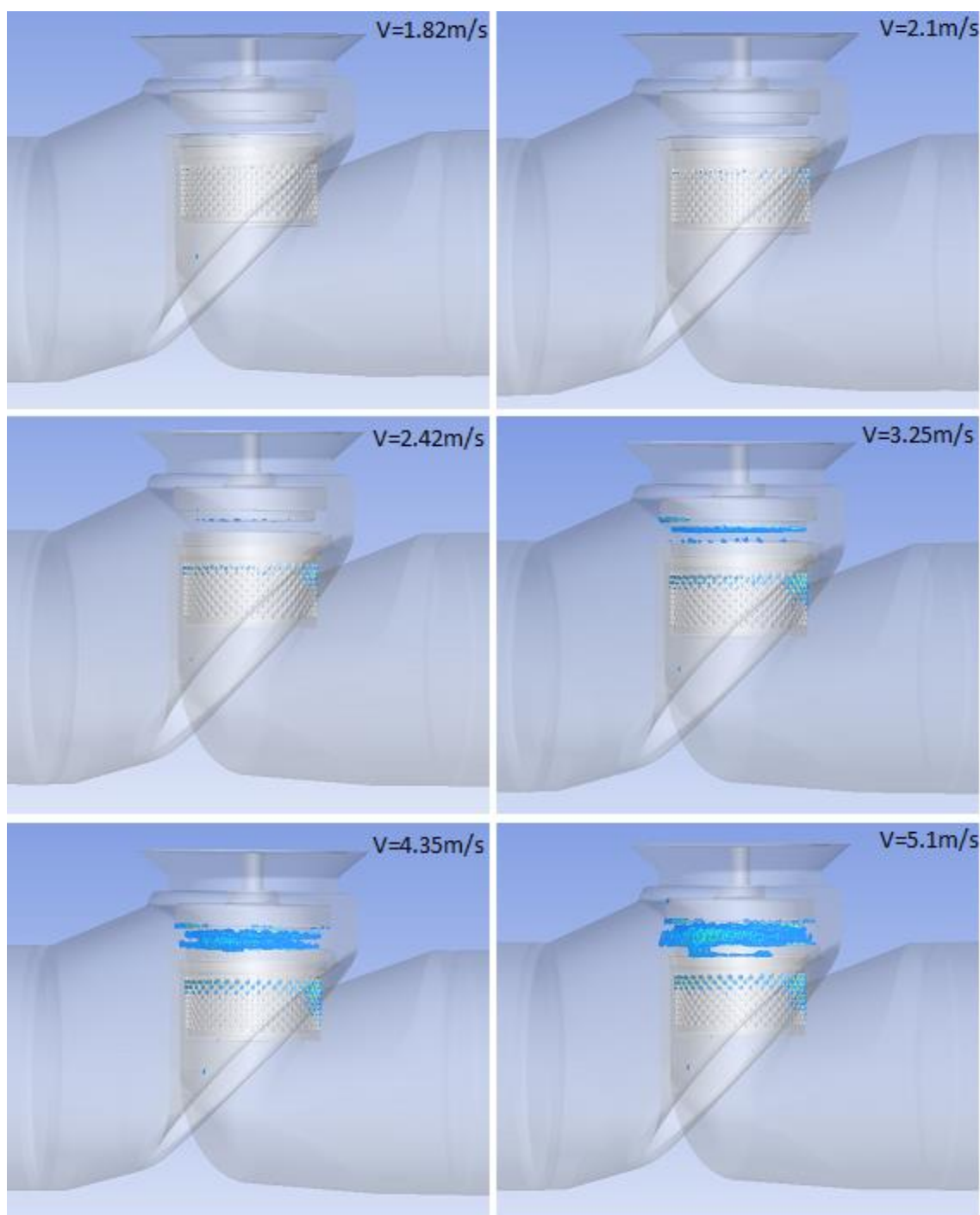
شکل ۵-۲۵: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۵۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)



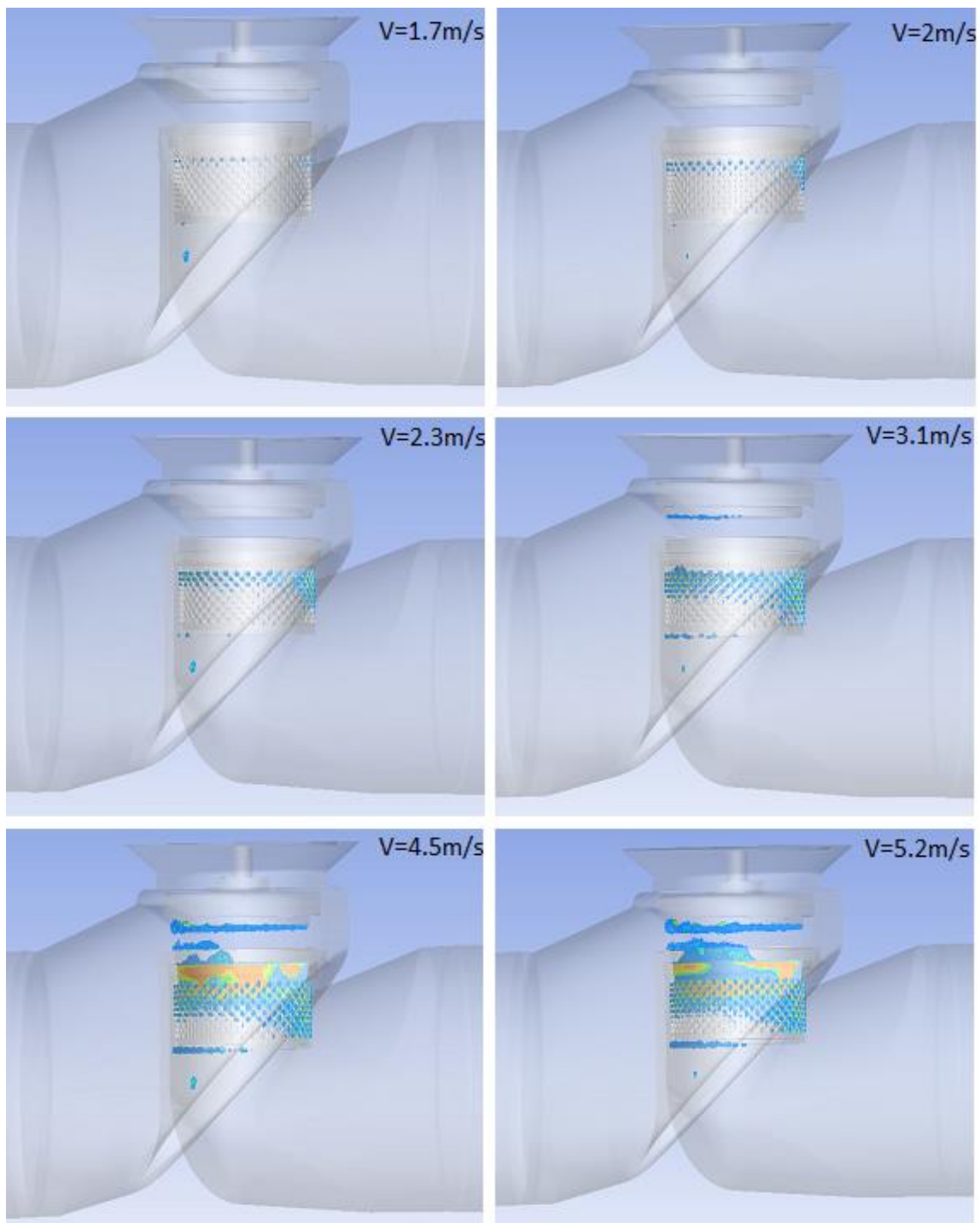
شکل ۵-۲۶: کانتور ضریب کاویتاسیون درون قفسه در گشودگی ۱۰۰٪ و سرعت‌های مختلف (مدل منافذ مایل به سمت کف)



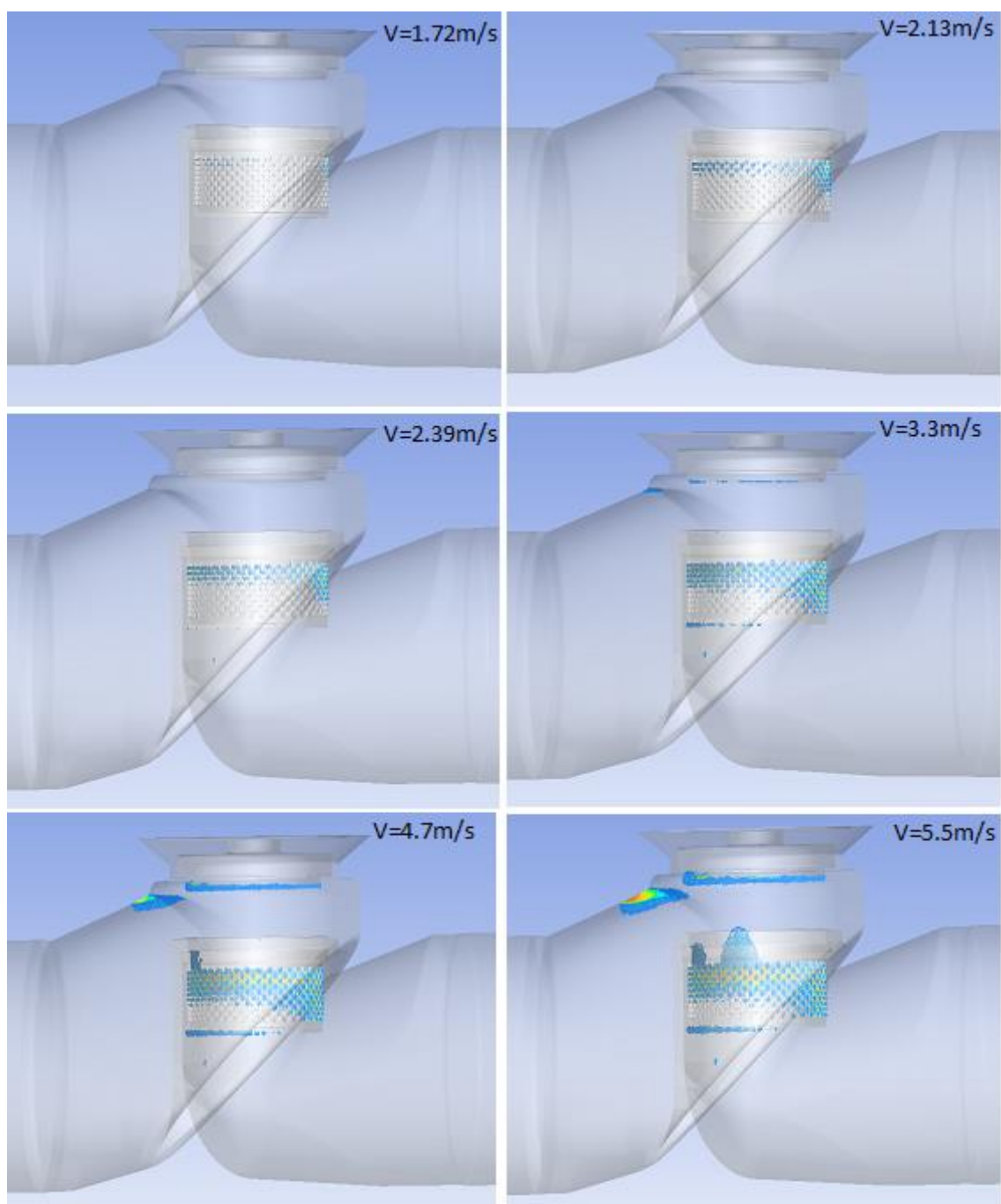
شکل ۵-۲۷: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۲۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)



شکل ۵-۲۸: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۳۵٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)



شکل ۵-۲۹: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۵۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)



شکل ۵-۳: حجم کاواک در سرعت‌های مختلف و گشودگی ۱۰۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت کف)

۵-۴-۳ نتایج شیر آنتی کاویتاسیون گلوب با منافذ مایل به سمت بالا (مدل ۳)

در انتها برای بررسی دقیق تر تاثیر زاویه دار کردن منافذ، قفسه با منافذ مایل به سمت بالا در حالت دوفازی مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل نیز شیر گلوب در گشودگی های ۲۰، ۳۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد و سرعت های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از شبیه سازی در جداول ۵-۱۲ تا ۵-۱۵ نمایش داده شده است.

جدول ۵-۱۲: خلاصه نتایج شبیه سازی شیر گلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۲۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت بالا)

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
20	193.4	0.75	1.0525	188.5148	No Cavitation
20	312	1.21	2.7191	189.2247	Start
20	446.1	1.73	5.5940	188.6208	Very Small
20	508	1.97	7.5745	184.5843	Small
20	598.3	2.32	10.624	183.5397	Moderate
20	722	2.8	15.725	182.0783	Big
20	773.6	3	18.277	180.9546	Very Big

جدول ۵-۱۳: خلاصه نتایج شبیه سازی شیر گلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۳۵٪ (مدل منافذ مایل به سمت بالا)

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
35	422.9	1.7	1.7988	326.8595	No Cavitation
35	469.3	1.9	2.2499	326.6450	Start
35	541.5	2.44	3.7143	326.4801	Very Small
35	624.1	2.75	4.7157	326.5588	Small
35	838.1	3.3	6.8461	325.2350	Moderate
35	1122	4.65	13.782	322.9962	Big
35	1315	5.7	20.974	320.9464	Very Big

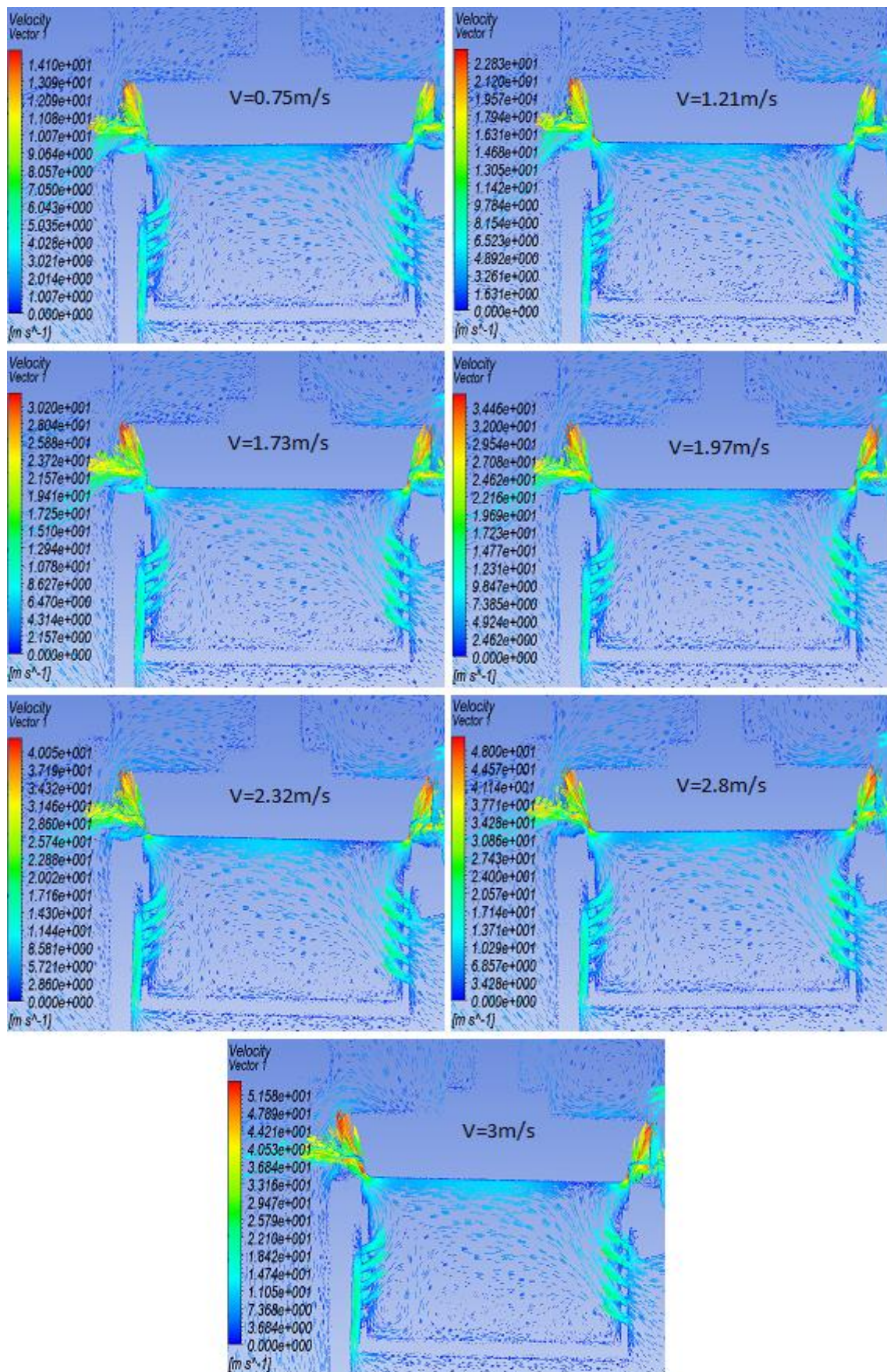
جدول ۵-۱۴: خلاصه نتایج شبیه سازی شیر گلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۵۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت بالا)

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
50	438.4	1.7	1.3708	374.4150	No Cavitation
50	528.6	2.05	1.9922	374.5287	Start
50	657.6	2.55	3.0916	373.9842	Very Small
50	734.9	2.85	3.8917	372.5428	Small
50	915.4	3.55	6.1656	368.6761	Moderate
50	1225	4.75	11.713	357.7977	Big
50	1496	5.80	17.459	357.9460	Very Big

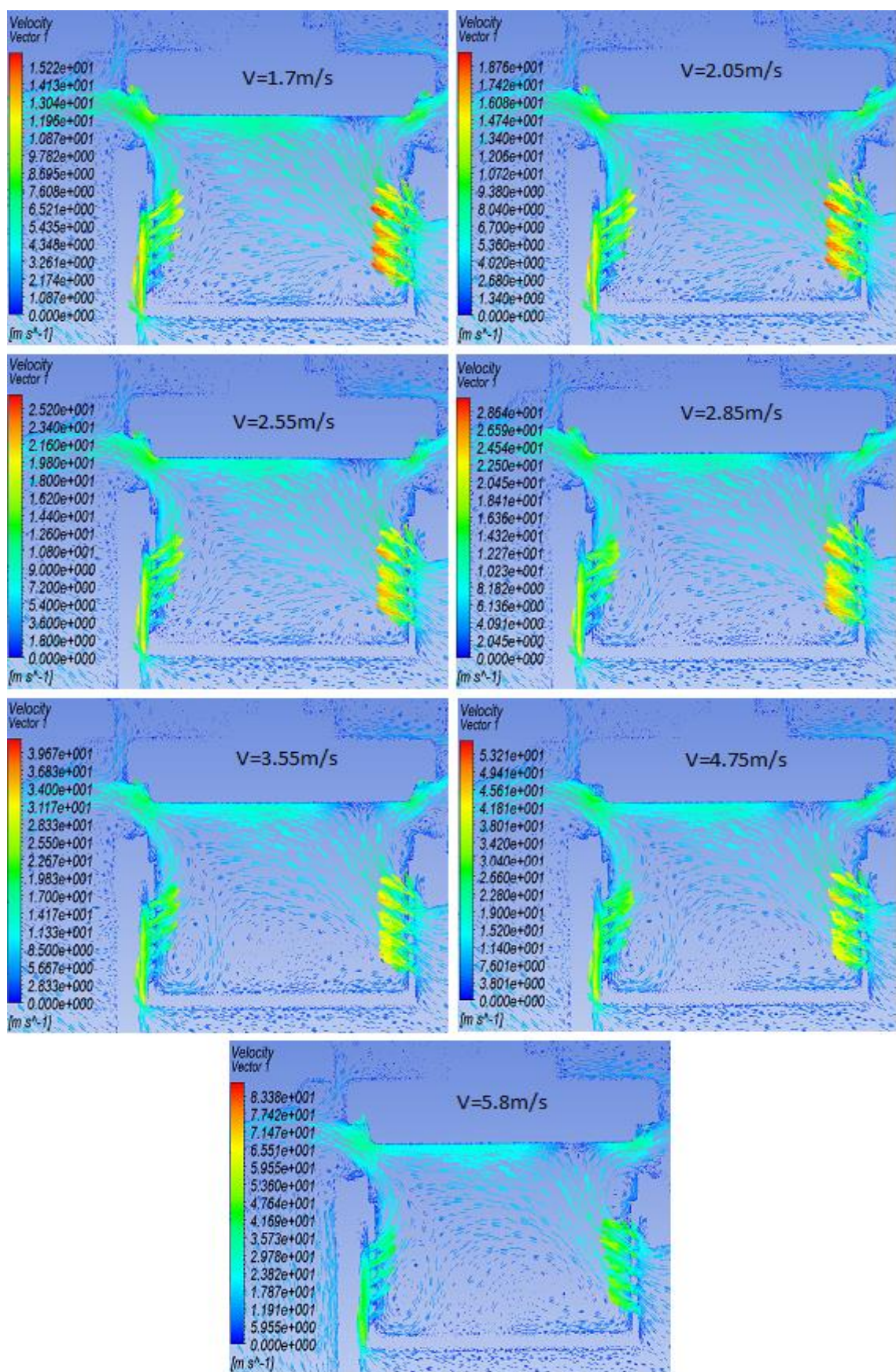
جدول ۵-۱۵: خلاصه نتایج شبیه‌سازی شیرگلوب در حالت دوفازی برای گشودگی ۱۰۰٪ (مدل منافذ مایل به سمت بالا)

op (degree)	$Q \left(\frac{m^3}{hr} \right)$	$V \left(\frac{m}{s} \right)$	$\Delta P (bar)$	Calculated K_v	Cavitation Size
100	399.7	1.55	1.0673	386.8920	No Cavitation
100	490	1.9	1.6032	386.9535	Start
100	580.2	2.25	2.2506	386.7565	Very Small
100	670.5	2.6	3.0213	385.7244	Small
100	923.2	3.58	6.0070	376.6681	Moderate
100	1276	4.95	12.343	363.3188	Big
100	1547	6	18.618	358.7667	Very Big

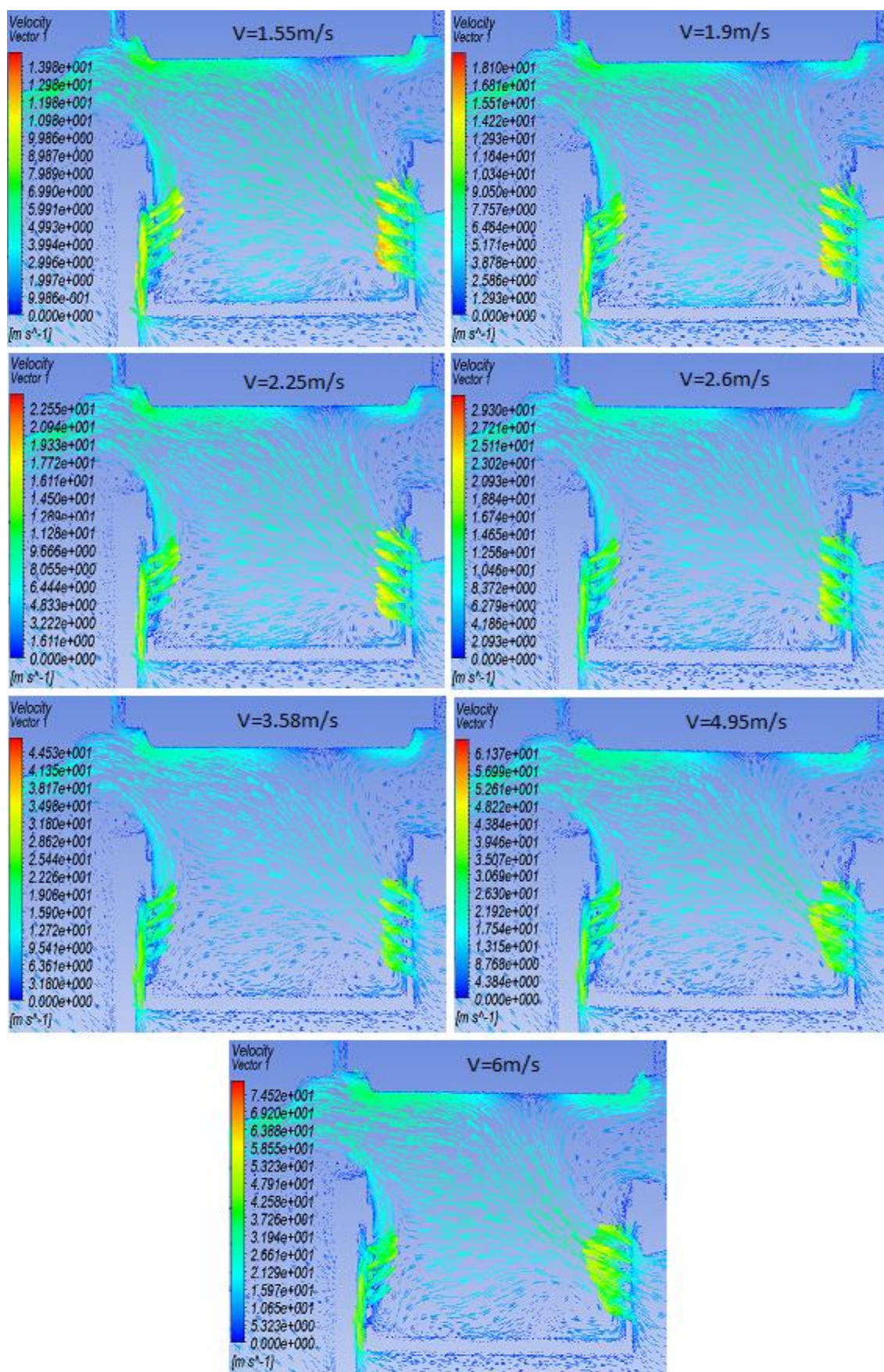
با توجه به جداول ۵-۱۲ تا ۵-۱۵، همانند دو مدل آنتی‌کاویتاسیون قبلی میزان افت فشار در این مدل نیز بسیار بیشتر از مدل اصلی شیر می‌باشد، ولی به نسبت دو مدل آنتی‌کاویتاسیون دیگر، مقدار افت فشار کمتر می‌باشد. شکل‌های ۵-۳۱ تا ۵-۳۳ بردارهای سرعت درون قفسه را نمایش می‌دهد. در این مدل نیز مقدار سرعت در نواحی منافذ قفسه و همین‌طور ناحیه بین پلاگ و قفسه دچار افزایش زیادی می‌شود. شکل‌های ۵-۳۴ تا ۵-۳۷ به بررسی مقادیر ضریب کاویتاسیون درون قفسه می‌پردازد. طبق این دو شکل، نسبت به دو مدل پیشین ضریب کاویتاسیون در بیشتر در ناحیه بین پلاگ و قفسه منفی می‌باشد. این امر به این دلیل است که افت فشار در این ناحیه بیشتر رخ می‌دهد. با توجه به دلایل ذکر شده و بررسی شکل‌های ۵-۳۸ و ۵-۴۱ نتیجه‌گیری می‌شود که در این مدل و در اختلاف فشار تقریباً برابر، به نسبت دو مدل دیگر کاویتاسیون بیشتری روی سطوح پلاگ و شیر رخ می‌دهد. لازم به ذکر است که در این مدل در گشودگی ۲۰ درصد و در اختلاف فشارهای بالا (حدوداً ۲۵ بار) حباب‌های کاویتاسیون سراسر شیر را در بر می‌گیرد. البته همان‌طور که مشخص است، در تمامی گشودگی‌ها نسبت به مدل‌های دیگر کاویتاسیون پیشروی بیشتری درون شیر کرده است. بنابراین این مدل در کنترل کاویتاسیون عملکرد ضعیف‌تری از خود نشان داد.



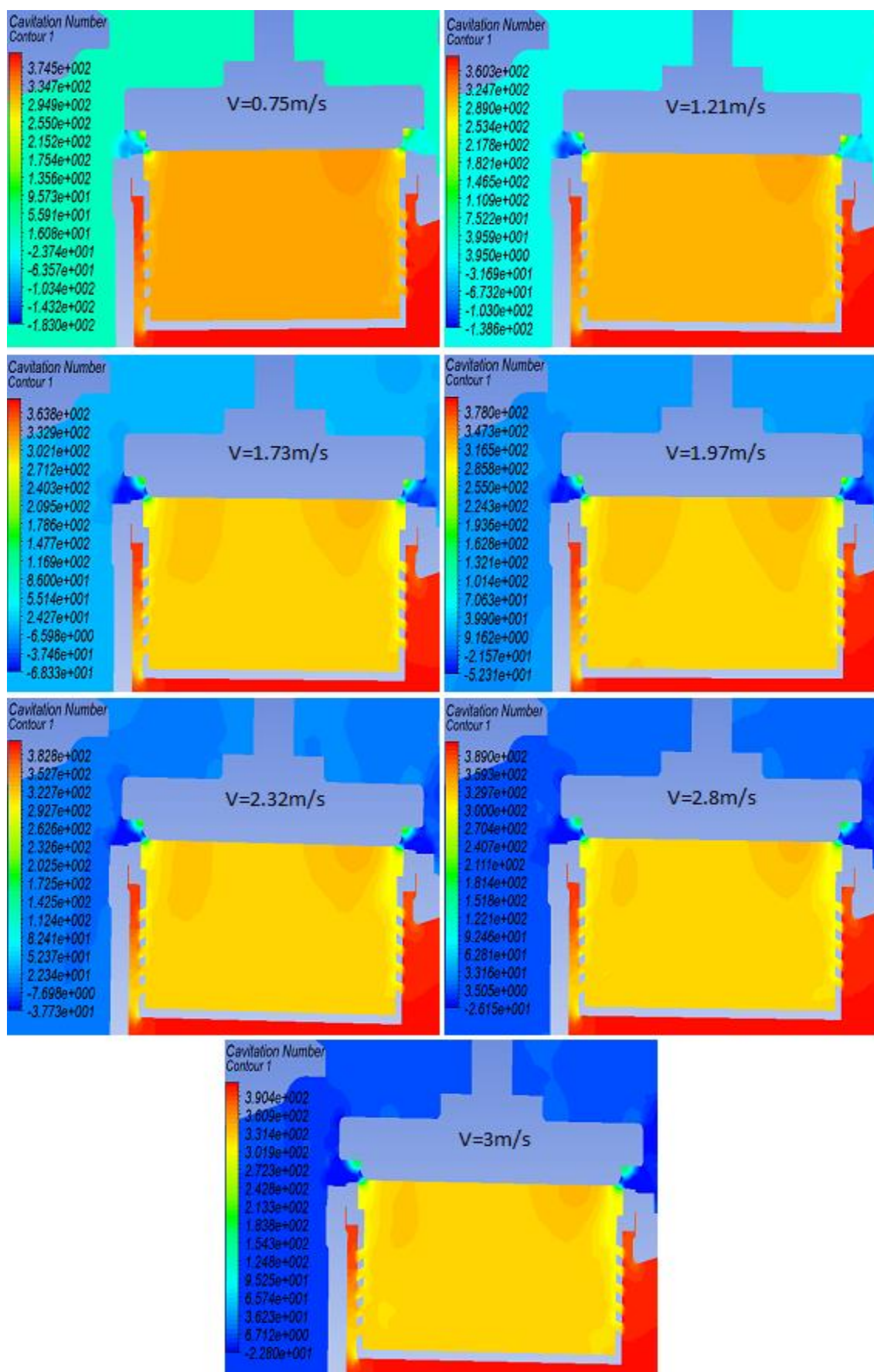
شکل ۵-۳۱: بردارهای سرعت در گشودگی ۲۰٪ درون قفسه و در شیر آنتی کلویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



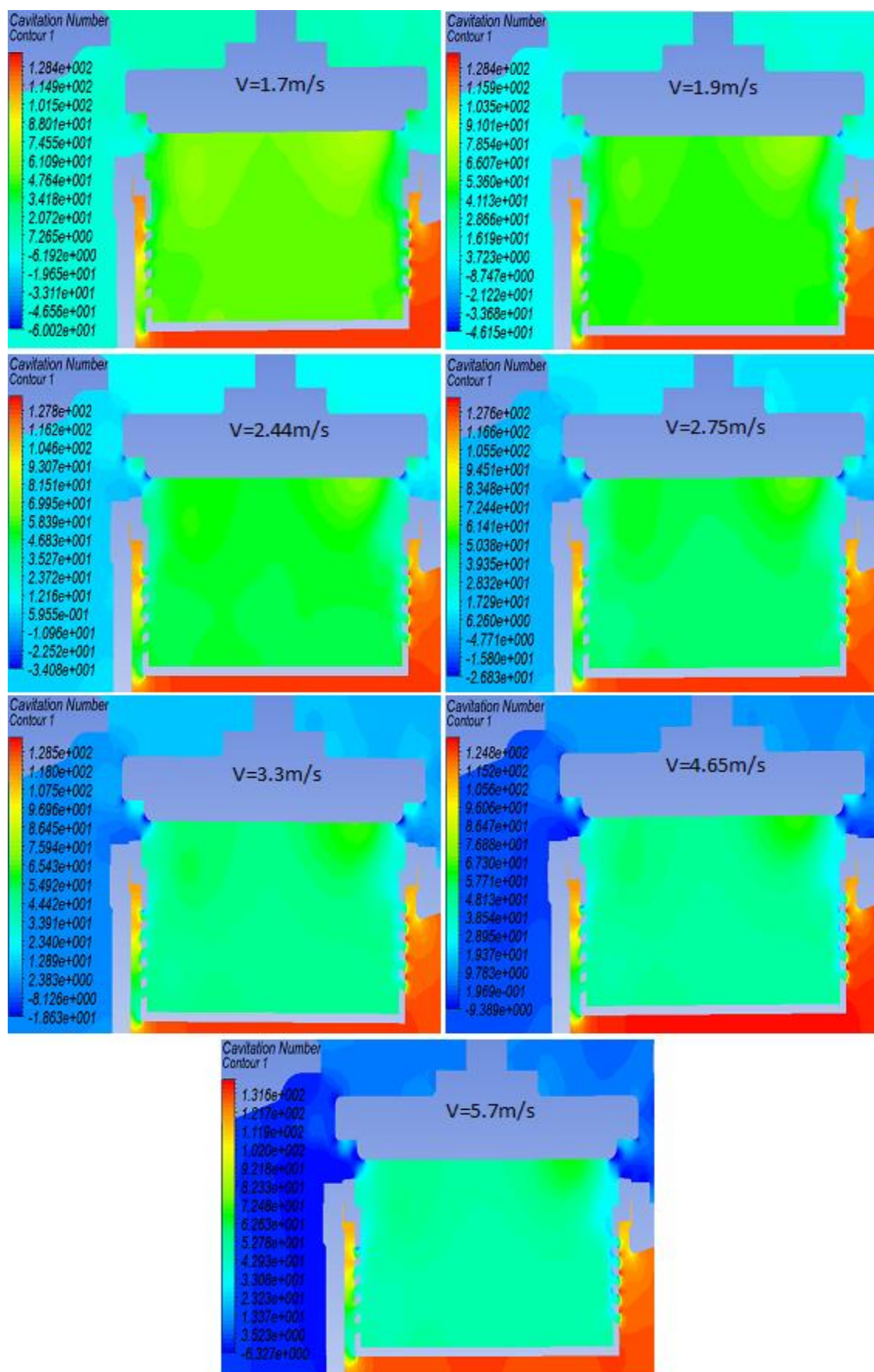
شکل ۵-۳۲: بردارهای سرعت در گشودگی ۵۰٪ درون قفسه و در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



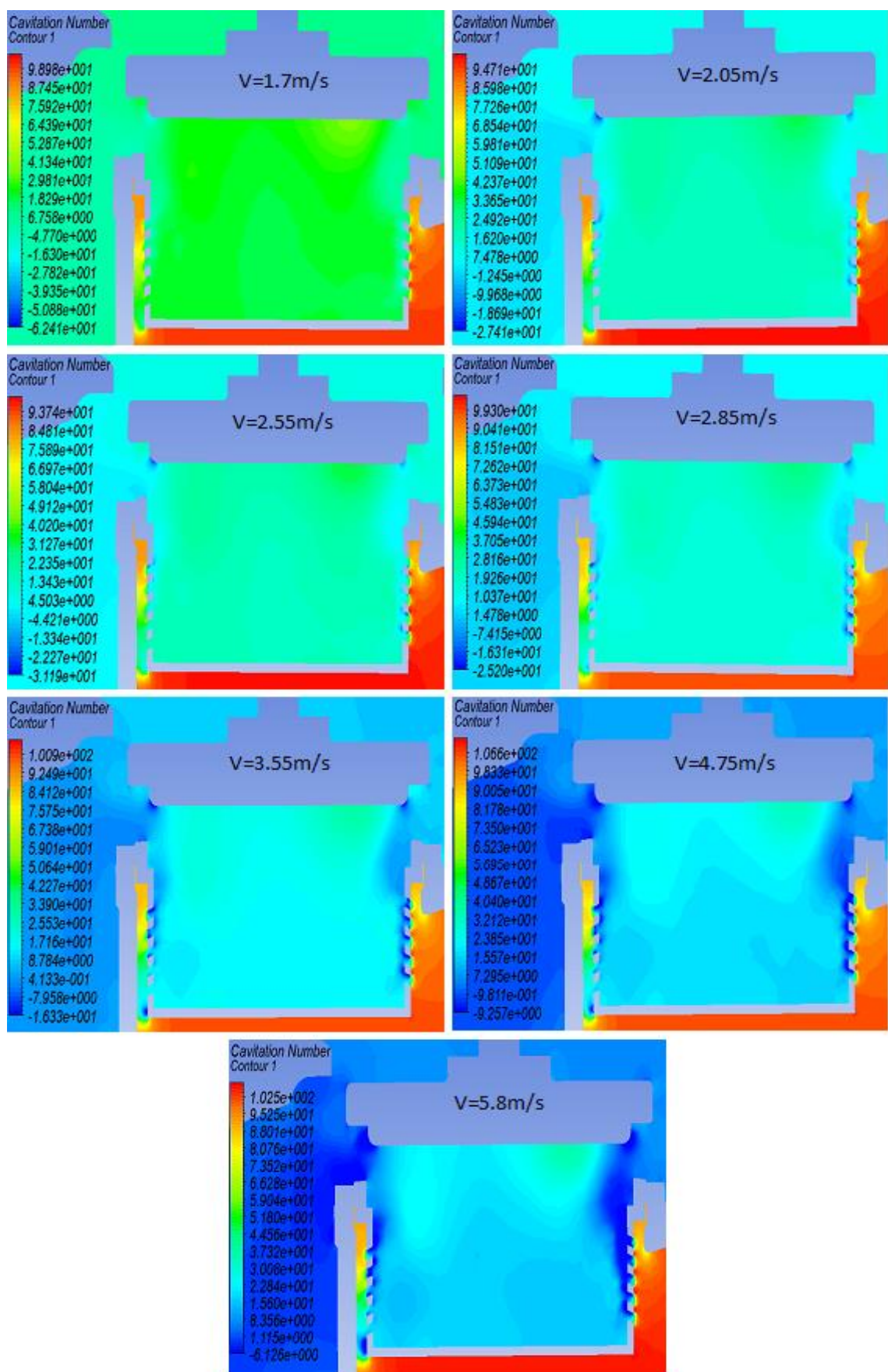
شکل ۵-۳: بردارهای سرعت در گشودگی ۱۰۰٪ درون قفسه و در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



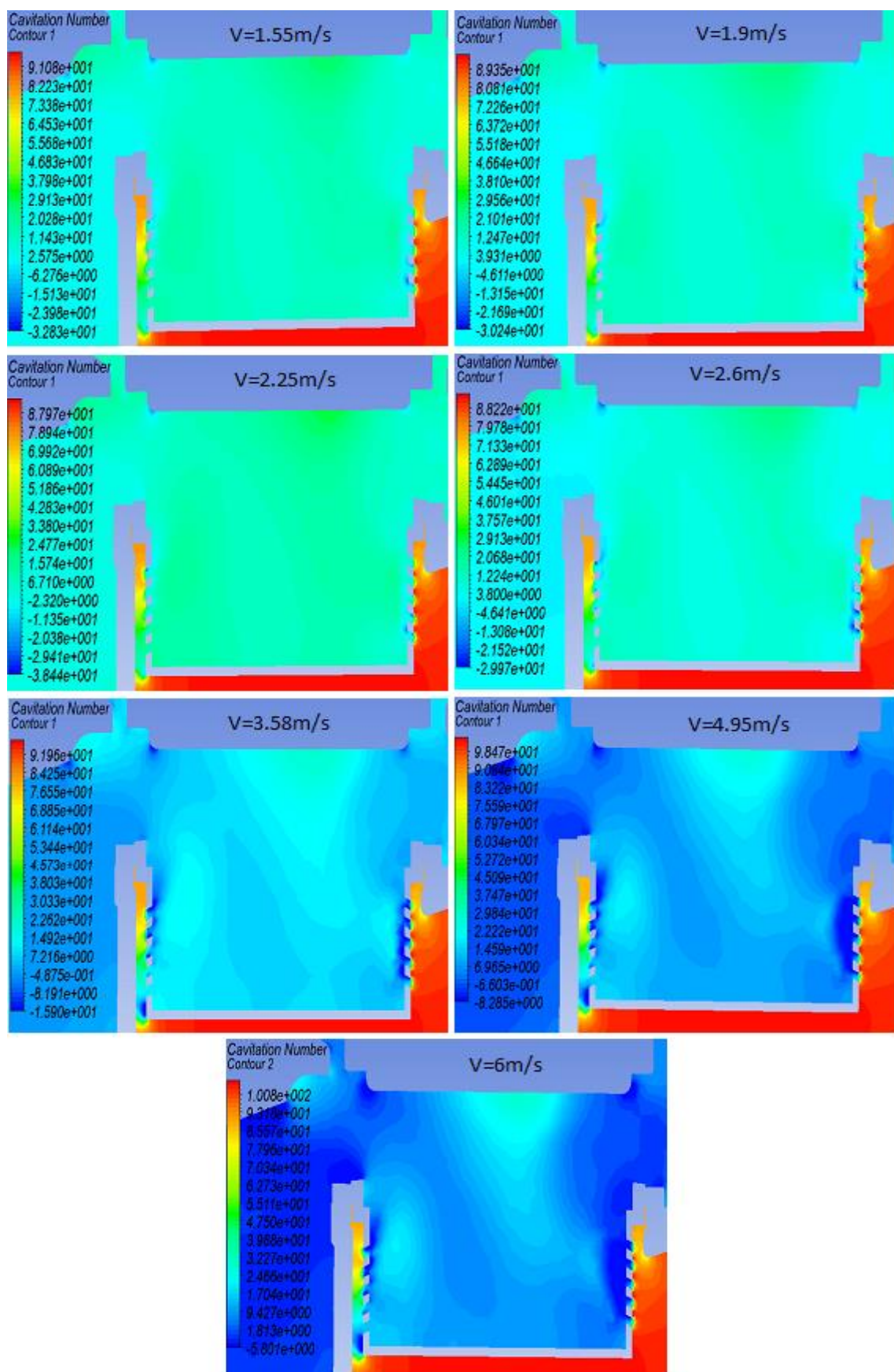
شکل ۵-۳۴: ضریب کاویتاسیون در گشودگی ۲۰٪ درون قفسه در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



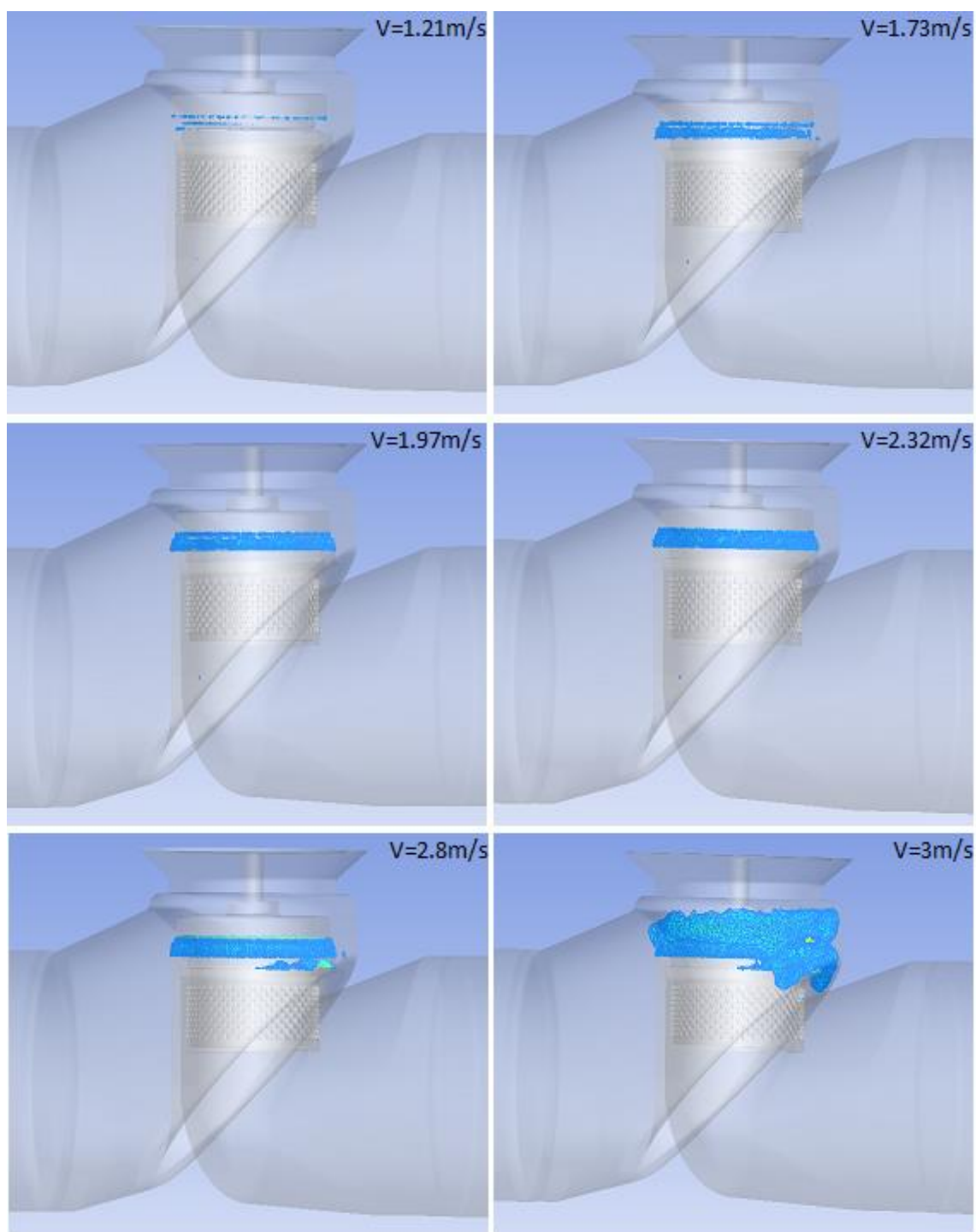
شکل ۵-۳۵: ضریب کاویتاسیون در گشودگی ۳۵٪ درون قفسه در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



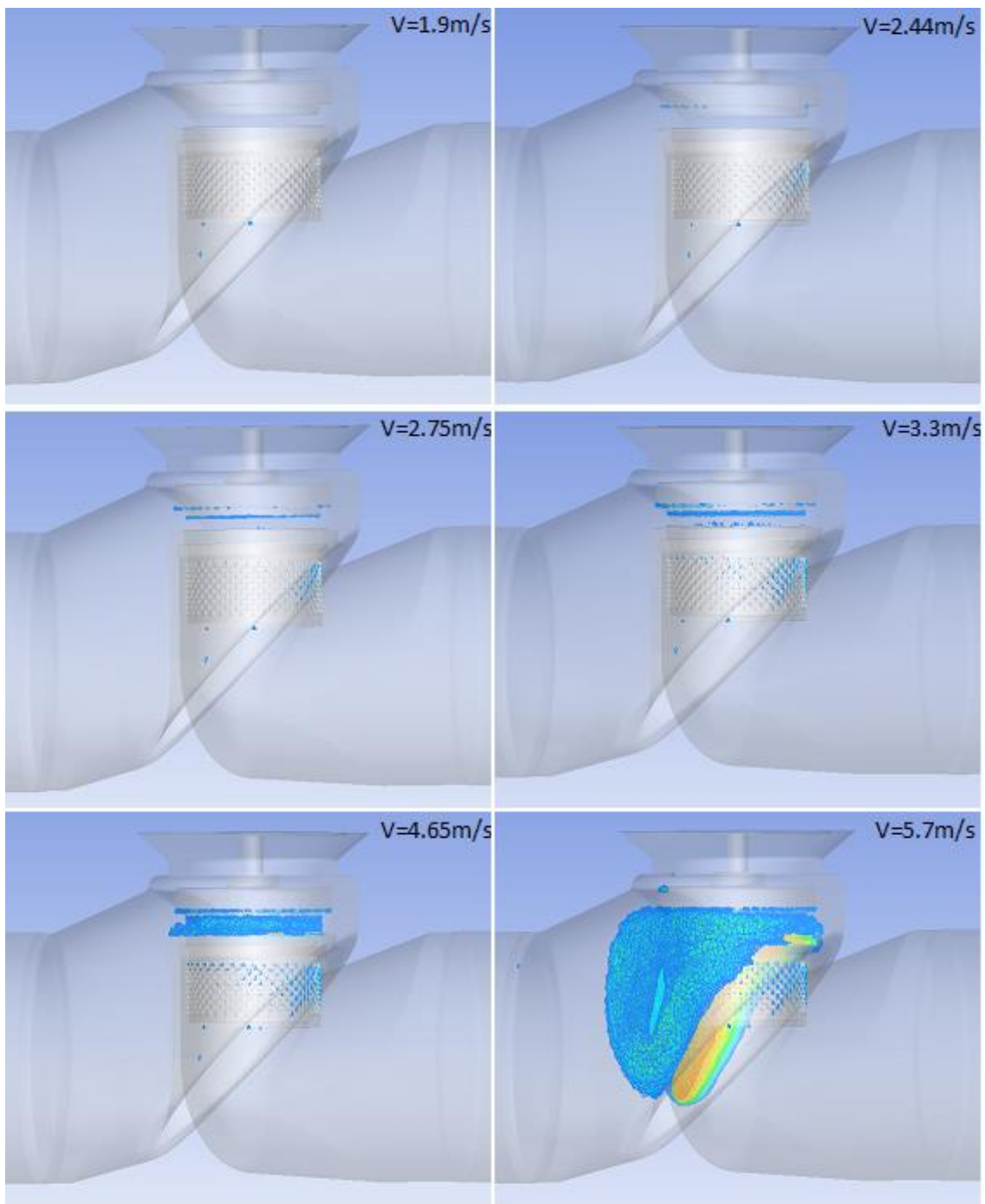
شکل ۵-۳۶: ضریب کاویتاسیون در گشودگی ۵۰٪ درون قفسه در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



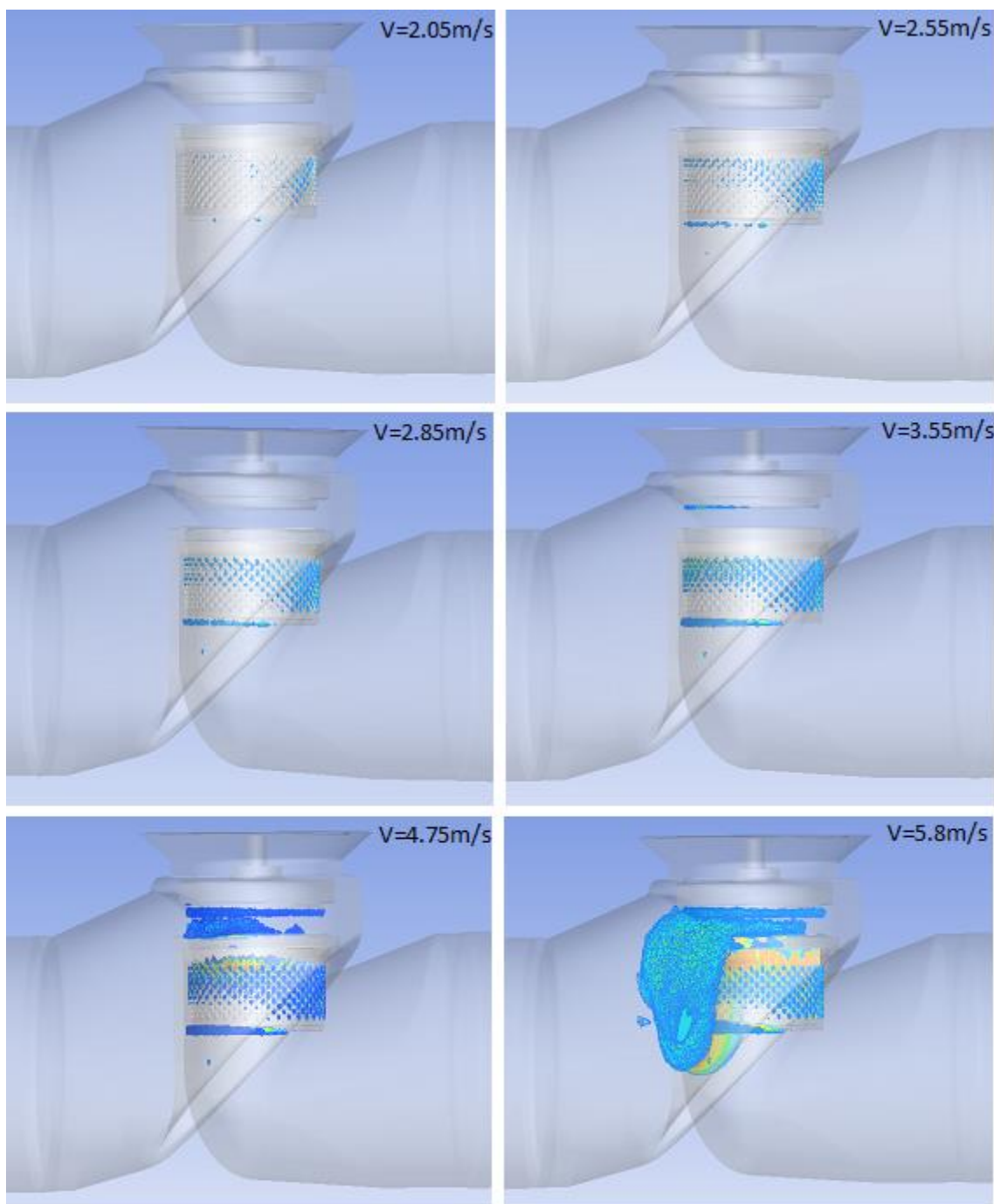
شکل ۵-۳: ضریب کاویتاسیون در گشودگی ۱۰۰٪ درون قفسه در شیر آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



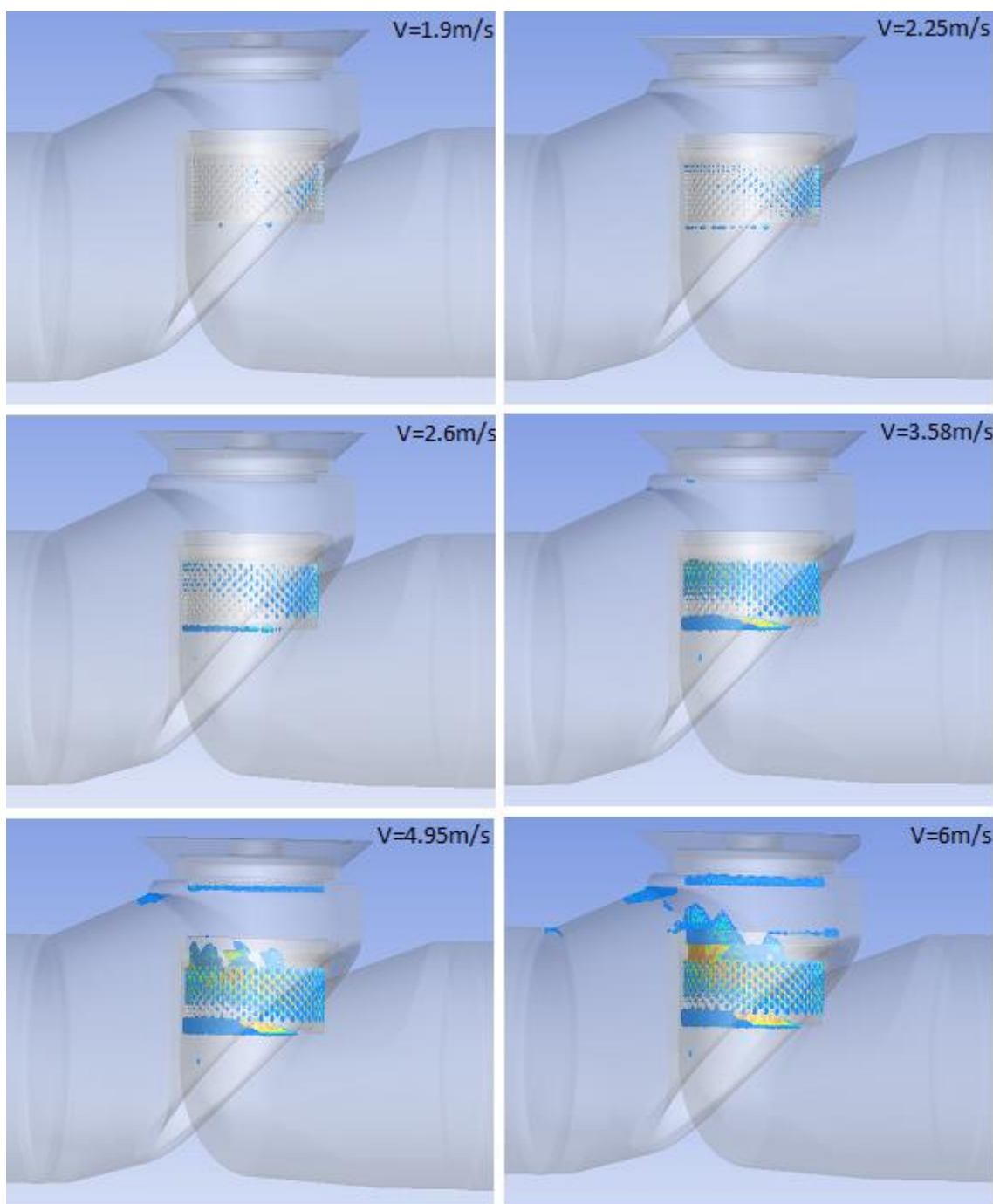
شکل ۵-۳۸: حجم کاویتاسیون در گشودگی ۲۰٪ و مدل آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



شکل ۵-۳۹: حجم کاویتاسیون در گشودگی ۳۵٪ و مدل آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



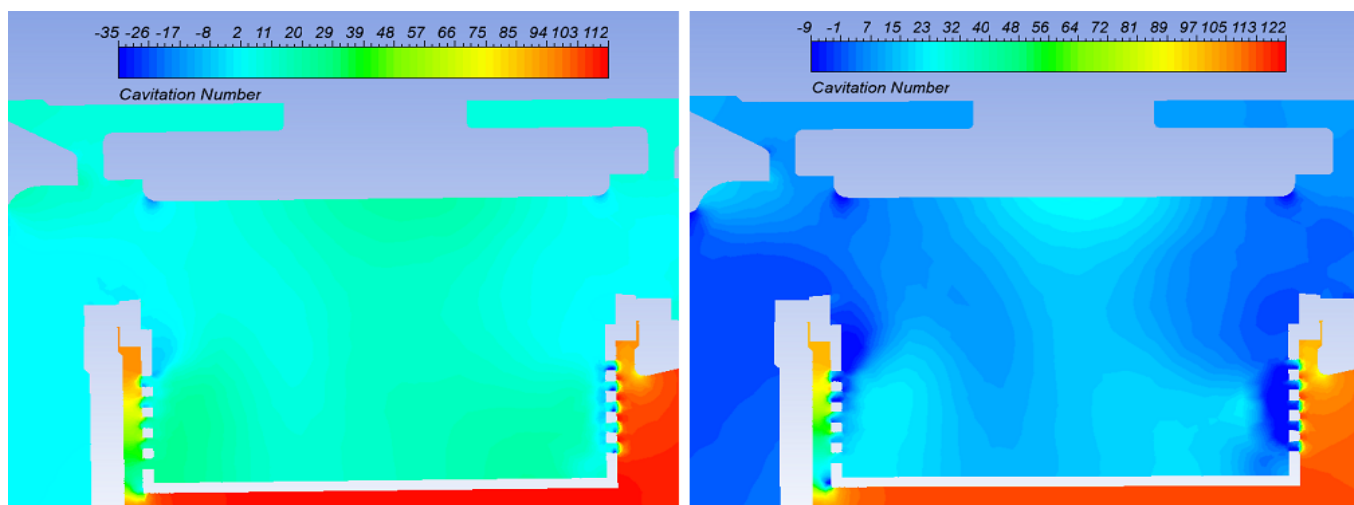
شکل ۵-۴: حجم کاویتاسیون در گشودگی ۵۰٪ و مدل آنتی کاویتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا



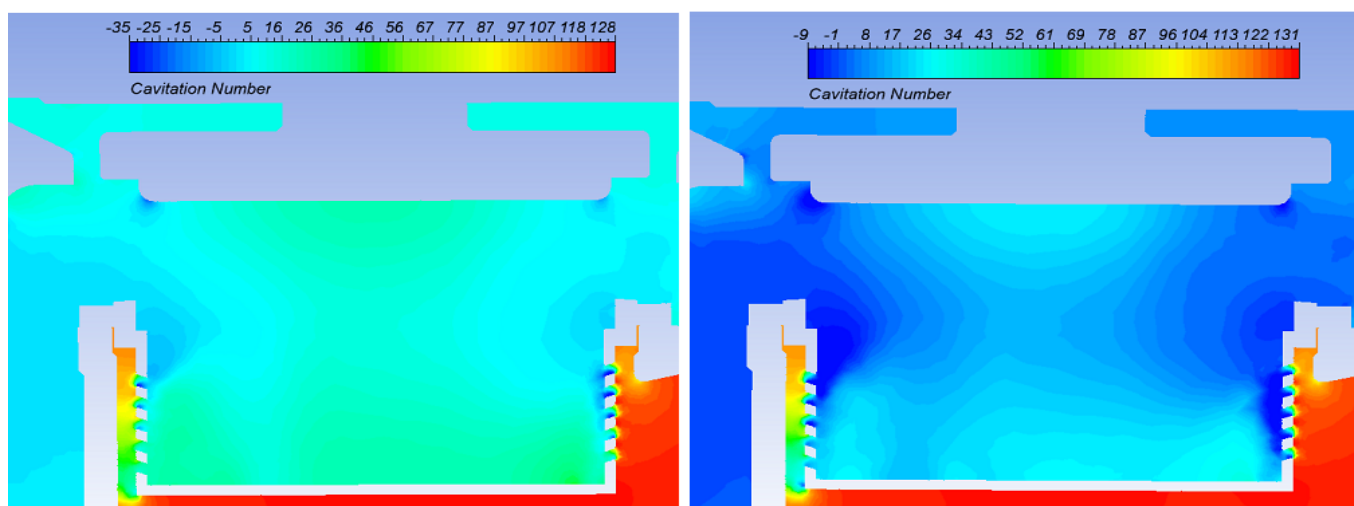
شکل ۵-۴۱: حجم کاپیتاسیون در گشودگی ۱۰۰٪ و مدل آنتی کاپیتاسیون با منافذ مایل به سمت بالا

۵-۵ مقایسه و نتیجه گیری

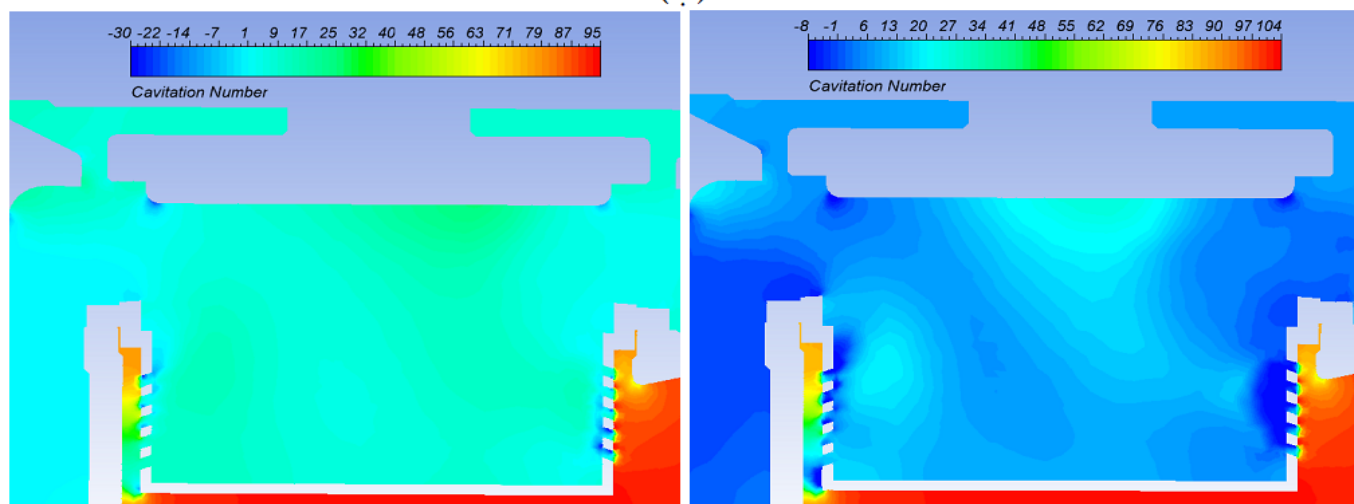
در انتها و با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه سازی های تک فاز و دوفاز بهترین مدل قفسه برای نصب درون شیر گلوب انتخاب می شود. با توجه به ساختار شیر، سیال در هنگام عبور از آن، در دو ناحیه دچار افت فشار می شود: در ناحیه منافذ قفسه و ناحیه بین پلاگ و نشیمنگاه. بنابراین این دو ناحیه دارای شرایط مناسب برای رخ دادن کاویتاسیون می باشد. در هر سه مدل قفسه، با افزایش سرعت ورودی (یا افزایش اختلاف فشار بین ورودی و خروجی شیر) نواحی با ضریب کاویتاسیون منفی گسترش پیدا می کنند و همین طور به طور مشابه مقادیر کاویتاسیون نیز افزایش می یابد زیرا مقدار افت فشار افزایش می یابد. شکل ۵-۴۲ به عنوان نمونه مقادیر ضریب کاویتاسیون را برای سه مدل مختلف و در دو مقدار افت فشار متفاوت در گشودگی ۱۰۰٪ بیان شده است. لازم به ذکر است که در هر ستون این شکل مقدار افت فشار ثابت می باشد. با توجه به این شکل، مشاهده می شود که در مدل مایل به سمت بالا نواحی با ضریب کاویتاسیون منفی بیشتری در کنار قطعات داخلی شیر می باشد. در واقع در این مدل افت فشار بیشتری در ناحیه بین خروجی قفسه و خروجی شیر رخ می دهد. این مقدار افت فشار در این ناحیه در مدل مایل به سمت کف نسبت به بقیه مدل ها کمینه می باشد. بنابراین انتظار می رود که در مدل مایل به سمت کف قفسه، کاویتاسیون کمتری به نسبت بقیه مدل ها رخ دهد. شکل ۵-۴۳ مقادیر کاویتاسیون را برای سه مدل مختلف را در اختلاف فشار برابر ۱۸/۵ بار و برای گشودگی ۱۰۰٪ نمایش می دهد. همان طور که مشخص است، کمترین مقدار کاویتاسیون در مدل مایل به سمت کف رخ می دهد و بیشترین مقدار آن در مدل مایل به سمت بالا می باشد. در انتها نیز به بررسی خط کاویتاسیون در سه مدل آنتی کاویتاسیون و مدل شیر معمولی در شکل ۵-۴۴ پرداخته می شود. با توجه با مطالب بیان شده، خط کاویتاسیون آستانه تشکیل کاویتاسیون را مشخص می کند و نواحی زیر آن، ناحیه امن جهت عملکرد شیر می باشد. همان طور که مشخص است هر سه مدل آنتی کاویتاسیون در کنترل کاویتاسیون عملکرد بهتری نسبت به مدل اصلی شیر دارند. در میان این سه مدل، مدل منافذ مایل به سمت کف هم دارای بیشترین سطح زیر خط کاویتاسیون می باشد. در انتها می توان به این نتیجه رسید که قفسه با منافذ مایل به سمت کف بهترین عملکرد را در کنترل کاویتاسیون نسبت به بقیه مدل ها دارد.



(الف)



(ب)

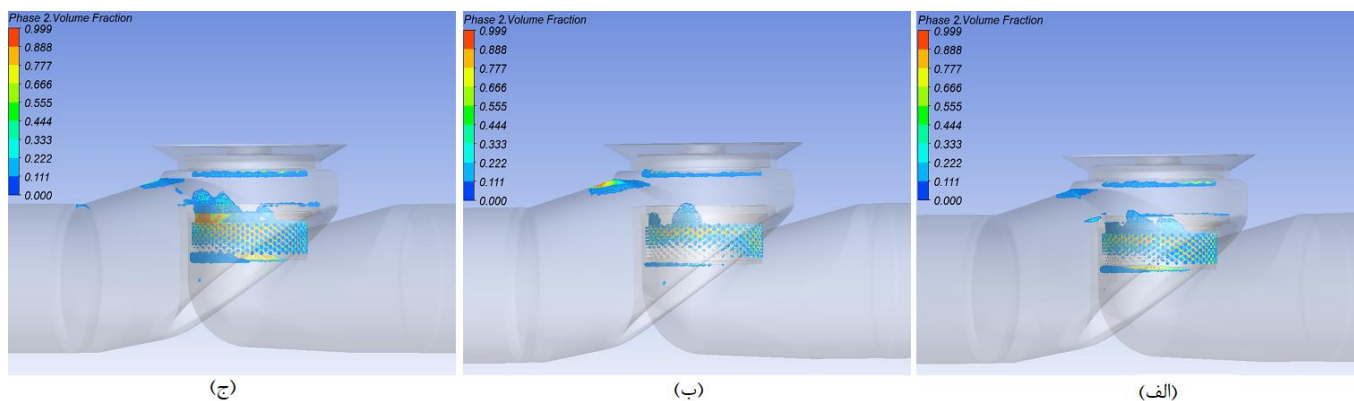


$\Delta p_{i,o}=3.06\text{bar}$

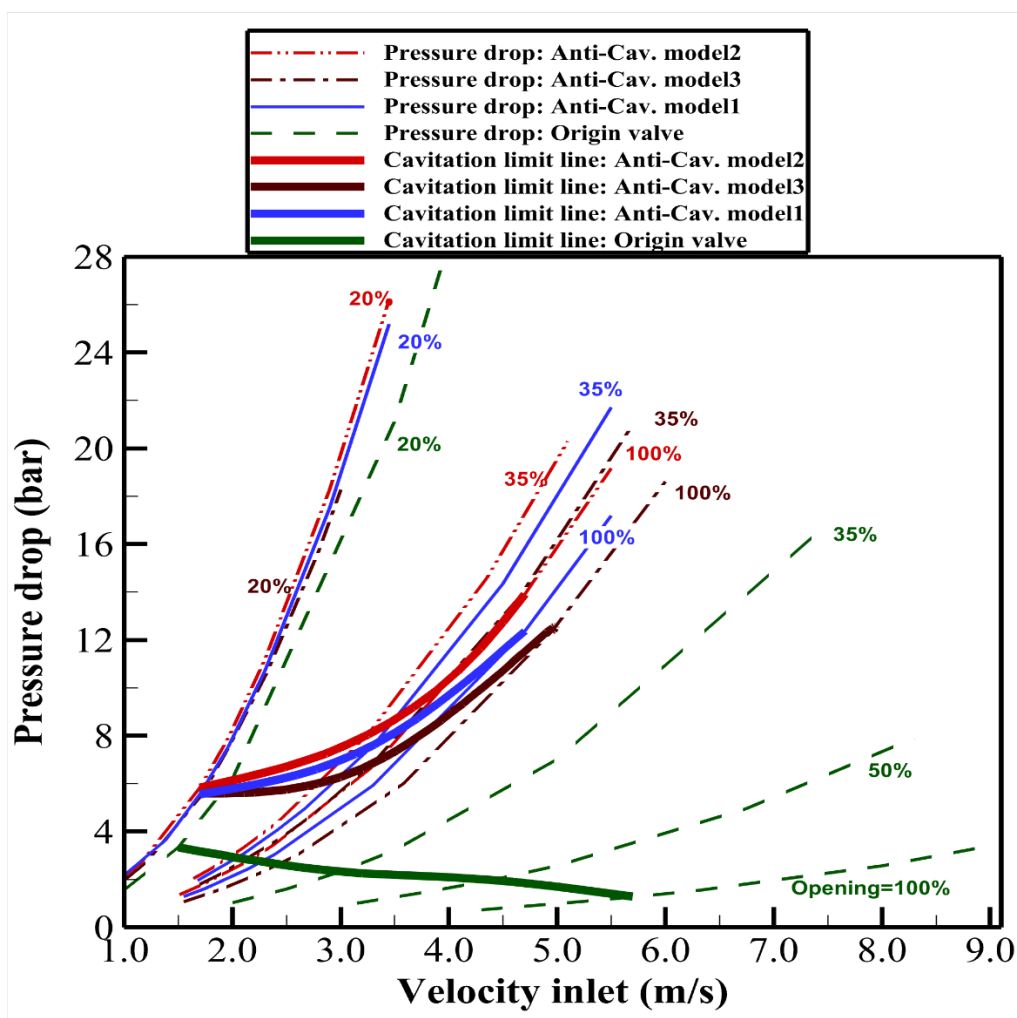
(ج)

$\Delta p_{i,o}=12\text{bar}$

شکل ۵-۴۲: کانتورهای عدد کاویتاسیون در گشودگی ۱۰۰٪ و در دو مقدار اختلاف فشار و مدل‌های (الف) مدل منافذ شعاعی، (ب) مدل منافذ مایل به کف و (ج) مدل منافذ مایل به سمت بالا



شکل ۴۳-۵: مقادیر کاویتاسیون در گشودگی ۱۰۰٪ و اختلاف فشار ثابت ۱۸/۵ بار برای مدل‌های (الف) منافذ شعاعی، (ب) مدل منافذ مایل به سمت کف و (ج) مدل منافذ مایل به سمت بالا



شکل ۴۴-۵: نمودار تغییرات افت فشار (bar) بر حسب سرعت ورودی (m/s) در گشودگی‌های مختلف و همین‌طور خط کاویتاسیون برای مدل‌های مختلف

۵-۶ پژوهش‌های آینده

با توجه به تحقیقات انجام شده در این پایان‌نامه چندین پیشنهاد وجود دارد که می‌توان از آن‌ها برای انجام تحقیقات جدید استفاده کرد. این پیشنهادات هم در زمینه شرایط حل و هم در حوزه‌ی مدل قفسه‌ی به‌کار رفته می‌باشد.

- ✓ استفاده از قفسه با منافذ مایل با زوایای مختلف
- ✓ استفاده از مدل‌های چندقفسه‌ای با منافذ مایل
- ✓ تغییر قطر منافذ روی قفس
- ✓ تغییر شکل منافذ و استفاده از منافذ شیاری
- ✓ به‌کار بردن مدل Zwart-Gerber-Belamri برای مدل‌سازی کاویتاسیون

مراج

- [1] Skousen, P. (2011), *Valve handbook (third edition)*, McGraw-Hill Education, United States.
- [2] Hubballi, V. & Sondur, B. (2013), A review on the prediction of cavitation erosion inception in hydraulic control valves, *Emerging Technology and Advanced Engineering*, 3(1), 110-119.
- [3] سینائی پور ح. "آشنایی با شیرهای صنعتی، بازرسی و آزمون" شرکت رایان پترو آزمون.
- [4] Pratima, B. (2018), *Biermann's handbook of pulp and paper (third edition)*, Elsevier, Kanpur, India.
- [5] Paun, M. (2005), *Control valve handbook (fifth edition)*, Emerson Company
- [6] d'Agostino, L. & Salvetti, M. V. (Eds). (2008), *Fluid dynamics of cavitation cavitating turbopumps*, Springer Science & Business Media, Italy.
- [7] Euler, L. (1756), Théorie plus complete des machines qui sont mises en mouvement par la réaction de l'eau, *Mémoires de l'academie des Sciences de Berlin*, 227-295.
- [8] Reynolds, O. (1873), The causes of the racing of the engines of screw steamers investigated theoretically and by experiment, *Trans. Inst. Naval Arch*, 14, 56-67.
- [9] Brennen, C. E. (2014). *Cavitation and bubble dynamics*. Cambridge University Press.
- [10] Hutli, E., Nedeljkovic, M. S., Bonyár, A., Radovic, N. A., Llic, V. & Debeljkovic, A. (2016), The ability of using the cavitation phenomenon as a tool to modify the surface characteristics in micro-and in nano-level, *Tribology International*, 101, 88-97.
- [11] Carlton, J. (2019), *Marine propeller and propulsion (fourth edition)*, Butterworth-Heinemann, Great Britain, 217-260.
- [12] Molland, A. F. & Turnock, S. R. (2011), *Marine rudders and control surfaces: principles, data, design and applications*, Elsevier.
- [13] Sarpkaya, T. (1961), Torque and cavitation characteristics of butterfly valves, *Applied Mechanics*, 28(4), 511-518.
- [14] Liu, B., Zhao, J. & Qian, J. (2017), Numerical analysis of cavitation erosion and particle erosion in butterfly valve, *Engineering Failure Analysis*, 80, 312-324.
- [15] Huang, C. & Kim, R. H. (1996), Three-dimensional analysis of partially open butterfly valve flows, *Fluids Engineering*, 118(3), 562-568.
- [16] Couzinet, A., Gros, L., Pinho, J., Chabane, S. & Pierrat, D. (2014, July), Numerical modeling of turbulent cavitation flows in safety relief valves, In *Pressure Vessels and Piping Conference* (Vol. 46063, p. V007T07A017). American Society of Mechanical Engineers.

- [17] Ou, G., Xu, J., Li, W. & Chen, B. (2015), Investigation on cavitation flow in pressure relief valve with high pressure differentials for coal liquefaction, *Procedia Engineering*, **130**, 125-134.
- [18] Hayashi, S. (1995), Instability of poppet valve circuit. *JSME international journal. Ser. C, Dynamics, control, robotics, design and manufacturing*, **38**(3), 357-366.
- [19] Bernad, S., Susan-Resiga, R., Muntean, S. & Anton, I. (2007), Cavitation phenomena in hydraulic valves. Numerical modeling, *Romanian Academy, Series A*, **8**(2), 117-126.
- [20] Yaghoubi, H., Madani, S. A. H. & Alizadeh, M. (2018). Numerical study on cavitation in a globe control valve with different numbers of anti-cavitation trims, *Journal of Central South University*, **25**(11), 2677-2687.
- [21] Li, J. Y., Gao, Z. X., Wu, H. & Jin, Z. J. (2020), Numerical investigation of methodologies for cavitation suppression inside globe valves, *Applied Sciences*, **10**(16), 5541.
- [22] An, Y. J., Kim, B. J. & Shin, B. R. (2008), Numerical analysis of 3-D flow through LNG marine control valves for their advanced design, *Journal of Mechanical Science and Technology*, **22**(10), 1998-2005.
- [23] Rammohan, S., Saseendran, S. & Kumaraswamy, S. (2009), Numerical prediction and experimental verification of cavitation of globe type control valves, *Proceedings of the 7th International Symposium on Cavitation*.
- [24] Chern, M. J., Hsu, P. H., Cheng, Y. J., Tseng, P. U. & Hu, C. M. (2013), Numerical study on cavitation occurrence in globe valve. *Journal of Energy Engineering*, **139**(1), 25-34.
- [25] Wallis, G. B. (2020), *One-dimensional two-phase flow*, Courier Dover Publications.
- [26] Drew, D. A. (1983), Mathematical modeling of two-phase flow. *Annual Review of Fluid Mechanics*, **15**(1), 261-291.
- [27] Schnerr, G. H. & Sauer, J. (2001), Physical and numerical modeling of unsteady cavitation dynamics. In *Fourth International Conference on Multiphase Flow* (Vol. 1). ICMF New Orleans.
- [28] Sauer, J. & Schnerr, G. H. (2000, June). Unsteady cavitating flow-a new cavitation model based on a modified front capturing method and bubble dynamics. In *Proceedings of 2000 ASME Fluid Engineering Summer Conference* (Vol. 251, pp. 1073-1079).
- [29] Biluš, I., Predin, A. & Škerget, L. (2007), The extended homogenous cavitation transport model. *Journal of Hydraulic Research*, **45**(1), 81-87.
- [30] سعادت، ا. و زین‌العابدینی، م. (۱۳۹۴) "اصول شبیه‌سازی مقدماتی و پیشرفته دینامیک سیالات محاسباتی یا استفاده از نرم‌افزارهای *Fluent* و *CFX*" چاپ اول

Abstract

Globe Valve is one of the most important control valves in the industry. This valve is made in different sizes and for different applications. One of the destructive phenomena that happen in this valve is cavitation. Cavitation causes vibration, noise, and corrosion inside the valve, so the working life of the valve is reduced. For this reason, some solutions have been proposed to control and prevent this phenomenon in the valves. One of the effective ways to control the cavitation is to install a cage inside the valve. The cages are perforated or grooved metal plates that are installed inside the valve to reduce the cavitation. Many factors are affecting the performance of these cages, such as: shape, diameter, and arrangement of the holes, and the thickness of the cage body. Some articles and researches have examined the mentioned factors. In this study, the effect of oblique holes is investigated. As a result, the cages are designed with radial holes, oblique holes facing downwards, and oblique holes facing upwards, and then numerical simulations are performed to evaluate their performance. The best model is selected by considering some parameters such as velocity vectors, cavitation number, and the intensity and location of the cavitation. By analyzing the mentioned parameters, it was observed that the cage with oblique holes facing downwards has a better performance in controlling and reducing the cavitation. In fact, in this model, the internal components of the valve will be safer than the other two models.

Keywords: Globe Valve, Cavitation, Cage, Numerical Simulation, Cavitation Number



Shahrood University of
Technology

Faculty of Mechanical Engineering

M.Sc.(M.A) Thesis in Mechanical Engineering

Design and Numerical simulation of Anti Cavitation globe valve

By: Davood Habibnejad

Supervisor:
Dr Pooria Akbarzadeh

Advisor:
Ali Salavatipour

September 2021