



جمهوری اسلامی ایران

Islamic Republic of Iran

سازمان ملی استاندارد ایران

Iranian National Standardization Organization



استاندارد ملی ایران

۲۱۵۹۰

چاپ اول

۱۳۹۵

INSO

21590

1st.Edition

2017

Identical with

ISO/TR12767:

2007

اندازه‌گیری شارش سیال با فشارسنج‌های
تفاضلی-رهنمودهایی درباره اثر عدول از
ویژگی‌ها و شرایط بهره‌برداری ارائه شده
در مجموعه استانداردهای ملی ایران

شماره ۱۶۴۶۸

Measurement of fluid flow by means of
pressure differential devices –

Guidelines on the effect of departure from
the specifications and operating conditions
given in isiri 16468

ICS:17.120.10

سازمان ملی استاندارد ایران

تهران، ضلع جنوب غربی میدان ونک، خیابان ولیعصر، پلاک ۲۵۹۲

صندوق پستی: ۱۴۱۵۵-۶۱۳۹ تهران - ایران

تلفن: ۵-۸۸۸۷۹۴۶۱

دورنگار: ۸۸۸۸۷۰۸۰ و ۸۸۸۸۷۱۰۳

کرج، شهر صنعتی، میدان استاندارد

صندوق پستی: ۳۱۵۸۵-۱۶۳ کرج - ایران

تلفن: ۸-۳۲۸۰۶۰۳۱ (۰۲۶)

دورنگار: ۳۲۸۰۸۱۱۴ (۰۲۶)

رایانامه: standard@isiri.org.ir

وبگاه: <http://www.isiri.gov.ir>

Iranian National Standardization Organization (INSO)

No.1294 Valiasr Ave., South western corner of Vanak Sq., Tehran, Iran

P. O. Box: 14155-6139, Tehran, Iran

Tel: + 98 (21) 88879461-5

Fax: + 98 (21) 88887080, 88887103

Standard Square, Karaj, Iran

P.O. Box: 31585-163, Karaj, Iran

Tel: + 98 (26) 32806031-8

Fax: + 98 (26) 32808114

Email: standard@isiri.org.ir

Website: <http://www.isiri.gov.ir>



به نام خدا

آشنایی با سازمان ملی استاندارد ایران

سازمان ملی استاندارد ایران به موجب بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱ تنها مرجع رسمی کشور است که وظیفه تعیین، تدوین و نشر استانداردهای ملی (رسمی) ایران را به عهده دارد.

تدوین استاندارد در حوزه‌های مختلف در کمیسیون‌های فنی مرکب از کارشناسان سازمان، صاحب نظران مراکز و مؤسسات علمی، پژوهشی، تولیدی و اقتصادی آگاه و مرتبط انجام می‌شود و کوششی همگام با مصالح ملی و با توجه به شرایط تولیدی، فناوری و تجاری است که از مشارکت آگاهانه و منصفانه صاحبان حق و نفع، شامل تولیدکنندگان، مصرف‌کنندگان، صادرکنندگان و واردکنندگان، مراکز علمی و تخصصی، نهادها، سازمان‌های دولتی و غیر دولتی حاصل می‌شود. پیش‌نویس استانداردهای ملی ایران برای نظرخواهی به مراجع ذی‌نفع و اعضای کمیسیون‌های فنی مربوط ارسال می‌شود و پس از دریافت نظرها و پیشنهادهای در کمیته ملی مرتبط با آن رشته طرح و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی (رسمی) ایران چاپ و منتشر می‌شود.

پیش‌نویس استانداردهایی که مؤسسات و سازمان‌های علاقه‌مند و ذی‌صلاح نیز با رعایت ضوابط تعیین شده تهیه می‌کنند در کمیته ملی طرح، بررسی و در صورت تصویب، به عنوان استاندارد ملی ایران چاپ و منتشر می‌شود. بدین ترتیب، استانداردهایی ملی تلقی می‌شود که بر اساس مقررات استاندارد ملی ایران شماره ۵ تدوین و در کمیته ملی استاندارد مربوط که سازمان ملی استاندارد ایران تشکیل می‌دهد به تصویب رسیده باشد.

سازمان ملی استاندارد ایران از اعضای اصلی سازمان بین‌المللی استاندارد (ISO)^۱، کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)^۲ و سازمان بین‌المللی اندازه‌شناسی قانونی (OIML)^۳ است و به عنوان تنها رابط^۴ کمیسیون کدکس غذایی (CAC)^۵ در کشور فعالیت می‌کند. در تدوین استانداردهای ملی ایران ضمن توجه به شرایط کلی و نیازمندی‌های خاص کشور، از آخرین پیشرفت‌های علمی، فنی و صنعتی جهان و استانداردهای بین‌المللی بهره‌گیری می‌شود.

سازمان ملی استاندارد ایران می‌تواند با رعایت موازین پیش‌بینی شده در قانون، برای حمایت از مصرف‌کنندگان، حفظ سلامت و ایمنی فردی و عمومی، حصول اطمینان از کیفیت محصولات و ملاحظات زیست محیطی و اقتصادی، اجرای بعضی از استانداردهای ملی ایران را برای محصولات تولیدی داخل کشور و/یا اقلام وارداتی، با تصویب شورای عالی استاندارد، اجباری نماید. سازمان می‌تواند به منظور حفظ بازارهای بین‌المللی برای محصولات کشور، اجرای استاندارد کالاهای صادراتی و درجه‌بندی آن را اجباری کند. همچنین برای اطمینان بخشیدن به استفاده‌کنندگان از خدمات سازمان‌ها و مؤسسات فعال در زمینه مشاوره، آموزش، بازرسی، ممیزی و صدور گواهی سیستم‌های مدیریت کیفیت و مدیریت زیست محیطی، آزمایشگاه‌ها و مراکز واسنجی (کالیبراسیون) وسایل سنجش، سازمان ملی استاندارد ایران این گونه سازمان‌ها و مؤسسات را بر اساس ضوابط نظام تأیید صلاحیت ایران ارزیابی می‌کند و در صورت احراز شرایط لازم، گواهینامه تأیید صلاحیت به آن‌ها اعطا و بر عملکرد آن‌ها نظارت می‌کند. ترویج دستگاه بین‌المللی یکاها، واسنجی وسایل سنجش، تعیین عیار فلزات گرانبها و انجام تحقیقات کاربردی برای ارتقای سطح استانداردهای ملی ایران از دیگر وظایف این سازمان است.

1- International Organization for Standardization

2 - International Electrotechnical Commission

3- International Organization of Legal Metrology (Organisation Internationale de Metrologie Legale)

4 - Contact point

5 - Codex Alimentarius Commission

کمیسیون فنی تدوین استاندارد

«اندازه‌گیری شارش سیال با فشارسنج‌های تفاضلی-رهنمودهایی درباره اثر عدول از ویژگی‌ها و

شرایط بهره‌برداری ارائه شده در مجموعه استانداردهای ملی ۱۶۴۶۸»

سمت و/یا محل اشتغال:

رئیس:

دانشگاه سمنان

ولی پور، محمد صادق

(دکتری مهندسی مکانیک)

دبیر:

اداره کل استاندارد استان سمنان

حیدریان، مجید

(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

شرکت کلران

ادب، حسین

(کارشناسی مهندسی شیمی)

شرکت فراسنج

امیریان، خدیجه

(کارشناسی مهندسی متالوژی)

اداره کل استاندارد استان سمنان

بهروزفر، قاسم

(کارشناسی مهندسی مکانیک)

شرکت ایران انشعاب

توسلی، محمد حسن

(کارشناسی مهندسی صنایع)

شرکت ایران انشعاب

خرمی، حامد

(کارشناسی مهندسی متالوژی)

شرکت بنیاد بتن ایران

دانایی، سعید

(کارشناسی ارشد مهندسی شیمی)

اداره کل استاندارد استان سمنان

دوست محمدی، احسان

(کارشناسی فیزیک)

اعضا: (اسامی به ترتیب حروف الفبا)

دهقان، محمد علی

(کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک)

رضایی عراقی، مهدی

(دکتری DBA)

فیروزبخت، امین

(کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی)

قدس، نادر

(کارشناسی ارشد عمران سازه)

کیهان، حسین

(کارشناسی ارشد مدیریت دولتی)

گروسی، رجب

(کارشناسی مدیریت)

معینیان، علی

(کارشناسی مهندسی مکانیک)

نوروزی، محمد

(کارشناسی مهندسی شیمی)

ویراستار:

خدام عباسی، روح اله

(کارشناسی فیزیک)

سمت و / یا محل اشتغال:

شرکت مخابرات و خطوط لوله نفت شمال

شرق

شرکت آب بان

شرکت نفت منطقه شاهرود

شرکت آب و فاضلاب شهری استان سمنان

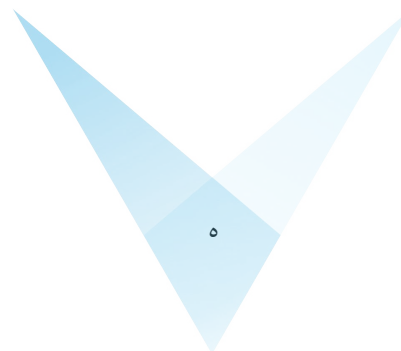
شرکت سهامی آب منطقه ای استان سمنان

شرکت آبفر

شرکت آب و فاضلاب روستایی استان سمنان

شرکت نفت منطقه شاهرود

اداره کل استاندارد استان سمنان



فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
ط	پیش‌گفتار
ی	مقدمه
۱	۱ هدف و دامنه کاربرد
۱	۲ مراجع الزامی
۲	۳ اصطلاحات و تعاریف
۲	۴ نمادها و کوتاه‌نوشت‌ها
۴	۵ اثر خطاها بر محاسبات آهنگ شارش
۴	۱-۵ کلیات
۵	۲-۵ اثرهای قابل تعیین
۵	۶ اثرهای انحراف در ساختار
۵	۱-۶ تیزی لبه صفحه اریفیس
۶	۲-۶ ضخامت لبه اریفیس
۷	۳-۶ شرایط روبه بالادست و پایین‌دست صفحه اریفیس
۸	۴-۶ موقعیت نقاط فشارسنجی برای یک اریفیس
۱۰	۵-۶ شرایط نقاط فشارسنجی
۱۰	۷ اثرهای خط لوله نزدیک کنتور

صفحه	عنوان
۱۰	۱-۷ قطر لوله
۱۱	۲-۷ گام‌ها و مقاطع مخروطی
۱۲	۳-۷ قطر حلقه حامل
۱۵	۴-۷ حلقه‌های اتصال با اندازه کوچک
۱۵	۵-۷ جوش‌های برآمده
۱۵	۶-۷ خروج از مرکز
۱۹	۸ اثرهای طرح لوله
۱۹	۱-۸ کلیات
۱۹	۲-۸ جبران ضریب تخلیه
۲۳	۳-۸ نقاط فشارسنجی
۲۳	۴-۸ وسایل بهبود شرایط شارش
۲۴	۹ انحراف‌های عملیاتی
۲۴	۱-۹ کلیات
۲۴	۲-۹ تغییر شکل صفحه اریفیس
۲۶	۳-۹ رسوب در رویه بالادست یک صفحه اریفیس
۳۱	۴-۹ رسوب در تیوب کنتور

صفحه	عنوان
۳۲	۵-۹ تیزی لبه صفحه اریفیس
۳۳	۶-۹ رسوب و افزایش زبری سطح در تیوب‌های ونتوری
۳۴	۱۰ زبری لوله
۳۴	۱-۱۰ کلیات
۳۶	۲-۱۰ لوله بالادست
۴۱	۳-۱۰ لوله پایین‌دست
۴۱	۴-۱۰ کاهش اثرهای زبری
۴۱	۵-۱۰ نگه‌داری
۴۲	کتاب‌نامه



پیش‌گفتار

استاندارد «اندازه‌گیری شارش سیال با فشارسنج‌های تفاضلی-رهنمودهایی درباره اثر عدول از ویژگی‌ها و شرایط بهره‌برداری ارائه شده در مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸» که پیش‌نویس آن در کمیسیون‌های مربوط بر مبنای پذیرش استانداردهای بین‌المللی به‌عنوان استاندارد ملی ایران به روش اشاره شده در مورد الف، بند ۷، استاندارد ملی شماره ۵ تهیه و تدوین شده، در سیصد و هشتمین اجلاس کمیته ملی استاندارد اندازه-شناسی و اوزان و مقیاس‌ها مورخ ۹۵/۱۲/۲ تصویب شد. اینک این استاندارد به استناد بند یک ماده ۳ قانون اصلاح قوانین و مقررات موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، مصوب بهمن ماه ۱۳۷۱، به‌عنوان استاندارد ملی ایران منتشر می‌شود.

استانداردهای ملی ایران براساس استاندارد ملی ایران شماره ۵ (استانداردهای ملی ایران- ساختار و شیوه نگارش) تدوین می‌شوند. برای حفظ همگامی و هماهنگی با تحولات و پیشرفت‌های ملی و جهانی در زمینه صنایع، علوم و خدمات، استانداردهای ملی ایران در صورت لزوم تجدیدنظر خواهند شد و هر پیشنهادی که برای اصلاح یا تکمیل این استانداردها ارائه شود، در هنگام تجدید نظر در کمیسیون‌های فنی مربوط مورد توجه قرار خواهد گرفت. بنابراین، باید همواره از آخرین تجدید نظر استانداردهای ملی ایران استفاده کرد.

این استاندارد ملی بر مبنای پذیرش استاندارد بین‌المللی زیر به روش «معادل یکسان» تهیه و تدوین شده و شامل ترجمه تخصصی کامل متن آن به زبان فارسی می‌باشد و معادل یکسان استاندارد بین‌المللی مزبور است: ISO/TR 12767:2007, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices – Guideline on the effect of departure from the specifications and operating conditions given in ISO5167

مقدمه

مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸ (همه قسمت‌ها)، روش‌هایی برای اندازه‌گیری آهنگ شارش با استفاده از فشارسنج‌های تفاضلی مشخص می‌کند. پیروی از مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸ (همه قسمت‌ها)، اندازه‌گیری‌های آهنگ شارشی که عدم قطعیت آن‌ها در حدود مشخص قرار دارد را نتیجه می‌دهد. اما اگر تجهیزات اندازه‌گیری شارش به هر دلیلی از شرایط تعیین شده در مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸ (همه قسمت‌ها) عدول کند، حدود تعیین شده برای عدم قطعیت ممکن است به دست نیاید. تجهیزات اندازه‌گیری بسیاری وجود دارند که این شرایط برای آن‌ها محقق نمی‌شود. در این شرایط، ارزیابی اثر دقیق هیچ یک از این انحراف‌ها، معمولاً ممکن نیست. اما مقدار زیادی داده‌ها وجود دارد که می‌تواند برای ارائه نشاندهی کلی از اثر عدم انطباق با مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸ (همه قسمت‌ها) استفاده شود که در این استاندارد به عنوان راهنمایی برای کاربران تجهیزات اندازه‌گیری شارش ارائه شده است.

اندازه‌گیری شارش سیال با فشارسنج‌های تفاضلی - رهنمودهایی درباره اثر عدول از ویژگی‌ها و شرایط بهره‌برداری ارائه شده در مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸

۱ هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد، راهنمایی برای برآورد آهنگ شارش با استفاده از فشارسنج‌های تفاضلی ساخته شده یا بهره‌برداری شده خارج از دامنه کاربرد مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸ (همه قسمت‌ها) است.

رواداری‌های یا تصحیح‌های اضافی، لزوماً نمی‌تواند اثرهای انحراف از مجموعه استانداردهای ملی ۱۶۴۶۸ (همه قسمت‌ها) را جبران کند. این اطلاعات ابتدا برای نشان دادن درجه مراقبت ضروری در ساخت، نصب و نگهداری فشارسنج‌های تفاضلی با شرح برخی اثرهای عدم انطباق با الزامات و سپس برای اجازه دادن به کاربرانی ارائه می‌شود که نمی‌توانند کاملاً الزامات ارزیابی را رعایت کنند ولی تقریباً اندازه و جهت خطا در آهنگ شارش را مشخص می‌کند.

هر تغییر به گونه‌ای تلقی می‌شود که گویی فقط یک مورد تغییر وجود داشته است. در جایی که بیش از یک تغییر وجود دارد، ممکن است اثرهای متقابل پیش‌بینی نشده‌ای وجود داشته باشد و باید در زمان ترکیب ارزیابی این خطاها، مراقب بود. اگر تعدادی خطای معنی‌دار وجود داشته باشد، باید وسیله‌ای جهت حذف برخی از آن‌ها در نظر گرفت. تغییرات در نظر گرفته‌شده در این استاندارد ملی کامل نیستند به طور مثال با صفحه‌های اریفیسیتی ارتباط بسیاری دارند. مثالی با تیوب‌های ونتوری^۱ در پایان این بخش ارائه شده است. بدون شک مثال‌های مشابه بسیاری از نصب بدون مطابقت با مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸ (همه قسمت‌ها) وجود دارد که داده‌های مشابهی برای آن‌ها منتشر نشده است. چنین اطلاعات اضافی از کاربران، سازندگان و سایرین در نسخه‌های بعدی می‌توان در نظر گرفت.

۲ مراجع الزامی

در مراجع زیر ضوابطی وجود دارد که در متن این استاندارد به صورت الزامی به آن‌ها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب، آن ضوابط جزئی از این استاندارد محسوب می‌شوند.

در صورتی که به مرجعی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدیدنظرهای بعدی آن برای این استاندارد الزام‌آور نیست. در مورد مرجعی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آن‌ها ارجاع داده شده است، همواره آخرین تجدیدنظر و اصلاحیه‌های بعدی برای این استاندارد الزام‌آور است.

1- Venturi tubes

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است:

۱-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱، اندازه‌گیری شارش سیال توسط فشارسنج تفاضلی قرار داده شده در مجرای با سطح مقطع دایروی پر از سیال - قسمت ۱: اصول کلی و الزامات

۲-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱، اندازه‌گیری شارش سیال توسط فشارسنج تفاضلی قرار داده شده در مجرای با سطح مقطع دایروی پر از سیال - قسمت ۲: صفحات اریفیس

۳-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱، اندازه‌گیری شارش سیال توسط فشارسنج تفاضلی قرار داده شده در مجرای با سطح مقطع دایروی پر از سیال - قسمت ۳: نازل‌ها و نازل‌های ونتوری

۴-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱، اندازه‌گیری شارش سیال توسط فشارسنج تفاضلی قرار داده شده در مجرای با سطح مقطع دایروی پر از سیال - قسمت ۴: لوله‌های ونتوری

۳ اصطلاحات و تعاریف

در این استاندارد، اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

۱-۳

لبه چهارگوشه

Square edge

ارتباط زاویه‌ای بین گمانه اریفیس وسیله اندازه‌گیری شارش و رویه بالادست، وقتی زاویه بین آن‌ها $90^{\circ} \pm 0.3^{\circ}$ باشد.

۲-۳

تیزی

Sharpness

شعاع لبه بین گمانه اریفیس وسیله اندازه‌گیری شارش و رویه بالادست است.

یادآوری - لبه بالادست گمانه اریفیس، وقتی شعاع آن بیشتر از $0.0004d$ نمی‌باشد، تیز در نظر گرفته می‌شود که در آن d گمانه اریفیس است.



۴ نمادها و کوتاه‌نوشت‌ها

در این استاندارد، نمادهای ارائه شده در جدول ۱ به کار می‌روند.

جدول ۱- نمادها و یکاها

نماد	کمیت نمایش داده شده	ابعاد	یکاهای متریک
c	درصد تغییر در ضریب تخلیه برابر است با $[100 (\Delta C/C) =]$	بدون بعد	
C	ضریب تخلیه	بدون بعد	
C_e	ضریب انقباض ^۱	بدون بعد	
d	قطر اریفیس یا گلویی وسیله اولیه در شرایط بهره‌برداری	L	m
D	قطر داخلی لوله بالادست در شرایط بهره‌برداری	L	m
D_1	قطر حلقه حامل	L	m
D_2	قطر تکیه‌گاه صفحه اریفیس	L	m
e	عدم قطعیت نسبی	بدون بعد	
E	ضخامت صفحه اریفیس	L	m
E_g	ضخامت اریفیس	L	m
k	زبری معادل یکسان	L	m
L_1	فاصله نقطه فشارسنجی ^۲ بالادست از رویه بالادست صفحه تقسیم بر گمانه لوله، D	بدون بعد	
L'_2	فاصله نقطه فشارسنجی پایین‌دست از رویه پایین دست صفحه تقسیم بر گمانه لوله، D	بدون بعد	
q_m	آهنگ شارش جرمی	MT^{-1}	kg/s
r	شعاع لبه صفحه اریفیس	L	m
Re_d	عدد رینولدز مبتنی بر گمانه گلویی وسیله	بدون بعد	
Re_D	عدد رینولدز مبتنی بر قطر لوله بالادست	بدون بعد	
u	سرعت محوری محلی	LT^{-1}	m/s
u_{cL}	سرعت محوری خط مرکز	LT^{-1}	m/s
U	سرعت محوری میانگین	LT^{-1}	m/s
Y	مدول الاستیسیته ^۳ مواد صفحه اریفیس	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
β	نسبت قطر $(d/D) =$	بدون بعد	
Δp	فشار تفاضلی	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa

ادامه جدول ۱- نمادها و یکاها

نماد	کمیت نمایش داده شده	ابعاد	واحد متریک
Δp_y	فشار تفاضلی مورد نیاز برای رسیدن به تنش تسلیم صفحه اریفیس	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
ε	عامل قابلیت انبساط (انبساط)	بدون بعد	
λ	عامل اصطکاک	بدون بعد	
ρ	چگالی سیال	ML^{-3}	kg/m^3
ρ_1	چگالی سیال در نقطه فشارسنجی بالادست	ML^{-3}	kg/m^3
σ_y	تنش تسلیم مواد صفحه اریفیس	$ML^{-1}T^{-2}$	Pa
M: جرم؛ L: طول؛ T: زمان.			
1- Contraction coefficient 2- Pressure tapping 3- Modulus of elasticity			

۵ اثر خطاها بر محاسبات آهنگ شارش

۱-۵ کلیات

در این استاندارد، اثرهای انحراف حاصل از شرایط مشخص شده در مجموعه استانداردهای ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸ (همه قسمت‌ها) به صورت ΔC تغییرات در ضریب تخلیه، کنترل شرح داده شده است. ضریب تخلیه C ، فشارسنج تفاضلی فشار به وسیله معادله (۱) ارائه می‌شود:

$$C = \frac{4q_m \sqrt{(1-\beta^4)}}{\varepsilon \pi d^2 \sqrt{(2\Delta p \rho_1)}} \quad (1)$$

لبه تیز صفحه اریفیس، جدایی شارش و در نتیجه انقباض جریان سیال در انقباض جت سیال^۱ را تضمین می‌کند. تعریف ضریب انقباض C_c به صورت نسبت سطح شارش به سطح هندسی اریفیس، $C_c \approx 0,6$ را ارائه می‌کند که به طور عمده ضریب تخلیه $C_c \approx 0,6$ را در نظر می‌گیرند. اثر تغییر در ضریب تخلیه در مثال زیر به طور برجسته ارائه شده است.

صفحه اریفیس با لبه گرد را در نظر بگیرید. نتیجه این مورد، کاهش جدایی و افزایش C_c است که باعث کاهش سرعت در انقباض جت سیال می‌شود. بنابر این فشار تفاضلی کاهش می‌یابد. از معادله (۱) مشاهده می‌شود که

1- Vena contracta

ضریب تخلیه افزایش می‌یابد و به طور متناوب با افزایش C_c ، C نیز افزایش می‌یابد. اگر تصحیحی برای این تغییر در C انجام نشود، قرائت کنتور کمتر از مقدار واقعی خواهد بود. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد:

الف- اگر ضریب اصلاح نشود، اثری که باعث افزایش در ضریب تخلیه می‌شود، قرائت آهنگ شارش کمتر از مقدار واقعی نتیجه خواهد داد. و بالعکس:

ب- اگر ضریب اصلاح نشود، اثری که باعث کاهش در ضریب تخلیه می‌شود، قرائت آهنگ شارش بیش از مقدار واقعی نتیجه خواهد داد.

۵-۲ اثرهای قابل تعیین

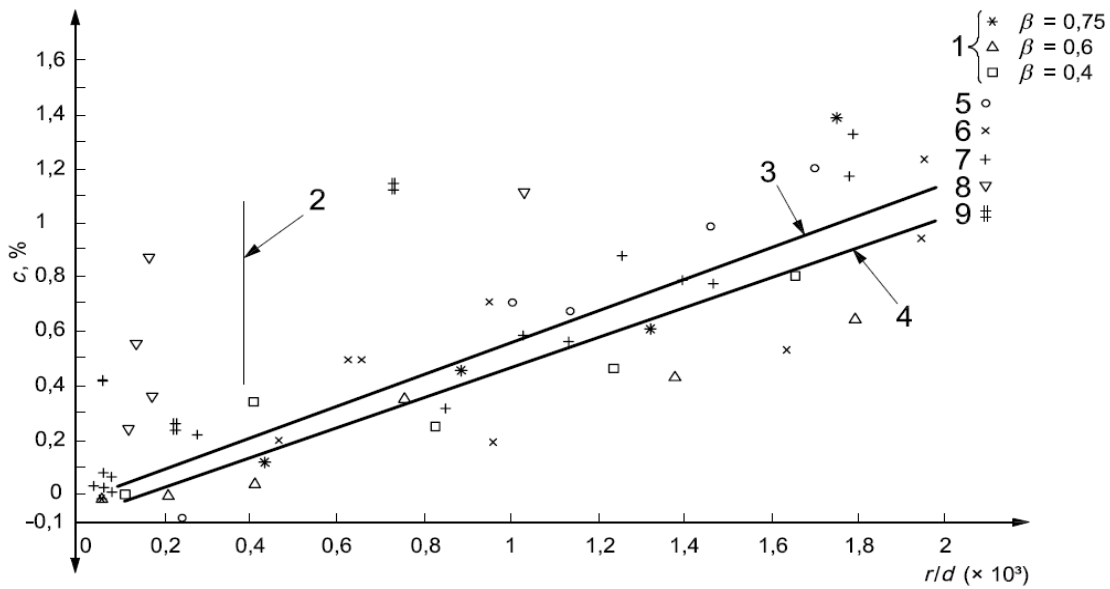
وقتی کاربر از این اثرها آگاه باشد و بتواند آن‌ها را تعیین کند، ضریب تخلیه مناسب می‌تواند به کار رفته و آهنگ شارش اصلاح شده، محاسبه گردد. اما، تعیین دقیق این اثرها سخت است و بنابراین هر آهنگ شارش محاسبه شده به این روش، بهتر است با عدم قطعیت افزایش یافته، در نظر گرفته شود. به جز در مواردی که به طور دیگری بیان شده، بهتر است عامل عدم قطعیت اضافی برابر با ۱۰۰٪ تصحیح ضریب تخلیه در زمان برآورد عدم قطعیت کلی در اندازه‌گیری آهنگ شارش، به صورت حسابی به ضریب تخلیه اضافه شود.

۶ اثرهای انحراف در ساختار

۶-۱ تیزی لبه صفحه اریفیس

صفحات اریفیس که تیزی مشخص لبه ورودی ندارند (شعاع لبه $r \leq 0,0004d$ مطابق زیربند ۵-۱-۷-۲ از استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱)، با افزایش شعاع لبه، ضریب تخلیه نیز افزایش می‌یابد. آزمایش‌ها نشان داده‌اند که اثر بر ضریب تخلیه، C ، با افزایش r/d به مقدار ۰/۵٪، ضریب تخلیه برابر با ۰/۰۰۱ و با افزایش r/d تقریباً به مقدار ۵٪ ضریب تخلیه برابر با ۰/۰۱ افزایش می‌یابد. این رابطه تقریباً خطی است (به شکل ۱ و مرجع [1] مراجعه شود). این مقادیر برای Re_d بیش از ۳۰۰۰۰۰ و برای مقادیر β کمتر از ۰/۷ به کار می‌رود، ولی می‌توان به عنوان راهنمای کلی برای سایر مقادیر نیز استفاده کرد. تکنیک‌های اندازه‌گیری برای شعاع لبه موجود است ولی در کل، بهبود تیزی لبه به مقدار لازم بهتر از تلاش برای اندازه‌گیری آن و انجام تصحیح‌های مناسب است.

اثر شکافها^۱ در صفحات اریفیس نیز در منبع [1] اندازه گیری شده است.



راهنما:

- | | |
|---|-------|
| آزمایشگاه مهندسی ملی ^۲ (NEL,UK) - $D = 300 \text{ mm}$ | 1 |
| $r = 0,0004d$ | 2 |
| دیگران | 3 |
| آزمایشگاه مهندسی ملی | 4 |
| $D = 50 \text{ mm}$ به مرجع [56] مراجعه شود | 5 |
| $D = 100 \text{ mm}$ به مرجع [56] مراجعه شود | 6 |
| $D = 150 \text{ mm}$ به مرجع [34] مراجعه شود | 7 |
| $D = 75 \text{ mm}$ به مرجع [57] مراجعه شود | 8 |
| $D = 100 \text{ mm}$ به مرجع [58] مراجعه شود | 9 |
| تغییر در ضریب تخلیه | c |
| نسبت شعاع | r/d |

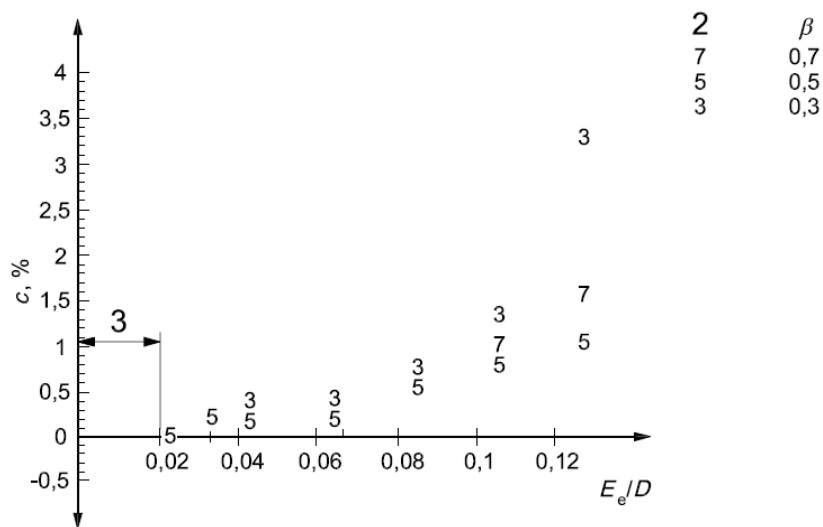
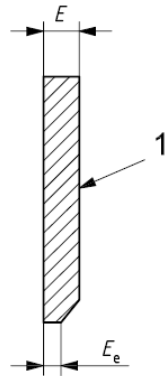
شکل ۱- اثر شعاع لبه بر ضریب تخلیه

1- Nicks

2- National engineering laboratory

۲-۶ ضخامت لبه اریفیس

برای صفحات اریفیس، افزایش ضریب تخلیه ناشی از ضخامت بیش از حد لبه اریفیس (به زیر بند ۵-۱-۵ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱مراجعه شود) می‌تواند محسوس باشد. صفحه اریفیس با گمانه مستقیم در یک لوله ۱۵۰mm، تغییرات ضریب تخلیه در شکل ۲ به دست آمده است. (به مرجع [2] مراجعه شود).



راهنما:

- 1 مقطع صفحه اریفیس
- 2 نماد
- 3 حد استاندارد
- c تغییر در ضریب تخلیه

E_e/D نسبت ضخامت اریفیس به قطر داخلی لوله بالادست

شکل ۲- تغییر در ضریب تخلیه به عنوان تابعی از ضخامت اریفیس

۳-۶ شرایط رویه‌های بالادست و پایین دست صفحه اریفیس

بهتر است، رویه بالادست صاف و هموار باشد. زبری بیش از حد باعث افزایش ضریب تخلیه می‌شود. آزمایش‌ها نشان داده است که زبری سطح $0,0003d$ باعث افزایش ضریب تخلیه 1% می‌شود. از آنجایی که الزام برای تیزی لبه $r \leq 0,0004d$ است، افزایش در زبری صفحه، تعیین تیزی لبه یا تأیید محقق شدن الزام لبه تیز را سخت می‌کند.

آسیب محلی به رویه بالادست یا لبه صفحه اریفیس اثر معکوسی بر ضریب تخلیه ندارد به شرطی که آسیب تا جایی که ممکن است دور از نقطه فشارسنجی نگه داشته شود (به مرجع [1] مراجعه شود). ضریب تخلیه به شرایط رویه پایین دست صفحه حساسیت خیلی کمتری دارد (به مرجع [1] مراجعه شود).

فقدان همواری^۱ نسبتاً زیاد به طور مثال گودی^۲ باعث خطاهای اندازه‌گیری شارش می‌شود. گودی 1% در جهت شارش، قرائت کمتر از مقدار واقعی را باعث می‌گردد، یعنی افزایش در C در حدود 2% برای $\beta = 0,2$ و حدود 7% برای $\beta = 0,7$ شکستگی^۳ در خلاف جهت شارش، خطاهایی ایجاد می‌کند که بسته به مقدار شکستگی می‌تواند مثبت یا منفی باشد.

۴-۶ موقعیت نقاط فشارسنجی برای یک اریفیس

۱-۴-۶ کلیات

مقادیر ضریب تخلیه صفحه اریفیس برای سه موقعیت نقطه فشارسنجی استاندارد (گوشه، فلنج، D و $D/2$) را می‌توان با استفاده از معادله (۴) استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ محاسبه کرد (به مرجع [55] مراجعه شود) که در آن موقعیت‌های نقطه فشارسنجی، خارج از رواداری‌های مجاز در استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ برای سه موقعیت قرار دارند، ضریب تخلیه به روش شرح داده شده در زیر بند ۴-۶-۲ برآورد می‌شود. بهتر است تأکید شود که یک عامل عدم قطعیت اضافی جهت استفاده از موقعیت‌های نقطه فشارسنجی غیراستاندارد لازم است.

۲-۴-۶ محاسبه ضریب تخلیه

مقادیر واقعی L_1 و L_2 را محاسبه کنید. ضریب تخلیه را فقط در صورتی می‌توان برآورد کرد که $L_1 \leq 1$ و $L_2 \leq 0,47$ باشد.

- 1- Large- scale lack of flatness
- 2- Dishing
- 3- Distortion

با استفاده از مقادیر واقعی، L_1 و L_2' ضریب تخلیه را با استفاده از معادله (۴) استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ برآورد کنید.

۳-۴-۶ برآورد عدم قطعیت اضافی

اگر نقاط فشارسنجی بین فلنج و نقاط گوشه قرار داشته باشند، عدم قطعیت اضافی، e به صورت درصد را می‌توان با استفاده از معادله زیر برآورد کرد:

$$e = 25 \left| \frac{C_F}{C_{CT}} - 1 \right| \quad (۲)$$

که در آن:

C_F ضریب تخلیه برای نقاط فشارسنجی فلنج؛

C_{CT} ضریب تخلیه نقاط فشارسنجی گوشه .

اگر نقاط فشارسنجی بین نقاط $D/2, D$ و نقاط فلنج قرار داشته باشند، عدم قطعیت اضافی، e به صورت درصد را می‌توان از معادله زیر برآورد کرد:

$$e = 25 \left| \frac{C_{D \text{ and } D/2}}{C_F} - 1 \right| \quad (۳)$$

که در آن:

$C_{D,D/2}$ ضریب تخلیه برای نقاط D و $D/2$ است.

۴-۴-۶ مثال

کنتور اریفیمی با $\beta = 0,6$ ، $Re_D = 10^6$ ، $D = 250mm$ و نقاط فشارسنجی در $0,15D$ بالادست و پایین-دست صفحه را در نظر بگیرید.

ضریب تخلیه را با استفاده از معادله (۴) استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ با $L_1 = L_2' = 0,15$ برآورد کنید.

نقاط فشارسنجی در این مثال بین نقطه فلنج و موقعیت‌های نقطه D و $D/2$ قرار دارند. به ترتیب از جداول الف-۸ و الف-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ برابر $C_{D,D/2} = 0.607$ و $C_F = 0.605$ است. بنابراین داریم:

$$e = 25 \left| \frac{0,6051}{0,6070} - 1 \right| = 0,078$$

عدم قطعیت ضریب تخلیه، ۰/۵٪ است (به زیربند ۵-۳-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ مراجعه شود).

بنابر این عدم قطعیت کلی ۰/۶٪ $\approx 0,078 + 0,05$ است (یعنی عدم قطعیت‌ها به سادگی باهم جمع می‌شوند).

۵-۶ شرایط نقاط فشارسنجی

تجربه نشان داده است که خطاهای بزرگ به وسیله نقاط فشارسنجی ایجاد می‌شوند که برآمدگی یا رسوب^۱ روی یا نزدیک لبه دارند در محلی که نقطه فشارسنجی به دیوار تیوب رخنه^۲ می‌کند. این خصوصاً مواردی است که نقاط در جریان شارش اصلی هستند مانند نقاط گلوبی در نازل‌ها یا تیوب‌های ونتوری در جایی که برآمدگی‌های کوچک باعث افزایش درصد خطاهای معنی‌دار می‌شود. نقاط گوشه بالادست و نقاط پایین دست در مناطق نسبتاً مرده، خیلی کمتر در معرض این مشکل هستند.

تجهیزات باید قبل از استفاده و در فواصل منظم بازرسی شوند تا اطمینان حاصل گردد، این ناهنجاری‌ها وجود ندارند.

۷ اثرهای خط لوله نزدیک کنتور

۱-۷ قطر لوله

بهرتر است، قطر داخلی بالادست و پایین دست لوله وسیله اولیه همیشه اندازه‌گیری شود تا اطمینان حاصل گردد که مطابق با زیر بند ۶-۴ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱، زیر بند ۶-۴ استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ یا زیربند ۶-۴-۱ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ است. خطاها در اندازه‌گیری قطر داخلی بالادست، خطاهایی را در آهنگ شارش محاسبه شده ایجاد می‌کند که به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{\delta q_m}{q_m} = \frac{-2\beta^4}{(1-\beta^4)} \frac{\delta D}{D} \quad (۴)$$

این خطاها برای β بزرگ، معنی‌دار است به طور مثال با $\beta = 0,75$ یک خطای مثبت ۱٪ در قطر D ، سبب خطای منفی ۱٪ در q_m می‌شود.

1- Burrs or deposits
2- Penetrates

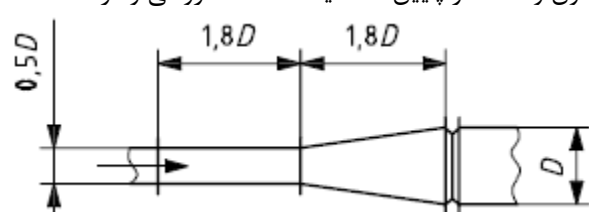
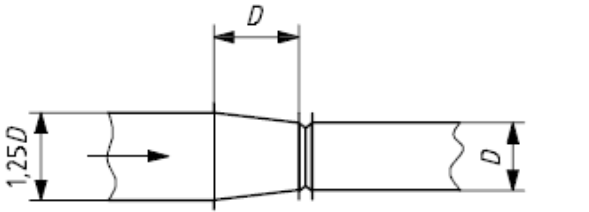
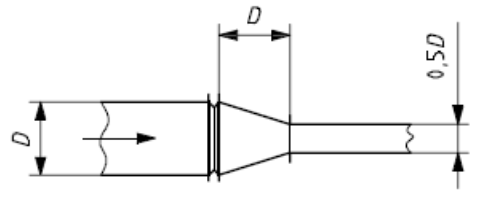
لوله پایین دست برای صفحه اریفیس به مراتب اهمیت کمتری دارد، برای نازل ISA 1932 یا نازل با شعاع زیاد، فقط قطر در حدود ۳٪ لوله بالادست نیاز است (به زیربند ۶-۴-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸-۲: سال ۱۳۹۱ یا زیربند ۶-۴-۶ استاندارد بند ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸-۳: سال ۱۳۹۱ مراجعه شود) و برای نازل ونتوری یا تیوب ونتوری، قطر فقط برابر یا بیشتر از ۹۰٪ قطر در انتهای مقطع واگرا^۱ مورد نیاز است (به زیربند ۶-۴-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸-۳: سال ۱۳۹۱ یا زیر بند ۶-۴-۱-۳ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ مراجعه شود).

۲-۷ گام‌ها و مقاطع مخروطی

بهرتر است، همیشه از بزرگ شدن ناگهانی لوله در مجاورت وسیله اولیه جلوگیری شود، چون خطاهای بزرگ در اندازه‌گیری شارش از کاربرد آن‌ها ایجاد می‌شود. مقاطع مخروطی لوله می‌تواند باعث ایجاد خطاهای معنی‌دار شود، همان طور که از جدول ۲ مشاهده می‌شود ترتیب خطاهای مورد انتظار با کاربرد صفحه اریفیس با نقاط فشارسنجی گوشه بدون واسطه بعد از یک قطعه مخروطی را نشان می‌دهد.

اطلاعات جدول ۲ نشان می‌دهد، ضریب تخلیه تا ۵۰٪ افزایش می‌یابد اگر قطعه مخروطی واگرا در جهت شارش و قرار گرفتن بلافاصله در بالادست باشد که توصیه نمی‌شود. از طرف دیگر، قطعه مخروطی همگرا خواه قبل یا بعد از صفحه اریفیس نصب شده باشد و به شرطی که زاویه دارای شیبی بیش از موارد ارائه شده نداشته باشد، تغییرات ضرایب تخلیه عموماً کمتر از ۲٪ خواهد بود.

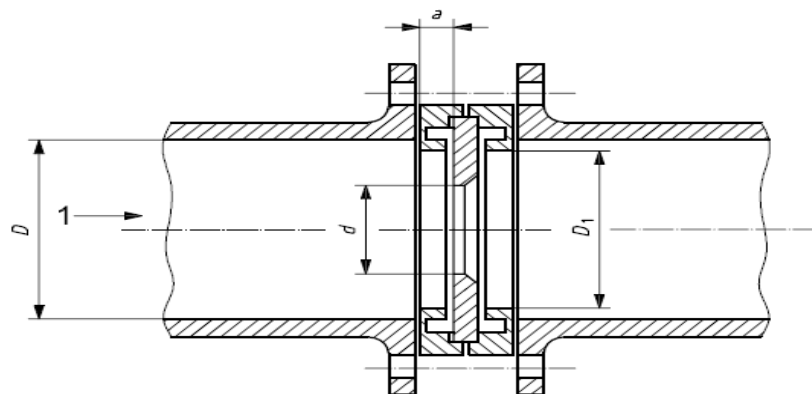
جدول ۲- اثر قطعه‌های مخروطی

درصد تغییر ضریب تخلیه مورد انتظار	β	موقعیت صفحه اریفیس
+۱۰ +۵۰	۰,۴ ۰,۷	الف- بدون واسطه در پایین دست یک قطعه مخروطی واگرا 
-۰,۵ -۲	۰,۴ ۰,۷	ب- بدون واسطه در پایین دست یک قطعه مخروطی همگرا 
-۱ تا ۰ +۱	۰,۴ ۰,۷	پ- بدون واسطه در بالادست یک قطعه مخروطی همگرا 

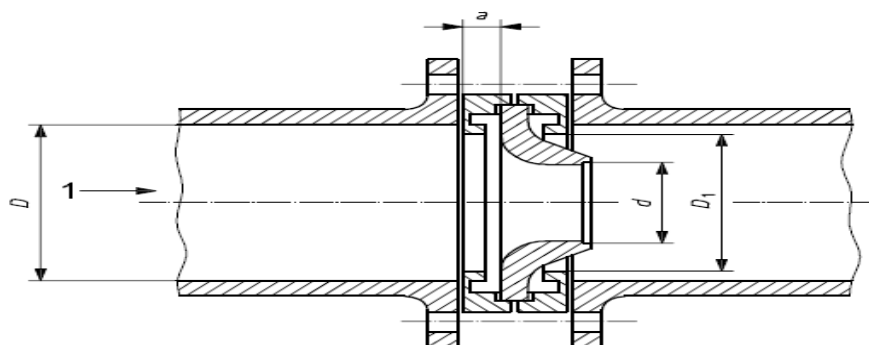
۳-۷ قطر حلقه حامل

الزامات برای اندازه و سوار کردن هم مرکز حلقه‌های حامل برای صفحات اریفیس و نازل‌ها در زیربندهای ۴-۶ و ۵-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱، زیر بندهای ۴-۶ و ۵-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ و شکل ۴ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ مشخص شده است. اگر الزامات زیر بند ۴-۵-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ و زیر بند ۴-۵-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ (به طور مثال یعنی حلقه حامل مرکزی در لوله بهتر است، برآمدگی نداشته باشد) محقق نشود، خطاهای اندازه‌گیری شارش نسبتا بزرگ ایجاد می‌شود. شکل ۳ چنین نصبی را نشان و شکل ۴ با استفاده از همان علامت‌گذاری، خطاهای تقریبی وارد شده برای شرایط ارائه شده را نشان می‌دهد که در آن a عرض قسمتی از بالادست حلقه حامل رویه بالادست صفحه اریفیس یا نازل است. تاکید می‌شود که در رسیدن به این خطاها، قطر حلقه حامل داخلی، D_1 و نه قطر خط اصلی، در تعیین آهنگ شارش محاسبه شده، استفاده می‌شود و برای D در تعیین عامل تصحیح با استفاده از مقادیر نشان داده شده به کار می‌رود.

در جایی که اندازه حامل بیش از اندازه باشد، نتایج آزمایشی نشان می‌دهند که برای $\beta = 0,74$ حامل با اندازه ۱۱٪ بیش از اندازه و بالادست $0,05D$ گسترش داده شده از صفحه، ضریب تخلیه را تقریباً ۰٫۵٪ افزایش داده است. ولی برای هندسه مشابه با $\beta = 0,63$ اثری مشاهده نشده است.



الف - صفحه اریفیس



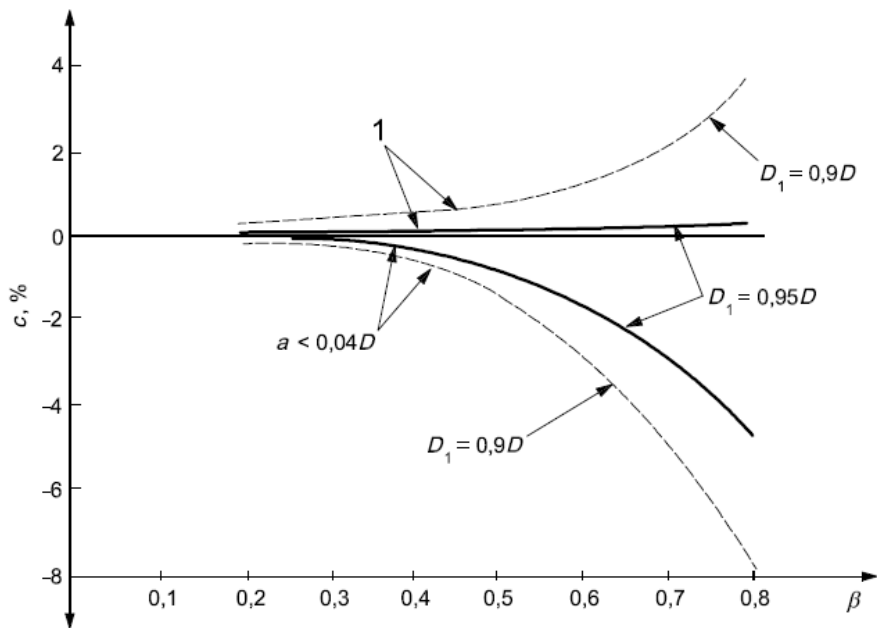
ب - نازل

راهنما

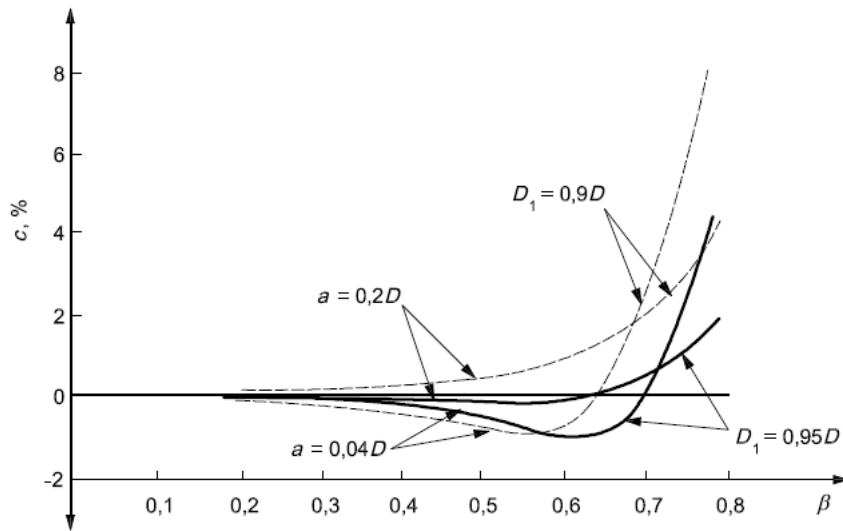
شارش

1

شکل ۳- حامل دارای با قطر داخلی D_1 کوچکتر از قطر لوله D



الف - صفحه اریفیس



ب- نازل

راهنما:

$a = 0.2D$ to $0.3D$

تغییر در ضریب تخلیه

نسبت قطر

1

c

β

شکل ۴- اثر قطر حامل نادرست

۴-۷ حلقه‌های اتصال با اندازه کوچک

وقتی قطر داخلی حلقه اتصال یا واشر کوچک‌تر از قطر لوله است، خصوصاً در سمت بالادست صفحه اریفیس یا نازل، خطاهای اندازه‌گیری شارش بسیار بزرگ اتفاق می‌افتد. اندازه و علامت اثر مربوط به اندازه‌گیری آهنگ شارش بستگی به ترکیب تعداد متغیرها دارد، به‌طور مثال به ضخامت بالادست حلقه اتصال صفحه اریفیس، وسعت برآمدگی آن داخل شارش، موقعیت آن نسبت به صفحه اریفیس و نقاط فشارسنجی و درجه زبری لوله بالادست

۵-۷ جوش‌های برآمده

اثر برآمدگی جوش پیرامونی بدون پوشش در گمانه لوله، مجاور وسیله اولیه شبیه به حلقه اتصال با اندازه کوچک خواهد بود. این اثر از اتصال فلنج گلوی جوش داده شده^۱، ایجاد می‌شود و اندازه اثر وابسته به یکنواختی ارتفاع یا به گونه‌ای دیگر، جوش برآمده و موقعیت آن نسبت به چیدمان تکی یا چندتایی نقطه فشارسنجی به‌کار رفته برای اندازه‌گیری فشار تفاضلی سرتاسر وسیله اولیه است. تعیین خطای نتیجه در موقعیت خاص، بدون کالیبراسیون مستقیم سخت است.

باید اشاره کرد که ممکن است، لوله درزدار استفاده شود به شرطی که مهره جوش داخلی موازی با محور لوله در طول کلی لوله الزامی باشد تا الزامات نصب برای وسیله اولیه استفاده شده، محقق شود. هر مهره جوش نباید ارتفاعی بیش از گام مجاز در قطر لوله داشته باشد. مگر آنکه شیار حلقوی استفاده شود، درز نباید در مرکز قطاع^۰ ± 30 در هر نقطه فشارسنجی تکی قرار گرفته تا مورد استفاده در اتصال با وسیله اولیه قرار گیرد. اگر شیار حلقوی استفاده شود، محل درز مهم نیست. اگر لوله مارپیچی استفاده شود، باید تا یک گمانه صاف ماشین‌کاری شود (به زیر بند ۷-۱-۴ استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ مراجعه شود).

۶-۷ خروج از مرکز^۲

الزامات سوار کردن هم‌مرکز وسیله در زیربندهای ۳-۵-۶ و ۴-۵-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱، زیربندهای ۳-۵-۶ و ۴-۵-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ و زیر بند ۳-۴-۶ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ ارائه شده است. اندازه هندسی خروج از مرکز، فاصله بین خطوط مرکز لوله و صفحه اریفیس است و اغلب به صورت درصد قطر لوله D بیان می‌شود. انحرافها از مقادیر خروج از مرکز مجاز برای سوار کردن صفحه اریفیس نسبت به مقاطع لوله بالادست و پایین‌دست، خطاهایی در اندازه‌گیری آهنگ شارش نتیجه خواهد داد. شکل ۵ سوار کردن خارج از مرکز صفحه اریفیس در جهت‌های کناری نسبت به خط لوله بالادست را نشان می‌دهد. جابه‌جایی به سمت راست و خروج از مرکز، ترکیبی از

1- Weld-neck flange
2- Eccentricity

رواداری‌های ابعادی ایجاد شده از قطر دایره گام^۱ سوراخ پیچ^۲، قطر پیچ، قطر سوراخ پیچ و قطر خارجی صفحه اریفیس است.

مدرک تجربی درباره اثرهای خروج از مرکز محدود است ولی برای صفحات اریفیس مشخص شده است، اثر بر ضریب تخلیه، تابعی از β ، اندازه و زبری لوله، نوع نقطه فشارسنجی، محل و اندازه و همچنین موقعیت مرکز اریفیس نسبت به نقطه فشارسنجی است.

کار تجربی نشان می‌دهد که خطای ناشی از خروج از مرکز در کل با β افزایش می‌یابد. برای $\beta = 0,2$ و خروج از مرکز تا ۵٪ از قطر، افزایش ضریب تخلیه متجاوز از ۰/۱٪ نمی‌باشد. برای β بزرگتر، تغییرات به صورت گرافیکی مانند شکل ۶ نمایش داده شده است.

خروج از مرکز کمتر از ۳٪، خطا با نوع نقاط فشارسنجی و جهت خروج از مرکز تغییر می‌کند. کنترل کمترین حساسیت به خروج از مرکز عمود بر نقاط فشارسنجی را دارد. با خروج از مرکز بیش از ۳٪، خطاها برای همه نقاط فشارسنجی و جهت‌ها به سرعت افزایش می‌یابد.

یادآوری - هیچ داده‌ای برای نقاط فشارسنجی گوشه در دسترس نیست، ولی خطاها احتمالا شبیه به موارد نقطه فشارسنجی فلنج هستند چون داده‌های بالا از خط آزمون با $D = 150mm$ به دست آمده است.

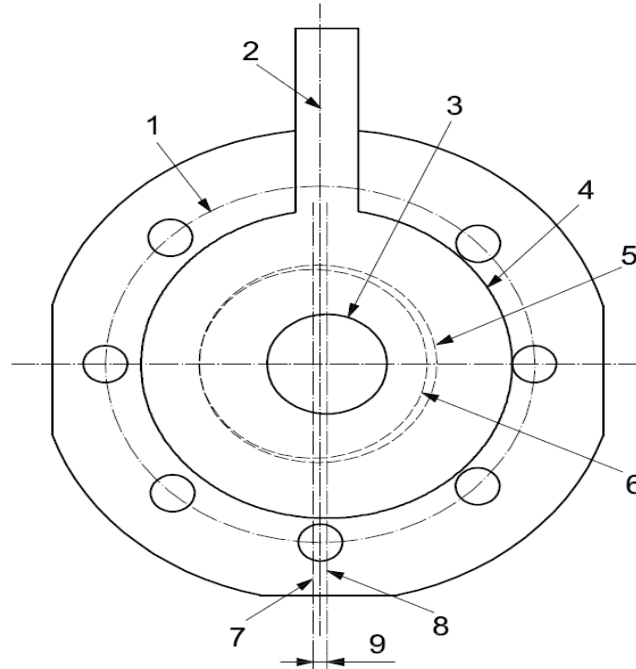
اثر بیشتر موقعیتیابی خروج از مرکز یک صفحه اریفیس با افزایش ناپایداری سیگنال فشار تفاضلی به دست می‌آید. مشاهدات، برای مثال افزایش قابل توجه در نوسانات قرائت فشار تفاضلی با افزایش خروج از مرکز برای همه مقادیر β بین ۰/۴ و ۰/۷ نشان داده شده است.

به دلیل تعداد انواع مواردی که در اثر خروج از مرکز بر اندازه‌گیری شارش مشارکت می‌کند، این اثر به سختی تعیین می‌شود. بهتر است، برای محدود کردن خروج از مرکز به کمتر از ۳٪ قطر، خصوصا در جهت نقاط فشارسنجی تلاش شود.

با به‌کارگیری چهارنقطه فشارسنجی در بالادست و پایین‌دست با فاصله یکسان با کنترل می‌توان اثر را حداقل کرد (به شکل ۱ از استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ مراجعه شود). خطوط فشار ناشی از این موارد در چیدمان نقطه فشارسنجی سه‌تایی T به‌طور وسیع استفاده می‌شود تا متوسط قرائت فشار تفاضلی به‌دست آید. به‌عنوان راهنمای کلی، می‌توان فرض کرد که اثر سوارکردن خروج از مرکز برای نازل‌های چند نقطه‌ای، کمتر از صفحات اریفیس با β برابر خواهد بود. تیوب‌های ونتوری با احتمال کمتر خارج از مرکز^۳ نصب می‌شوند.

- 1- Pitch-circle
- 2- Bolt-hole
- 3- Off- centre

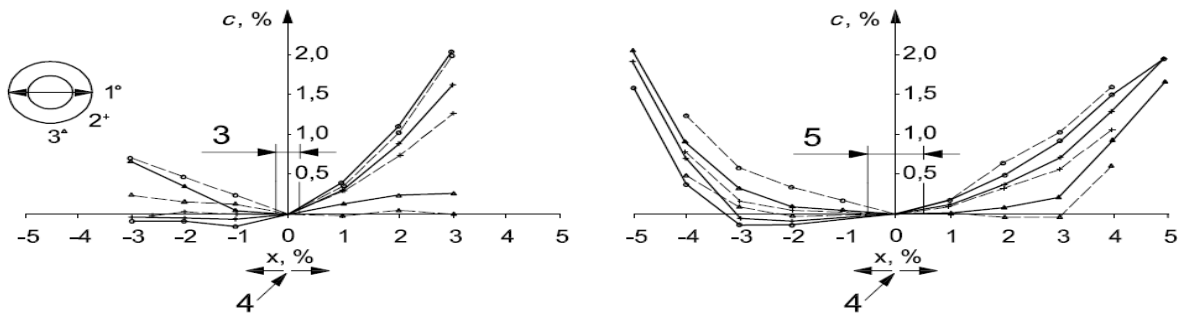
یادآوری - در قصورهای نصب ترکیبی توصیه می‌شود که خطاهای ناشی از اثرهای ترکیبی خروج از مرکز، گام‌های حلقه حامل و غیره به صورت افزودنی حساب نشود. همچنین خطای کلی احتمالی با قوی‌ترین اثرهای موجود ساماندهی شود.



راهنما

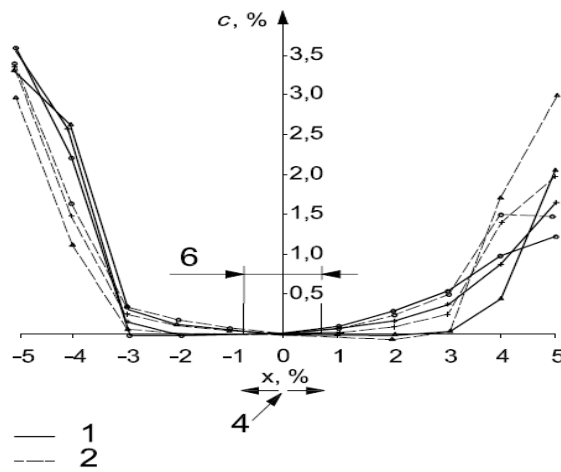
دایره گام سوراخ پیچ	1
خط مرکز فلنچ	2
گمانه اریفیس	3
قطر خارجی صفحه اریفیس	4
گمانه فلنچ	5
قطر داخلی لوله	6
خط مرکز لوله	7
خط مرکز اریفیس	8
خروج از مرکز	9

شکل ۵- پی آمد خروج از مرکز صفحه اریفیس از رواداری‌های مشخص شده در سوراخ پیچ، دایره گام سوراخ پیچ، قطر خارجی لوله و گمانه فلنچ



a) $\beta = 0,75$

b) $\beta = 0,66$



c) $\beta = 0,57$

راهنما:

- | | |
|--|---|
| نقاط فشارسنجی D و D/2 | 1 |
| نقاط فشارسنجی فلنج | 2 |
| $\pm 0,3\%$ | 3 |
| دوری از نقطه فشارسنجی (1) \longleftrightarrow (به سمت نقطه فشارسنجی (1)) | 4 |
| $\pm 0,5\%$ | 5 |
| $\pm 0,7\%$ | 6 |
| تغییر در ضریب تخلیه | c |
| خروج از مرکز | x |

شکل ۶- خطای ضریب تخلیه در برابر خروج از مرکز صفحه اریفیس با نقاط فشارسنجی D/2, D و فلنج

۸ اثرهای طرح لوله

۱-۸ کلیات

حداقل مقادیر طول‌های مستقیم لازم بین وسیله اولیه و اتصالات بالادست مختلف در زیر بند ۶-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ و زیربند ۶-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۳-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ و زیربند ۶-۲ استاندارد ملی ایران شماره ۴-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ ارائه شده است. حداقل طول‌های مستقیم برای عدم قطعیت اضافی صفر و ۰/۵٪ در ضریب تخلیه ارائه شده است.

وقتی حداقل الزامات برای حتی ۰/۵٪ عدم قطعیت اضافی را نتوان محقق کرد، بهتر است کاربر، تصحیحی برای جبران تغییر در ضریب تخلیه انجام داده و بهتر است، همچنین مقدار درصد عدم قطعیت را نیز افزایش دهد. تصحیحات و عدم قطعیت‌های اضافی برای صفحه‌های اریفیس لبه مربعی با گوشه، نقاط فشارسنجی فلنج، D و D/2 در جداول ۳ و ۴ برای انواع زانویی‌ها و اتصالات لوله بالادست ارائه شده است. جابجایی‌ها^۱ در ستون‌های ۴ و ۵، بسته به جزئیات دقیق زانویی دوتایی بسیار متغیر هستند. داده‌های اضافی درباره جابجایی ضرایب تخلیه صفحه اریفیس برای تعداد بسیاری از اتصالات بالادست در مراجع [3-6] ارائه شده است.

۲-۸ جبران ضریب تخلیه

۱-۲-۸ تصحیحات

ضریب تخلیه را می‌توان با استفاده از داده‌های جدول ۳ همان‌طور که در مثال زیر نشان داده شده است، اصلاح کرد:

الف- تغییر درصد در ضریب، ۱/۱٪+ است، بنابراین بهتر است ضریب، در ۱/۰۱۱ ضرب شود؛

ب- تغییر درصد در ضریب، ۲/۳٪- است، بنابراین بهتر است ضریب، در ۰/۹۷۷ ضرب شود.

استاندارد ملی ایران شماره ۲۱۵۹۰: سال ۱۳۹۵

جدول ۳- تغییر درصد در ضریب تخلیه β ، وقتی که طول لوله‌های مستقیم قبل از اریفیس کمتر از مقادیر مشخص شده در استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ است.

نوع اتصال (برای جزئیات فهرست علائم و اختصارات به راهنما مراجعه شود)																	β	طول مستقیم بالادست
۱۷	۱۶	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱		
-	-	۰٫۲	۰٫۵	۰٫۳	-۰٫۸	-۱٫۰	۰٫۲	۰٫۲	-	۸٫۲	-۰٫۴	۲٫۹	۲٫۹	-۰٫۵	-۱٫۴	-۱٫۴	۰٫۵	۴D
-	-	-۰٫۲	۰	۰٫۳	-۱٫۷	-۲٫۴	-۰٫۳	-۰٫۲	-	۸٫۵	-۱٫۲	۱٫۳	۱٫۷	-۱٫۱	-۲٫۲	-۲٫۳	۰٫۶	
-	-	۰	-۰٫۶	۰٫۳	-۲٫۳	-۴٫۴	-۰٫۷	-۰٫۹	-	۸٫۲	-۲٫۱	۰٫۴	۰٫۱	-۱٫۸	-۳٫۲	-۳٫۸	۰٫۷	
-	-	۰	-۱٫۳	۰٫۳	۰	-۷٫۵	۰	-۲٫۲	-	۳٫۴	-۳٫۱	۰	-۲٫۴	-۲٫۶	۰	-۵٫۶	۰٫۸	
-۰٫۷	-۰٫۸	-۰٫۲	-۰٫۲	الف	-۰٫۴	-۰٫۶	-۰٫۲	-۰٫۲	۶٫۴	۶٫۳	۰	۲٫۴	۲٫۴	-۰٫۳	-۰٫۷	-۰٫۷	۰٫۵	۸D
-۱٫۲	-۱٫۳	-۰٫۸	-۰٫۷	الف	-۱٫۲	-۱٫۳	-۰٫۴	-۰٫۶	۶٫۱	۵٫۶	-۰٫۷	۱٫۲	۱٫۴	-۰٫۷	-۱٫۲	-۱٫۴	۰٫۶	
-۱٫۷	-۱٫۷	-۱٫۲	-۱٫۲	۰٫۱	-۱٫۹	-۲٫۱	-۰٫۸	-۱٫۱	۶٫۱	۴٫۴	-۱٫۳	۰٫۴	۰٫۳	-۱٫۲	-۱٫۹	-۲٫۲	۰٫۷	
-۲٫۱	-۲٫۰	۰	-۱٫۸	۰٫۱	۰	-۳٫۱	۰	-۱٫۹	۰	۲٫۳	-۲٫۰	۰	-۱٫۷	-۱٫۸	۰	-۳٫۲	۰٫۸	
۰	-	-۰٫۲	-۰٫۳	الف	-۰٫۳	-۰٫۴	-۰٫۱	-۰٫۲	۵٫۵	۵٫۵	۰	۲٫۰	۲٫۰	الف	الف	الف	۰٫۵	۱۲D
۰٫۸	-۰٫۸	-۰٫۶	-۰٫۷	الف	-۰٫۹	-۰٫۹	-۰٫۳	-۰٫۴	۴٫۳	۳٫۹	-۰٫۴	۱٫۰	۱٫۲	-۰٫۴	-۰٫۸	-۰٫۸	۰٫۶	
-۱٫۱	-۱٫۲	-۱٫۰	-۱٫۱	الف	-۱٫۳	-۱٫۳	-۰٫۷	-۰٫۸	۳٫۲	۲٫۶	-۰٫۸	۰٫۳	۰٫۳	-۰٫۸	-۱٫۴	-۱٫۴	۰٫۷	
-۱٫۴	-۱٫۵	۰	-۱٫۵	۰	۰	-۱٫۷	۰	-۱٫۳	۰	۱٫۵	-۱٫۳	۰	-۱٫۳	-۱٫۳	۰	-۲٫۰	۰٫۸	
-	-	-۰٫۲	-۰٫۲	الف	-۰٫۲	-۰٫۲	۰	-۰٫۱	۵٫۰	۵٫۱	۰	۱٫۷	۱٫۷	الف	الف	الف	۰٫۵	۱۶D
-	-	-۰٫۴	-۰٫۴	الف	-۰٫۶	-۰٫۶	-۰٫۲	-۰٫۳	۳٫۶	۳٫۵	-۰٫۳	۰٫۹	۱٫۱	-۰٫۳	الف	الف	۰٫۶	
-	-۰٫۹	-۰٫۶	-۰٫۷	الف	-۱٫۰	-۰٫۹	-۰٫۵	-۰٫۵	۲٫۴	۲٫۱	-۰٫۵	۰٫۳	۰٫۳	-۰٫۵	-۰٫۸	-۰٫۸	۰٫۷	
-	-۱٫۲	۰	-۱٫۰	۰	۰	-۱٫۰	۰	-۰٫۸	۰	۰٫۸	-۰٫۸	۰	-۱٫۱	-۰٫۷	۰	-۱٫۳	۰٫۸	

الف به جدول ۳ از استاندارد بند ۲-۲ مراجعه شود.

ب برای نقاط فشارسنجی D و $D/2$ ، تغییرات برای ضریب تخلیه اندازه‌گیری شده با $\beta > 0.75$ ، بهتر است جهت میان‌یابی تغییرات ضریب تخلیه برای $\beta \leq 0.75$ به کار برده نشود و همچنین اگر $L_2 > 2(1-\beta)$ باشد، نقطه فشارسنجی پایین دست در منطقه بهبود فشار قرار دارد.

پ برای منبسط کننده هم مرکز $0.5D$ تا D در سراسر طول D تا $2D$ ، به جدول ۳ از استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ رجوع شود.

1- Pressure recovery region

ادامه جدول ۳

شماره	نوع اتصال بالادست	نوع نقاط فشارسنجی
۱	تک زانویی ۹۰° شعاع کوتاه	گوشه، فلنج
۲	تک زانویی ۹۰° شعاع کوتاه	D و D/2
۳	دو زانویی ۹۰° در صفحه یکسان با چیدمان U,S و جداکننده D(0-10)	همه
۴	دو زانویی ۹۰° با زاویه قائمه و بدون جداکننده	گوشه، فلنج
۵	دو زانویی ۹۰° با زاویه قائمه و بدون جداکننده	D و D/2
۶	دو زانویی ۹۰° با زاویه قائمه و جداکننده D(5-11)	همه
۷	دو زانویی ۹۰° فارسی بر با زاویه قائمه و بدون جداکننده	گوشه، فلنج
۸	دو زانویی ۹۰° فارسی بر با زاویه قائمه و بدون جداکننده	D و D/2
۹	شیر پروانه‌ای ^۱ کاملاً باز	گوشه، فلنج
۱۰	شیر پروانه‌ای کاملاً باز	D و D/2
۱۱	شیر پروانه‌ای ۵۲° باز	گوشه، فلنج
۱۲	شیر پروانه‌ای ۵۲° باز	D و D/2
۱۳	شیر دروازه‌ای ^۲ کاملاً باز	همه
۱۴	شیر دروازه‌ای ۲/۳ باز	گوشه، فلنج
۱۵	شیر دروازه‌ای ۲/۳ باز	D و D/2
۱۶	شیر دروازه‌ای ۱/۴ باز و شیر کروی ^۳	همه
۱۷	بزرگ متقارن، مخروطی یا شیب تند	همه

1- Butterfly valve
2- Gate valve
3- Globe valve

جدول ۴- فرمول عدم قطعیت اضافی در ضریب تخلیه اریفیس، که با درصد تغییرهای داده شده در جدول ۳ برای همه چیدمان‌های نقطه فشارسنجی به کار می‌رود

فرمول عدم قطعیت اضافی		نوع اتصال بالادست
نقطه فشارسنجی تکی ^{الف}	حلقه پیزومتر (به طور مثال: T- سه گانه)	
$0,5 + 0,6 c $	$0,5(1 + 0,6 c)$	تک زانویی 90° شعاع کوتاه، با شعاع خم D(1-1,5)
$0,5 + c $	$0,5(1 + c)$	دو زانویی 90° با چیدمان U,S در صفحه یکسان
$0,5+ c + (10D/x)$	$0,5(1 + c) + (10D/x)$	دو زانویی 90° با زاویه قائمه، بدون جداکننده (X فاصله صفحه اریفیس از نزدیکترین زانویی است)
$0,5(1 + 3 c)$	$0,5 + c $	دو زانویی 90° با زاویه قائمه، جداکننده D(5-11)
$0,5(1 + 3 c)$	$0,5 + c $	دو زانویی فارسی بر 90° با زاویه قائمه، بدون جداکننده
$0,5(1 + 3 c)$	$0,5 + c $	شیر پروانه‌ای کاملاً باز
$0,5(1 + 3 c)$	$0,5 + c $	شیر پروانه‌ای 52° باز
$0,5 + c $	$0,5(1 + c)$	شیر دروازه‌ای کاملاً باز
$0,5 + c $	$0,5(1 + c)$	شیر دروازه‌ای $2/3$ باز
$0,5 + c $	$0,5 + c $	شیر دروازه‌ای $1/4$ باز و شیر کروی
$0,5 + c $	$0,5 + c $	بزرگ یا محدودیت تقارن، مخروطی یا شیب تند

^{الف} محور نقطه فشارسنجی بهتر است در زاویه قائم نسبت به صفحه نزدیکترین زانویی بالادست باشد.

۸-۲-۲ عدم قطعیت اضافی

فرمول محاسبه درصد عدم قطعیت اضافی در ضریب تخلیه در جدول ۴ برای هر نوع اتصال، ارائه شده است. این مورد علاوه بر عدم قطعیت اصلی در ضریب تخلیه: برای $0,2 \leq \beta \leq 0,6$ برابر $0,5\%$ و برای $0,6 < \beta \leq 0,75$

برابر $(0.5 - 1.667\beta)$ می‌باشد. در استخراج فرمول، مقدار داده‌ها، سازگاری و ثبات حاصل از منابع متفاوت در نظر گرفته شده است. کاربرد آن‌ها در مثال‌های زیر ارائه شده است.

الف - اگر معادله به صورت زیر باشد:

$$e = 0,5(1 + |c|) \quad (5)$$

که در آن $|c|$ مدول تغییر درصد است (یعنی اندازه بدون در نظر گرفتن علامت) و اگر تغییر در ضریب $1,4\% +$ باشد، آنگاه $e = 1,2\%$ است.

ب - اگر معادله به صورت زیر باشد:

$$e = 0,5 + |c| \quad (6)$$

و اگر $c = -2,8\%$ باشد، آنگاه $e = 3,3\%$ است.

۳-۸ نقاط فشارسنجی

تاکید می‌گردد، تغییر در ضریب وقتی نقاط فشارسنجی D و $D/2$ استفاده می‌شود، اغلب با موارد به دست آمده با نقاط فشارسنجی گوشه یا فلنج متفاوت است.

وقتی طول لوله مستقیم بالادست کمتر از مقدار لازم برای عدم قطعیت اضافی صفر است، توصیه می‌شود که نقاط فشارسنجی چندتایی با اتصالات سه‌گانه T ، همان طور که در شکل ۱ از استاندارد ملی ایران شماره ۱-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ نشان داده شده است، به کار رود. اگر نقاط فشارسنجی تکی به کار رود، بهتر است محورهای آن‌ها در زوایای قائم نسبت به صفحه نزدیک‌ترین زانویی بالادست باشد.

۴-۸ وسایل بهبود شرایط شارش

توصیه می‌شود، حالت‌دهنده‌های شارش درجایی استفاده شوند که شارش نامتقارن یا چرخشی باید اندازه‌گیری شود. شرح حالت‌دهنده‌های شارش مختلف در پیوست ب استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ فراهم شده است. حتی جایی که الزامات نصب استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ (بند ۳-۶ یا پیوست ب) محقق نشود، استفاده از حالت‌دهنده‌های شارش، خطاها را خصوصاً در شارش چرخشی کاهش می‌دهد.

۹ انحراف‌های عملیاتی

۱-۹ کلیات

سیستم‌های اندازه‌گیری مطابق با مجموعه استانداردهای ملی ایران ۱۶۴۶۸ وقتی جدید بوده یا اخیراً نگهداری شده است، ممکن است با گذر زمان دچار تنزل^۱ معنی‌دار در درستی شوند.

این تنزل دلایل مختلفی ممکن است، داشته باشد:

الف- تغییر شکل صفحه اریفیس؛

ب- رسوب در رویه بالادست صفحه اریفیس؛

پ- رسوب در تیوب کنتور؛

ت- گرد شدن لبه صفحه اریفیس؛

ث- رسوب در نقاط فشارسنجی؛

ج- رسوب و افزایش زبری سطح در تیوب ونتوری.

نشاندگی اثر منابع خطا موارد الف تا ت و مورد ج در بند ۹-۲ تا ۹-۶ ارائه شده است.

نمی‌توان قویاً تأکید کرد که دستیابی مداوم به الزام‌های درستی بالا، تلاش بسیاری را لازم دارد. به طور خاص، بازرسی و نگهداری منظم ضروری است. دوره‌های زمانی بازرسی وابسته به ماهیت سیال اندازه‌گیری شده و شیوه بهره‌برداری سیستمی است که کنتور در آن نصب و فقط از روی تجربه تعیین می‌شود.

۲-۹ تغییر شکل صفحه اریفیس

۱-۲-۹ کلیات

صفحه اریفیس ممکن است با انحراف فراتر از ۰٫۵٪ مقدار مشخص شده در زیر بند ۱-۳-۱-۵ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸-۲: سال ۱۳۹۱ تغییر شکل دهد. تغییر شکل می‌تواند در جهت بالادست یا پایین دست باشد و علل احتمالی، عیوب در ساخت، نصب ضعیف یا کاربرد نادرست است. بهتر است قصورهای ساخت و نصب قبل از استفاده اصلاح شود.

تغییر شکل ایجاد شده ناشی از کاربرد می‌تواند موقتی (الاستیک^۲) یا دائمی (کمانش^۳) باشد. این مورد در مراجع [۷-۹] بحث شده است. اطلاعات درباره ضخامت لازم صفحات اریفیس در زمان طراحی سیستم‌های اندازه‌گیری در زیر بند ۱-۱-۸-۳ استاندارد ISO/TR 9464:1998 [10] ارائه شده است.

- 1- Degradation
- 2- Elastic
- 3- Buckling

۲-۲-۹ تغییر شکل الاستیک

تغییر شکل الاستیک زمانی ایجاد می‌شود که فشار تفاضلی ناشی از شارش، صفحه را مقدار کمی در جهت پایین دست تغییر شکل دهد به طوری که تنش‌های ایجاد شده، در حد الاستیک در مواد صفحه باقی بمانند. برای یک صفحه ساده پشته‌بانی شده در لبه، جهت تقریب اول افزایش درصد ضریب تخلیه به صورت زیر به دست می‌آید:

$$c = \frac{100 \Delta p}{Y} \left(\frac{D_2}{E} \right)^2 \left(\frac{a_1 D_2}{E} - a_2 \right) \quad (7)$$

که در آن:

$$a_1 = \beta (0,135 - 0,155\beta)$$

$$a_2 = 1,17 - 1,06 \beta^{1,3}$$

برای فولاد ضدزنگ ۳۰۴ یا ۳۱۶ (ISO/TS 15510 [11]), Y را می‌توان 193×10^9 Pa در نظر گرفت.

واقعا در همه موارد، نتیجه تغییر شکل، افزایش ضریب تخلیه خواهد بود. خطاها ناشی از خمیدگی الاستیک اضافه بر موارد ایجاد شده از فقدان اولیه همواری است. فقط وقتی ترکیب نتایج هر دو اثر، در شیب بیش از ۱٪ در شرایط شارش ایجاد می‌شود، صفحه از الزامات استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ انحراف پیدا می‌کند. صفحه به حالت شکل اولیه بر می‌گردد، وقتی که شارش صفر است در نتیجه در مدت بازرسی عادی از سیستم اندازه‌گیری، خمیدگی الاستیک نمی‌تواند آشکار شود.

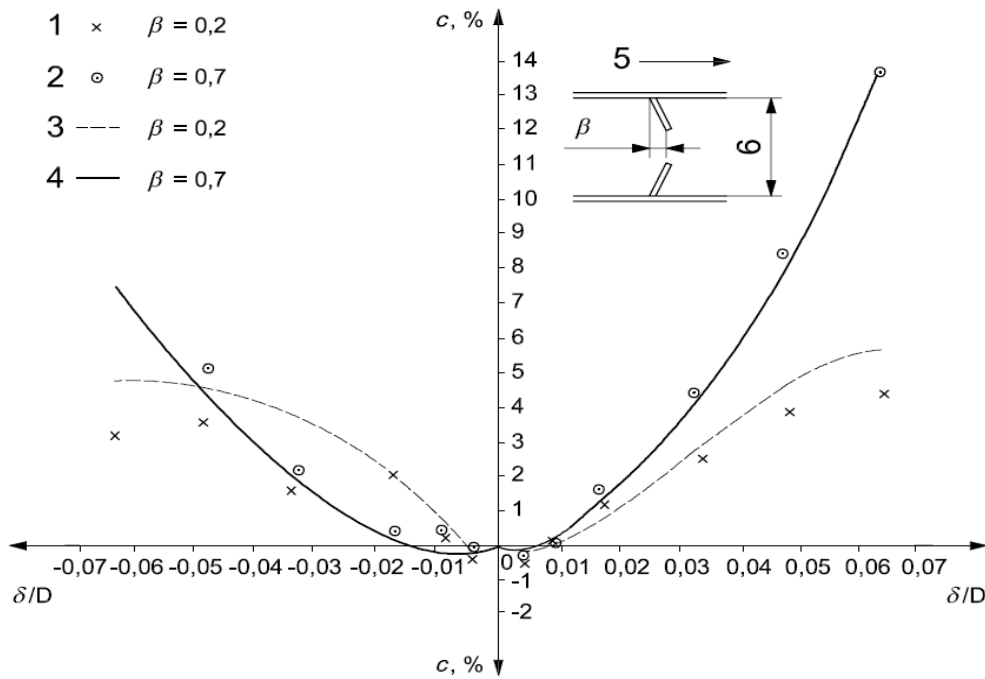
۳-۲-۹ تغییر شکل پلاستیک^۱

در جایی که صفحه اریفیس در معرض فشارهای تفاضلی مفرط قرار می‌گیرد، ممکن است، دچار تغییر شکل دائمی شود. وقتی تغییر شکل شناخته شده باشد، خطا را می‌توان از شکل ۷ برآورد کرد. این تغییر شکل در تحت فشار سریع یا تخلیه مسیر حاوی شارش تراکم پذیر یا با شرایط شارش غیرعادی ممکن است، اتفاق افتد. بهتر است، تاکید کرد که صفحه با تغییر شکل دائمی باید از رده خارج شود.

فشار تفاضلی لازم برای رسیدن به تنش تسلیم صفحه اریفیس Δp_y ، از فرمول زیر می‌تواند برآورد شود:

$$\Delta p_y = \sigma_y \left(\frac{E}{D_2} \right)^2 \left(\frac{1}{0,681 - 0,651\beta} \right) \quad (8)$$

1- Plastic deformation



راهنما:

- | | |
|-------|---|
| تجربی | 1 |
| تجربی | 2 |
| تئوری | 3 |
| تئوری | 4 |
| شارش | 5 |

$D = 200 \text{ mm}$

c تغییر در ضریب تخلیه

δ/D نسبت انحراف به قطر داخلی لوله بالادست.

شکل ۷- اثر تغییر شکل صفحه اریفیس بر درستی اندازه‌گیری شارش

۳-۹ رسوب در رویه بالادست یک صفحه اریفیس

اثر رسوبات بر رویه بالادست صفحه اریفیس شبیه به زبری رویه بالادست بوده و همیشه باعث افزایش ضریب تخلیه می‌شود.

جدول ۵ اثر لایه یکنواخت ماسه با ضخامت یک دانه^۱ (اندازه دانه ۰/۴ mm) و اثر لکه‌های چربی^۲ (قطر اسمی ۶/۳mm و ارتفاع ۲/۵ mm هر لکه) روی صفحه اریفیس در تیوب کنتور، با قطر ۱۰۰m برای اندازه‌گیری هوا در

- 1- One grain thick
- 2- Grease spots

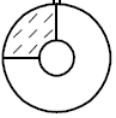
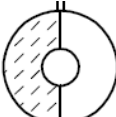
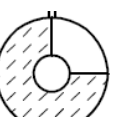
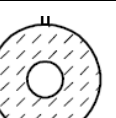
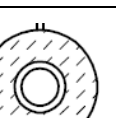
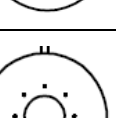
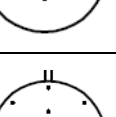
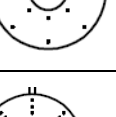
فشار جو را نشان می‌دهد. جدول ۵، اهمیت منطقه حلقوی اطراف ورودی به گمانه اریفیس را نشان می‌دهد. چون این منطقه معمولا با شارش خراشیده^۱ می‌شود، خطاهای واقعی احتمالا کمتر از موارد نشان داده شده است.

جدول ۶ اثر لایه چربی Audco^۲ بر صفحه اریفیس با ضخامت ۶ mm و نسبت قطر ۰٫۶ در لوله ۳۰۰ mm را نشان می‌دهد. نقاط فشارسنجی در صفحه افقی از سمت چپ ترسیم شده‌اند. عدد رینولدز لوله تقریبا 10^7 بوده است. برای آزمایش‌های، صفحه اریفیس از حامل حذف شده و به مکان آزمایشگاهی برده شد که آلاینده‌ها به صفحه در وضعیت افقی اضافه شود. سطح آلاینده‌ها ارائه شده در جدول ۶، در آزمایشگاه به کار رفته است. سپس صفحه به موقعیت عمودی جا به جا شد تا هر مایعی بتواند قبل از جایگذاری مجدد حامل در خط آزمایش تخلیه شود. در طول آزمون دو ساعته از گستره آهنگ‌های شارش، حداکثر افزایش در ضریب تخلیه (تقریبا در شروع آزمون) و افزایش اشباع در ضریب تخلیه با ثابت شدن یکبار افزایش، ثبت شد. اطلاعات بیشتر درباره اثر آلاینده در مراجع [12] و [13] ارائه شده است.

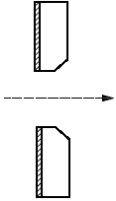
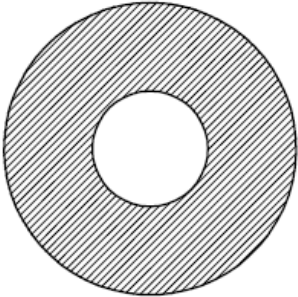
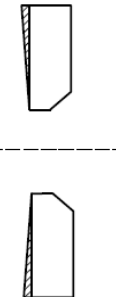
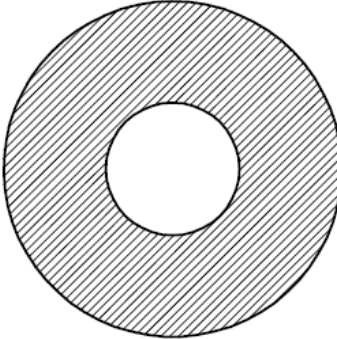
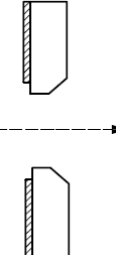
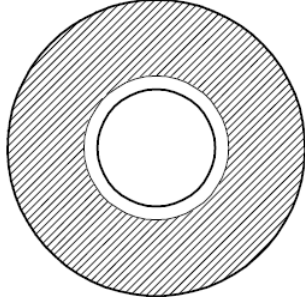

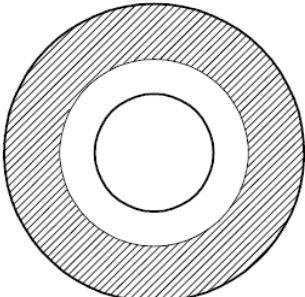
1- Scrubbed

^۲ - مثالی از یک تولید تجاری قابل دسترس، این اطلاعات برای راحتی کاربران داده شده است و این محصول توسط سازمان جهانی ایزو تایید نمی‌شود.

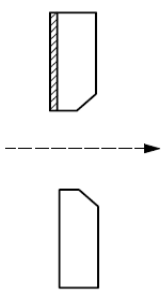
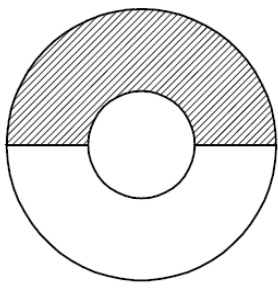
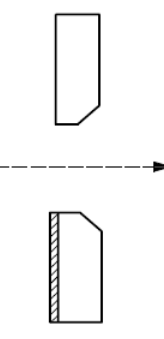
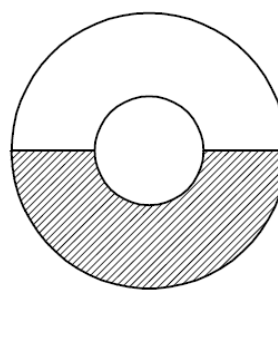
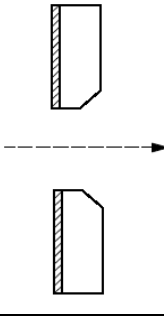
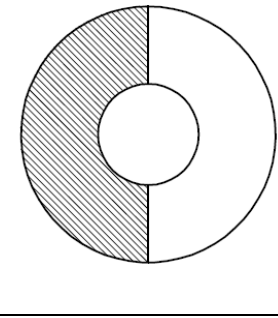
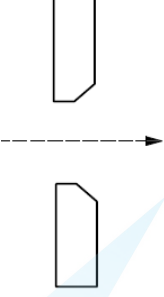
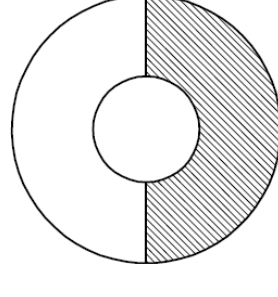
جدول ۵- اثر رسوب ها بر صفحه‌های اریفیس $\beta = 0,2, \beta = 0,7$

تغییر در ضریب تخلیه c		رسوب		
$\beta = 0,7$	$\beta = 0,2$			
%				
+۰,۸	+۱,۰		یک چهارم ماسه	ماسه
+۱,۹	+۲,۸		دو چهارم ماسه	
+۲,۴	+۳,۹		سه چهارم ماسه	
+۳,۰	+۶,۲		ماسه کامل	
+۰,۳	+۰,۳		ماسه کامل که در اطراف گمانه اریفیس با حلقه ۶mm ، ماسه حذف شده است	
+۰,۱	+۰,۱		چهار رسوب چربی	چربی
+۱,۳	+۲,۸		هشت رسوب چربی	
+۱,۲	+۲,۱		۱۶ رسوب چربی	
+۰,۶	+۲,۶		۳۲ رسوب چربی	

جدول ۶- افزایش در ضریب تخلیه c صفحه اریفیس $D = 300mm$, $f = 0,6$ ناشی از پوشش چربی Audco

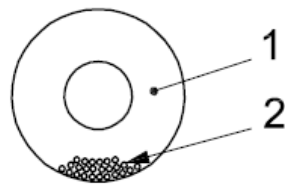
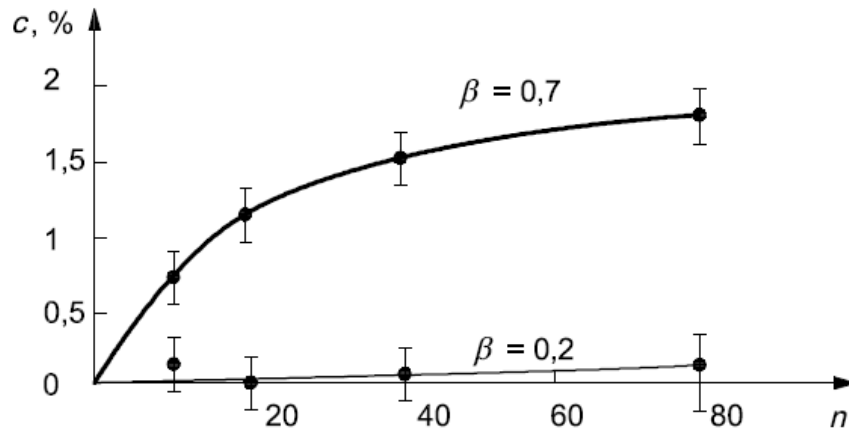
ضخامت پوشش mm	افزایش اشباع در ضریب تخلیه c%	حداکثر افزایش در ضریب تخلیه c%	الگوی آلاینده	پروفایل مقطع عرضی	پروفایل روبه بالادست
۰,۶ ۱,۲ ۲,۰	۲,۱۵ ۲,۱۳ ۳,۷۰	۲,۸۵ ۳,۴۹ ۵,۱۵	رویه بالادست کامل		
۱,۲ تا ۲,۰	۱,۰۰	۱,۳۰	رویه بالادست کامل مخروطی شده به سمت مرکز		
۱,۲	۰,۶۱	۱,۰۰	رویه بالادست کامل با ۱۰ mm حلقه تمیز در مرکز		
۱,۲	۰,۵۰	۰,۶۰	رویه بالادست کامل با ۲۰ mm حلقه تمیز در مرکز		

جدول ۶ (ادامه)

ضخامت پوشش mm	افزایش اشباع در ضریب تخلیه c %	حداکثر افزایش در ضریب تخلیه c %	الگوی آلاینده	پروفایل مقطع عرضی	پروفایل رویه بالادست
۱,۲	-	۱,۷۰	نیم دایره در بالای رویه بالادست		
۱,۲	۱,۳۰	۱,۸۰	نیم دایره در پایین رویه بالادست		
۱,۲	۰,۸۵	۲,۲۰	نیم دایره عمودی نزدیک نقاط فشارسنجی		
۱,۲	۲,۸۴	۳,۷۰	نیم دایره عمودی دور از نقاط فشارسنجی		

۴-۹ رسوب در تیوب کنتور

برای شبیه‌سازی اثر رسوب در تیوب کنتور، میله‌های جوشکاری به صورت محوری بر خلاف رویه بالادست صفحه اریفیس همانطور که در شکل ۸ نشان داده شده، انباشته شده است. میله‌ها سبب افزایش ضریب تخلیه می‌شوند.



راهنما:

- | | |
|---|-----|
| صفحه اریفیس | 1 |
| میل‌های جوشکاری محوری قرار داده شده در برابر صفحه اریفیس، قطر میله = $0,016 D$ ، طول میله = $0,5 D$ | 2 |
| تغییر در ضریب تخلیه | c |
| تعداد میله‌های جوشکاری | n |

شکل ۸- اثر میله‌های جوشکاری بر تیوب کنتور

شکل ۹ نتایج آزمایش‌های انجام شده برای بررسی اثر ساخت افقی و هموار مواد در کنتور در حال کار را نشان می‌دهد. وقتی مواد پایین‌تر از ارتفاع آب‌بند^۱ باشد، ضریب تخلیه افزایش می‌یابد. زمانی که بیش از ارتفاع آب‌بند باشد، سطح مقطع گمانه اریفیس کاهش یافته و سبب کاهش ضریب تخلیه می‌شود.

1- Dam height

۵-۹ تیزی لبه صفحه اریفیس

۱-۵-۹ خرابی^۱

ممکن است لبه تیز صفحه اریفیس با گذشت زمان خراب شود. علل احتمالی این خرابی عبارتند از:

الف- فرسایش؛

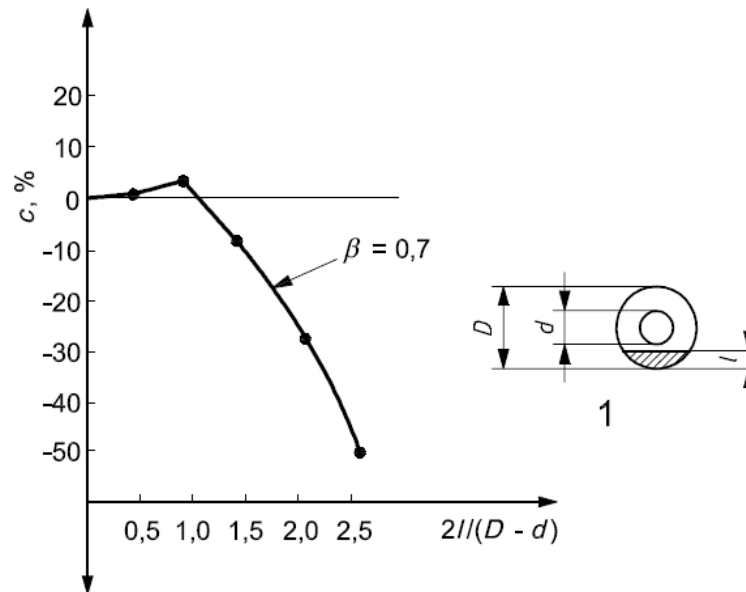
ب- حفره‌زایی^۲؛

پ- آسیب مکانیکی؛

ت- کارکرد بی‌دقت^۳.

ضرایب تخلیه صفحه اریفیس نسبت به تیزی لبه حساس هستند و جایی که هر یک از اثرات بالا اتفاق می‌افتد، بهتر است، بازرسی کیفی منظم از لبه انجام شود.

اثر از دست دادن لبه تیزی در بند ۶-۱ شرح داده شده است.



راهنما:

1 کسر ارتفاع آب‌بند؛

c تغییر در ضریب تخلیه؛

$2l/(D-d)$ سطح ممانعت - کسر ارتفاع آب‌بند.

شکل ۹- اثر مواد باقیمانده روی تیوب کنتور (روی دو طرف صفحه)

- 1- Deterioration
- 2- Cavitation
- 3- Careless handling

۹-۵-۲ واژگونی صفحه^۱

بهتر است، برای اطمینان از جایگذاری صفحات اریفیس اریب در خط اندازه‌گیری به صورت مورب در روبه پایین- دست مراقب ویژه انجام شود.

در یک کنتور با قطر ۱۰۰mm، یک صفحه مورب ۴۵° و رو به بالادست می‌تواند افزایش درصد زیر را در ضریب تخلیه ایجاد کند:

الف- عرض مورب 0,25mm : $c = 2,0$ ؛

ب- عرض مورب 0,5mm : $c = 4,0$ ؛

پ- عرض مورب 1,25mm : $c = 13,0$.

این مقادیر بهتر است صرفاً نشان‌دهنده تغییراتی نباشد که با نصب غیر صحیح ایجاد می‌شود و همچنین دقیق نمی‌باشد.

۹-۶ رسوب و افزایش زبری سطح در تیوب‌های ونتوری

۹-۶-۱ کلیات

دو اثر ممکن است در استفاده از تیوب ونتوری برای یک دوره زمانی اتفاق افتد. این دو مورد رسوب مواد در ناحیه انقباض و گمانه و افزایش زبری سطح است. نتیجه هر دو اثر کاهش ضریب تخلیه بوده و ممکن است با هم اتفاق افتد. اما به صورت جداگانه در زیر بندهای ۹-۶-۲ و ۹-۶-۳ در نظر گرفته شده است.

۹-۶-۲ رسوب

اگر مواد به صورت یکنواخت و هموار در ناحیه انقباض و گمانه تیوب ونتوری رسوب کند، تغییر در ضریب تخلیه به صورت درصد بیان می‌شود c و ممکن است به صورت تئوری از کاهش سطح برآورد شود:

$$c = -400(l/d) \quad (9)$$

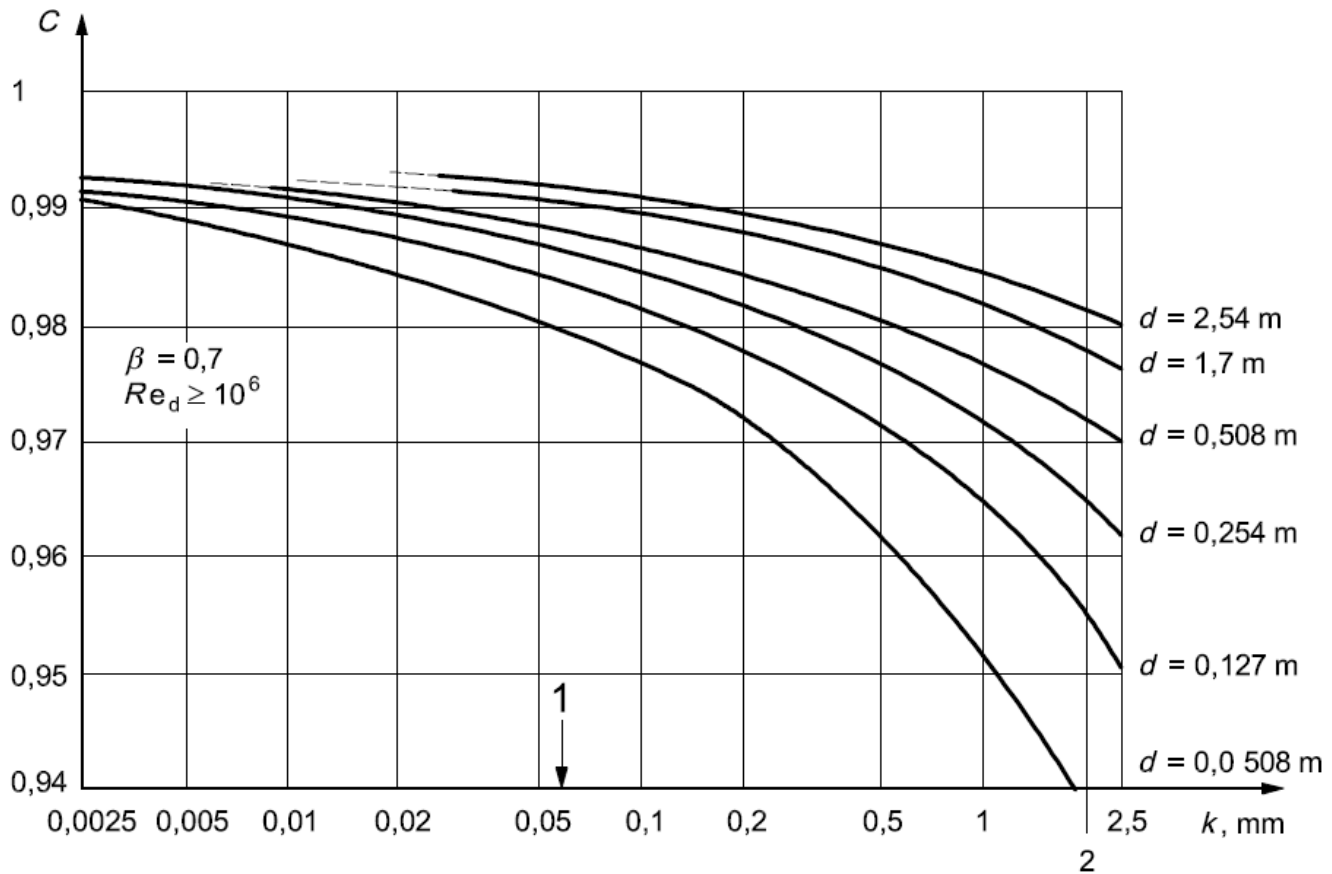
که در آن l ضخامت رسوب حلقوی بر حسب متر در گمانه تیوب ونتوری است.

۹-۶-۳ زبری سطح

ممکن است ماهیت شیمیایی سیال و مواد تیوب ونتوری به صورتی باشد که زبری سطح تیوب ونتوری با گذشت زمان افزایش یابد (به مرجع [14] مراجعه شود). این افزایش در زبری باعث کاهش ضریب تخلیه می‌شود. یک نشانه‌ای از خطای درگیر بوده که در شکل ۱۰ ارائه شده است.

1- Plate reversal

آهنگ افزایش زبری سطح وابسته به واکنش‌های شیمیایی بوده که در سیستم اندازه‌گیری رخ می‌دهد و خارج از دامنه این استاندارد است.



راهنما:

- | | | |
|------------------------------|------------------------|-----|
| زبری موثر برای کنتورهای جدید | $k = 0,056 \text{ mm}$ | 1 |
| ضریب تخلیه تیوب ونتوری | | c |
| زبری یکنواخت تیوب ونتوری. | | k |

شکل ۱۰- تغییر ضریب کنتور ونتوری با زبری سطح

۱۰ زبری لوله

۱-۱۰ کلیات

ضرایب تخلیه در زیربندهای ۱-۲-۳-۵ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸-۲: سال ۱۳۹۱ و زیربندهای ۵-۱-۶-۵، ۲، ۲-۶-۲-۵ و ۲-۴-۳-۵ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸-۳: سال ۱۳۹۱ و زیربند ۵-۵ استاندارد ملی ایران

شماره ۴-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱، انطباق با شرایط نصب مشخص شده را فرض می‌کند. خصوصاً، بهتراست پروفایل سرعت بدون واسطه در بالادست وسیله اولیه شبیه به آزمایش‌هایی باشد که معادلات مبتنی بر آنها است. زبری یکنواخت معادل لوله k ، عدد رینولدز Re_D ، و عامل اصطکاک λ ارتباط درونی دارند و پروفایل سرعت را تعیین می‌کند (به مرجع [15] مراجعه شود). نتایج آزمایشگاهی اشاره دارد که پروفایل سرعت، تعریف شده به صورت نسبت سرعت محوری محلی در y از دیواره لوله، u سرعت در خط مرکزی ($y/R = 1$)، u_{CL} را می‌توان تقریباً به صورت زیر بیان کرد:

$$\frac{u}{u_{CL}} = \left(\frac{y}{R} \right)^{1/n} \quad (10)$$

که در آن:

y فاصله از دیواره لوله؛

R شعاع لوله، $D/2$ ؛

n عددی است معکوس توان (وابسته به Re_D و k/D) و y/R باید مطرح شود تا پروفایل سرعت مشخص گردد.

نسبت سرعت محوری میانگین U به سرعت در خط مرکزی ($y/R=1$)، u_{CL} به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{U}{u_{CL}} = \frac{2n^2}{(n+1)(2n+1)} \quad (11)$$

در لوله صاف، n با عدد رینولدز افزایش می‌یابد (به جدول ۷ مراجعه شود). در لوله کاملاً زبر، n با افزایش زبری نسبی، کاهش می‌یابد (به جدول ۸ مراجعه شود).

یک پروفایل یکنواخت‌تر ($U/u_{CL} \rightarrow 1$) ضریب تخلیه را کاهش می‌دهد و پروفایلی با قله بیشتر (کاهش U/u_{CL})، C افزایش می‌یابد.

میزان تغییر ضریب تخلیه نیز تحت اثر β است که برای β کوچکتر، کمتر می‌شود.

جدول ۷- مقادیر n و U/u_{CL} برای لوله صاف

λ	U/u_{CL}	n	Re_D
۰٫۰۴	۰٫۷۹۱	۶٫۰	4×10^3
۰٫۰۲۵	۰٫۸۰۷	۶٫۶	23×10^4
۰٫۰۱۷۵	۰٫۸۱۷	۷٫۰	11×10^5
۰٫۰۱۱۵	۰٫۸۵۰	۸٫۸	11×10^6
۰٫۰۱۰۵	۰٫۸۶۶	۱۰	4×10^6

جدول ۸- مقادیر n , U/u_{CL} و λ برای لوله زبر

R/k	k/D	n	U/u_{CL}	λ
۵۰۷	۰.۹۸۶×۱۰^{-۳}	۶	۰.۷۹۱	۰.۲۰
۱۲۶	۳.۹۷×۱۰^{-۳}	۵	۰.۷۵۸	۰.۲۸
۳۱	۱۶.۱×۱۰^{-۳}	۴	۰.۷۱۱	۰.۴۵

۱۰-۲ لوله بالادست

برای صفحه اریفیس، تغییر در ضریب تخلیه، ΔC ناشی از زبری لوله، تقریباً متناسب با تغییر در ضریب اصطکاک $\Delta \lambda$ و $\beta^{3.5}$ است. ضریب اصطکاک λ را می‌توان به صورت مستقیم با فرمول زیر اندازه‌گیری کرد:

$$\lambda = \frac{2D\Delta p}{\rho U^2 Z} \quad (12)$$

که در آن:

D قطر لوله بر حسب m ؛

Δp اختلاف فشار بین دو نقطه فشارسنجی بر حسب Pa ؛

ρ چگالی سیال بر حسب kg/m^3 ؛

U سرعت محوری میانگین بر حسب m/s ؛

Z فاصله بین دو نقطه فشارسنجی بر حسب m .

اندازه‌گیری انحراف میانگین حسابی پروفایل زبری R_a برای استنباط زبری معادل یکنواخت $k \approx \pi R_a$ ، و برای محاسبه λ با استفاده از معادله کولبروک- وایت^۱ ساده‌تر است (به زیر بند ۷-۴-۱-۵ استاندارد ملی ایران شماره ۱۶۴۶۸-۱: سال ۱۳۹۱ و معادله (20.35a) به مرجع [15] مراجعه شود):

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.74 - 2 \lg \left(\frac{2k}{D} + \frac{18.7}{Re_D \sqrt{\lambda}} \right) \quad (13)$$

1- Colebrook-white equation

اگر برآوردی از جابجایی در ضریب تخلیه از معادله (۴) استاندارد ملی ایران شماره ۲-۱۶۴۶۸: سال ۱۳۹۱ مطلوب باشد، برآوردی از عامل اصطکاک برای معادله ضریب تخلیه ضروری است. آن کار باید بر مبنای زبری یا عامل اصطکاک اندازه‌گیری شده لوله‌ها انجام شود که در آن داده‌های استاندارد (معادله ضریب تخلیه مناسب است) جمع‌آوری شده است. این موارد در جدول ۹ ارائه شده‌اند. k/D و λ وابسته به Re_D هستند، k/D با Re_D کاهش می‌یابد چون اعداد رینولدز بالاتر عموماً در لوله‌های بزرگتری رخ می‌دهد که نسبتاً صاف‌تر هستند.

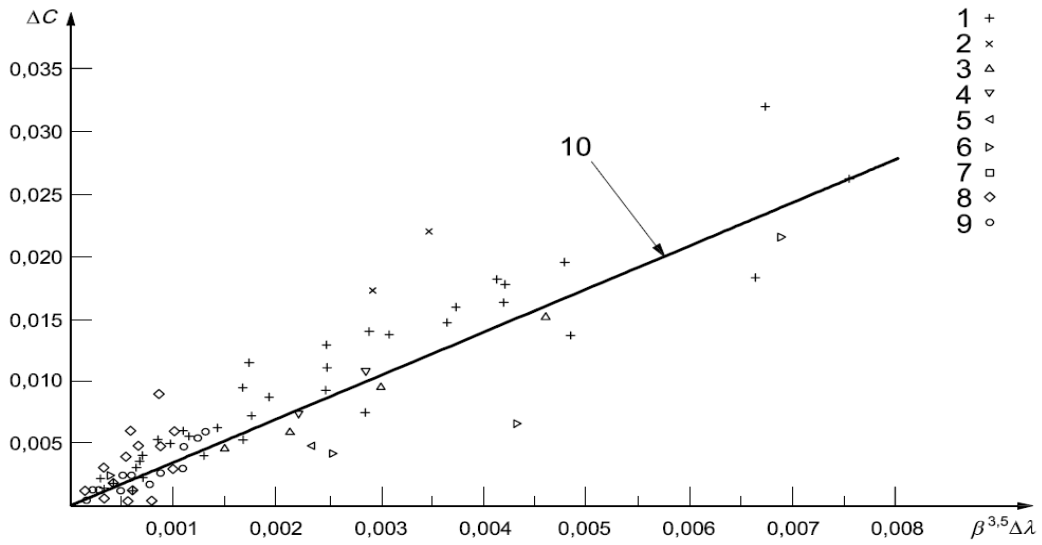
جدول ۹- مقادیر k/D و λ مرتبط با معادله (۴) استاندارد بند ۲-۲

10^8	3×10^7	10^7	3×10^6	10^6	3×10^5	10^5	3×10^4	10^4	عدد رینولدز لوله Re_D
۰٫۲۵	۰٫۳۵	۰٫۴۵	۰٫۵۵	۰٫۷	۰٫۹	۱٫۱۵	۱٫۴۵	۱٫۷۵	نسبت زبری یکنواخت به قطر لوله $k/D \times 10^4$
۰٫۰۰۹۵	۰٫۰۱۰	۰٫۰۱۰۵	۰٫۰۱۱۵	۰٫۰۱۳	۰٫۰۱۵۵	۰٫۰۱۸۵	۰٫۰۲۴	۰٫۰۳۱	عامل اصطکاک λ

شکل ۱۱، مقادیر ΔC اندازه‌گیری شده و محاسبه شده (با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی) را به صورت تابعی از $\Delta \lambda \beta^{3.5}$ ارائه می‌کند (به مرجع [16] برای مراجع کامل مراجعه شود). مقادیر محاسبه شده و داده‌های تجربی اروپایی با استفاده از نقاط فشارسنجی گوشه به دست آمده‌اند. داده‌های تجربی آمریکای شمالی (به مراجع [17-19] مراجعه شود) با استفاده از نقاط فشارسنجی فلنج به دست آمده‌اند. برای نقاط فشارسنجی گوشه، معادله تقریبی زیر برای محاسبه تغییر در ضریب تخلیه ΔC رسم شده است:

$$\Delta C = 3,5\beta^{3,5}\Delta\lambda$$

(۱۴)



راهنما:

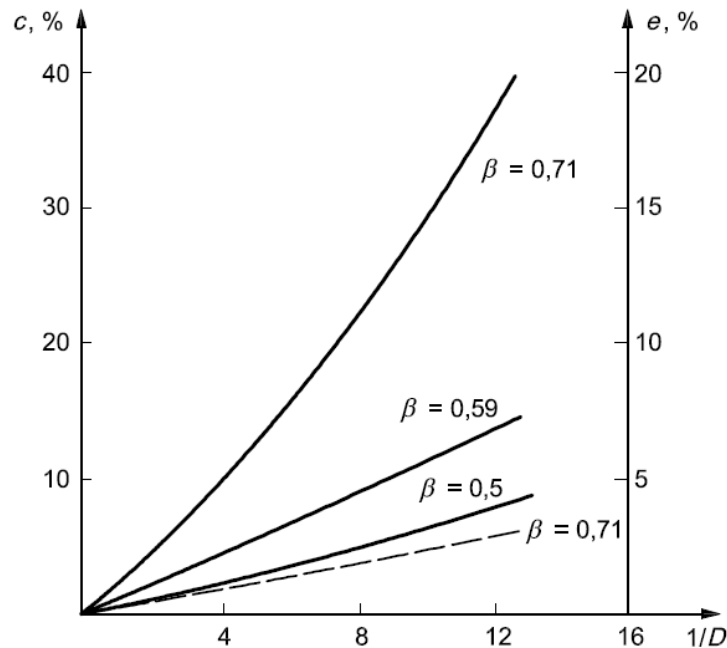
محاسبه شده [16]	1
تجربی [20]	2
تجربی [21]	3
تجربی [22]	4
تجربی [23]	5
تجربی [24]	6
تجربی [17]	7
تجربی [18]	8
تجربی [19]	9
$\Delta C = 3,5\beta^{3,5}\Delta\lambda$	10
نسبت قطر d/D	β
عامل اصطکاک	λ
تغییر در ضریب تخلیه .	ΔC

شکل ۱۱- اثر لوله زبر بر ضریب تخلیه

از فعالیت محاسباتی، اثر زبری بر ضریب تخلیه با استفاده از نقاط فشارسنجی D و $D/2$ حدود ۲۵٪ کمتر از اثر آن با استفاده از نقاط فشارسنجی گوشه است. ΔC با استفاده از نقاط فشارسنجی فلنج بین ΔC با استفاده از نقاط فشارسنجی گوشه و ΔC با استفاده از نقاط فشارسنجی D و $D/2$ قرار می‌گیرد.

در شارش پیچشی عدد رینولدز ثابت، افزایش زبری لوله بالادست، پیچش در کنتور شارش را کاهش می‌دهد. در موارد شدید، زبری می‌تواند قطر لوله و متعاقباً β را تغییر دهد. اطلاعات زیر (به مرجع [20] مراجعه شود) مربوط به چنین موردی است.

شکل ۱۲ مربوط به صفحه‌های اریفیس با نقاط فشارسنجی گوشه را نشان می‌دهد و تغییر ضریب تخلیه را برای لوله‌ها با زبری برابر با سطوح پوشیده نزدیک به برآمدگی‌های کروی ارائه می‌کند. این موارد با قطر متوسط mm ۶٫۳، قطر موثر لوله را دست کم تا mm ۶٫۳ کاهش می‌دهد. تغییرات نشان داده که از قطر لوله تمیز بزرگتر برای شارش می‌توان به کار برد (منحنی خط‌چین برای $\beta=0,71$ برای سطح ماسه‌ای (ذرات با قطر mm ۰٫۵ تا mm ۱٫۰) به کار می‌رود).



راهنما:

c درصد تغییر در ضریب تخلیه

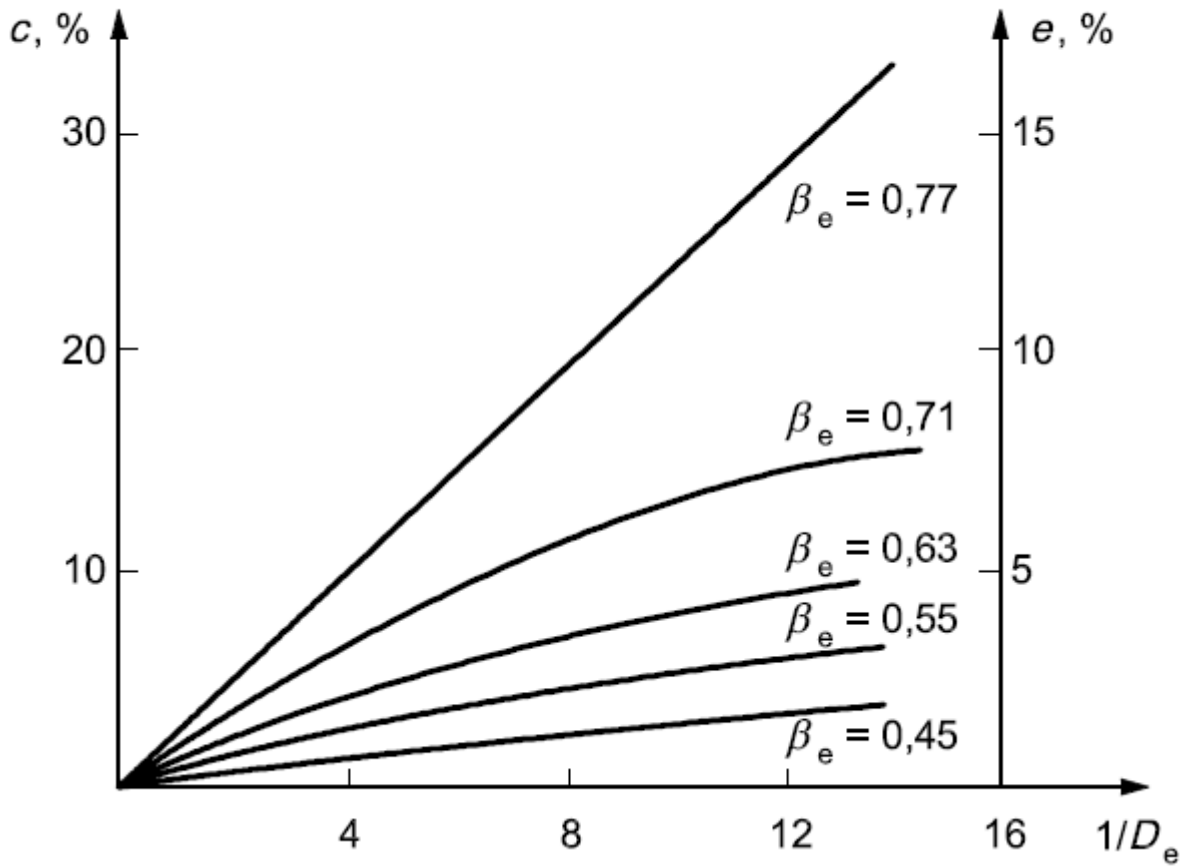
D قطر داخلی لوله بالادست، بر حسب m

e عدم قطعیت اضافی

شکل ۱۲- اثر ترکیبی زبری غیرعادی و کاهش در گمانه لوله

شکل ۱۳ تغییرات ضریب مبتنی بر شرایط لوله یکسان با موارد بالا، محاسبه شده و در قطر لوله موثر کوچکتر را نشان می‌دهد، که در آن $D_e (= D - 6,3\text{mm})$ ، β_e و $\beta_e = d/D_e$. تغییرات ناشی از ذرات ماسه با قطر تقریباً ۱mm، یک سوم موارد ارائه شده در شکل ۱۲ است.

اگر نیاز است اندازه‌گیری شارش در شرایط نامطلوب انجام شود، بهتر است ضرایب تخلیه اصلاح شده و ارائه شده در بالا، با عدم قطعیت اضافی نصف درصد تغییر ضریب تخلیه به کار برده شود.



راهنما:

c درصد تغییر در ضریب تخلیه

D_e قطر داخلی موثر لوله بالادست، بر حسب m

e عدم قطعیت اضافی

شکل ۱۳- اثر زبری غیرعادی بر صفحه‌های اریفیس

۳-۱۰ لوله پایین دست

حتی پوسته سخت مجاور سمت پایین دست صفحه اریفیس، اثر معنی داری بر ضریب تخلیه ندارد.

۴-۱۰ کاهش اثرهای زبری

آزمایش‌ها نشان داده‌اند که اگر طول بالادست نسبتاً کوتاه لوله مجاور صفحه اریفیس برای از بین بردن پوسته‌ها تمیز شود، خطا به طور معنی داری کاهش می‌یابد. جدول ۱۰ توصیه‌هایی درباره میزان چنین پاکسازی^۱ برای اندازه‌های لوله‌های مختلف، مقادیر β و انواع زبری را ارائه می‌دهد. برای لوله‌ها با قطر داخلی بیش از ۳۰۰ mm، لوله بالادست تمیز با قطرهای کمتر، ممکن است نیاز باشد.

۵-۱۰ نگه‌داری

بهتر است، در همه موارد اندازه‌گیری شارش با کنتورهای تفاضلی فشار، روال پاکسازی برای لوله، وسیله اولیه و نقاط فشارسنجی متناسب با شرایط خاص ایجاد شود. درجایی که درستی منطقی در اندازه‌گیری شارش سیالات کثیف لازم است، تجهیزات برای پاکسازی ساده لوله بالادست به میزان نمایش داده شده در جدول ۱۰ طراحی شوند.

جدول ۱۰-پیشنهادهای درباره میزان پاکسازی

میزان پاکسازی (بر حسب مضربی از D) خطاهای زبری به دست آمده که از مقادیر زیر بیشتر نیستند:					تغییر تقریبی در ضریب تخلیه بدون پاکسازی لوله	نوع زبری	β	قطر لوله ورودی بالادست <i>D, mm</i>
۰	$\pm 0.5\%$	$\pm 1\%$	$\pm 2\%$	$\pm 3\%$				
۲۰ <	۱۵ تا ۲۰	۵ تا ۱۵	۴ تا ۵	۳ تا ۴	۱۵٪ تا ۱۹٪	کره‌های ۷mm	۰.۵ تا ۰.۵۹	۷۶
۳۰ <	۲۵ تا ۳۰	۲۰ تا ۲۵	۱۰ تا ۲۰	۴ تا ۱۰	۴۰٪	کره‌های ماسه‌ای ۷mm	۰.۷۱	
۳۰ <	۲۵ تا ۳۰	۵ تا ۲۵	۳ تا ۵	۴ تا ۱۰	۷٪		۰.۷۱	
۲۰ <	۱۲ تا ۲۰	۵ تا ۱۲	۳ تا ۵		۴٪ تا ۸٪	کره‌های ۷mm	۰.۵ تا ۰.۵۹	۱۵۲
۳۰ <	۲۵ تا ۳۰	۱۵ تا ۲۵	۴ تا ۱۵	۲.۵ تا ۴	۱۷٪	کره‌های ماسه- ای ۷mm	۰.۷۱	
۳۰ <	۴ تا ۲۰	۳ تا ۴	۱ تا ۳		۴٪		۰.۷۱	
۱۵ <	۶ تا ۱۵	۴ تا ۶			۸٪	کره‌های ماسه- ای ۷mm	۰.۷۱	۳۰۵
۵ <	۳ تا ۵	۱ تا ۳	۲.۵ تا ۴		۲٪		۰.۷۱	

1- cleaning

کتابنامه

- [1] HOBBS, J.M. and HUMPHREYS, J.S. The effect of orifice plate geometry upon discharge coefficient. *Flow Meas. Instrum.*, 1990, 1(3), pp. 133-140
- [2] HUSAIN, Z.D. and TEYSSADIER, R.G. The effects of plate thickness and bevel angle in a 150 mm line size orifice meter. In: Kinghorn, F.C., Gibson, E.E., editors. *Flow measurement in the mind 80's: international conference: Papers*, Paper 5.1, National Engineering Laboratory, Glasgow, 1986
- [3] MARTIN, C.N.B. Effects of upstream bends and valves on orifice plate pressure distributions and discharge coefficients. National Engineering Laboratory, Glasgow, 1986. 50 p. (NEL Report 702)
- [4] STUDZINSKI, W., KARINK, U., LANASA, P., MORROW, T., GOODSON, D., HUSAIN, Z. and GALLAGHER, J. White paper on "orifice meter installation configurations with and without flow conditioners". American Petroleum Institute, Washington, DC, 1997. 252 p. (Available as GRI Report 99/0262 from Gas Technology Institute, Des Plaines, IL, USA)
- [5] STUDZINSKI, W., WEISS, M., ATTIA, J. and GEERLIGS, J. Effect of reducers, expanders, a gate valve, and two elbows in perpendicular planes on orifice meter performance in: *Flow measurement 2001: Creating efficiency across Industry sectors*, International conference, Peebles, UK, May 2001, paper 3.1. national Engineering Laboratory, Glasgow, 2001
- [6] WEISS, M., STUDZINSKI, W. and ATTIA, J. Performance evaluation of orifice meter standards for selected T-junction and elbow installations. In: *Proceedings of the 5th international Symposium on Fluid Flow Measurement*, paper 5.1. Washington, DC, April 2002
- [7] JEPSON, P. and CHIPCHASE, R. The effect of plate buckling on orifice meter accuracy, *J. Mech. Eng. Sci.* 1975, 17(6)
- [8] NORMAN, R., RAWAT, M.s. and JEPSON, P. Buckling and eccentricity effects on orifice metering accuracy, in: *Proceedings of the 1983 International gas Research Conference*, London, UK, 13-6 June 1983, A22-83, 1983
- [9] NORMAN, R., RAWAT, M.S. and JEPSON, P. An experimental investigation into the effects of plate eccentricity and elastic deformation on orifice meter accuracy. In: Spencer, E.A., editor. *Proceedings of the International Conference on the Metering of Natural Gas and Liquefied Hydrocarbon Gasses*, London, UK, 1-2 February 1984, paper 3.3. Oyez, London, 1984

- [10] ISO/TR 9464: 1998, Guidelines for the use of ISO 5167-1:1991
- [11] ISO/TS 15510, Stainless steels – Chemical composition
- [12] PRITCHARD, M., NIAZI, A. and MARSHALL., D. Assessment of the effect of contamination on orifice plates. In: Proceedings of the 11th Flomeko Conference on Flow Measurement of Gas and Liquid, Groningen, 12-4 May 2003, paper 6.2. Gasunie Research, Groningen, 2003 (on CD-ROM)
- [13] PRITCHARD, M., MARSHALL, D. and WILSON, J. An assessment of the impact of contamination on orifice plate metering accuracy. In : Proceedings of the 22nd North Sea Flow Measurement Workshop, St Andrews, UK, 26-9 October 2004, paper 2.2. National Engineering Laboratory, Glasgow, 2004 (on CD-ROM)
- [14] HUTTON. S.P. The prediction of Venturi meter coefficients and their variation with roughness and age. Inst. Civil Eng. Proc. 1954, 3, pp. 216-241; 922-927
- [15] SCHLICHTING, H. Boundary layer theory, 4th edition. McGraw-Hill, New York, NY, 1960, 647 p.
- [16] READER-HARRIS, M.J. Pipe roughness and Reynolds number limits for the orifice plate discharge coefficient equation, in: Proceedings of the 2nd international Symposium on Fluid Flow Measurement, Calgary, AB, Canada, 6-9 June 1990, pp. 29-43. American Gas Association, Arlington, VA, 1990
- [17] BEAN, H.S. and MURDOCK, J.W. Effects of pipe roughness on orifice meter accuracy, Report of Supervising Committee on two-inch tests. American Gas Association, New York, NY, 1959 (American Gas Association Research Project NW-20)
- [18] BRENNAN, J.A., MCFADDIN, S.E., SINDT, C.F. and WILSON, R.R. Effect of pipe roughness on orifice flow measurement. National Institute of Standard and Technology, Boulder, CO, 1989 (NIST Technical Note 1329)
- [19] STUDZINSKI, W., BREG, D., BELL, D. and KARWACKI, L. Effect of meter run roughness on orifice meter accuracy. In: Proceedings of the 2nd international Symposium on Fluid Flow Measurement, Calgary, AB, Canada, 6-9 June 1990, pp. 1-15. American Gas Association, Arlington, VA, 1990
- [20] CLARK, W.J. and STEPHENS, R.C. Flow measurement by square edged orifice plates : pipe roughness effects. Proc. Inst. Mech. Eng. 1957, 171(33), pp. 895-904

- [21] HERNING, F, and LUGT, H. Neue Versuche mit Segmentblenden und Normblenden [New research with segmental diaphragms and standard orifices]. Brennst. – Wärme - Kraft, 1958, 10(5), pp. 219-223
- [22] SPENCER, E.A., CALAME, H. and SINGER, J, Edge sharpness and pipe roughness effects on orifice plate discharge coefficients. National Engineering laboratory, Glasgow, 1969 (NEL Report No 427)
- [23] THIBESSARD, G. Le coefficient de debit des diaphragms, la rugosite et le nombre de Reynolds [Diaphragm discharge coefficient, roughness and Reynolds number]. Chaleur Indust. 415, pp. 33-50, 1960.
- [24] WITTE, R. Neue Beitrage zur internationalen Normung auf dem Gebiete der Durchflubmessung [New contributions to international standardization in the flow measurement field]. Brennst. – Wärme- Kraft, 1953, 5(6), pp. 185-190
- [25] AKASHI, K., WATANABE, H. and KGA, K. Development of a new rectifier for shortening upstream pipe length of flow meter, in: Yamasaki, H., editor. Proceedings of the Imeko Symposium on Flow Measurement and Control Enginners, Tokyo, 1979
- [26] BEAN, H.S. Indications of an orifice meter. Am. Gas Assoc. Month., Jul-Aug 1947, pp. 337-341, 349
- [27] BEITLER, S.R. The flow of fluids through orifices in 6 inch pipeines. Trans. Am. Soc. Mech. Eng., 1929, 52, p.751
- [28] BLAKE, K.A. The design of piezometer rings. J. Fluid Mech., 1979, 78, pp. 415-428
- [29] BRAIN, T.J.S and REID, J. Measurement of orifice plate edge sharpness, Meas. Control, 1973, 6, pp. 377-384
- [30] CLARK, W.J. Flow measurement by square-edged orifice plate using corner tappings, Pergamon, Oxford, 1965. 226 p.
- [31] DALL, H.E. The effect of roughness of the orifice plate on the discharge coefficient. Instrum. Eng., Apr 1958, 2(5), pp. 91-92
- [32] GALLAGHER, J.E. and LANASA, P.J. Field performance of the Gallagher flow conditioner. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Fluid Flow Measurement, San Antonio, TX, 1995, section: Flow Conditioning II; paper: 2

- [33] GALLAGHEER, J.E., LANASA, P.J. and BEATY, R.E. The Gallagher flow conditioner. In: North sea flow Measurement workshop: papers and programme, Peebles, UK, October 1994, paper 2.4. National Engineering laboratory, Glasgow
- [34] HERNING, F. and WOLWSKI, E. Die Kantensuscharfe von Normblenden und Segmentblenden und das Ahnlichkeitsgesetz [The edge sharpness of standard and segment orifices and the laws similarity]. Brennst- Wärme- Kraft, 1993, 15(1), pp. 26-30
- [35] IRVING, S.J. Effect of system layout of the discharge coefficients of orifice plates, part II [British Hydromechanics research Association (BHRA) Report RR 1424, 1977]; Part III (BHRA Report RR 1462, 1978)
- [36] JENNER, S.R. An Investigation of the influence of upstream fittings on the accuracy of flow measurement using orifice plates. Hatfield Polytechnic, B.Sc. (Eng). Project Report, 1977
- [37] JEPSON, P. and CHAMBERLAIN, D. Operating high pressure orifice metering installations, Flow-con 77. Proceedings of a Symposium on the application of flow measuring techniques, Brighton, UK, April 1977. Institute of measurement and control, Gatton and Kent Sections.
- [38] KRETZSCHMER, F. and WALZHOLZ, G. [Experiments on installation faults of standard orifice plates.] Forschung, 1934, 5(1), pp. 25-35
- [39] LAKE, W.T. and REID, J. Optimal flow conditioner. In : Proceedings of the 10th North sea Flow Measurement Workshop, Peebles, UK, 1992, paper 1.3. National Engineering Laboratory, Glasgow
- [40] LAWS, E.M. Flow conditioning - A new development Flow Meas. Instrum, 1990, 1, pp. 167-170
- [41] LAWS, E.M. and OUAZZANE, A.K. Flow conditioning for orifice plate flow meters. In: Proceedings of the 3rd International Conference on Fluid Flow Measurement, San Antonio, TX, 1995, section: Flow Conditioning I; paper: 3
- [42] MCVEIGH, J.C. Further investigations into the effects of roughness of the orifice plate on the discharge coefficient. Instrum. Eng., 1962, 3(5), pp. 112-113
- [43] MASON, D. and WILSON, M.P. JR. Measurement error due to the bending of orifice plates, ASME paper No. 75-WA/FM-6, 1975

- [44] MILLER, R.W. and KNEISEL, O. Experimental study of the effects of orifice plate eccentricity on flow coefficients. Trans Am. Soc. Mech Eng Ser. D: J. Basic Eng., 1969, 91(1), pp. 121-131
- [45] NAGASHIO, K. and KOMIYA K. Effect o upstream straight length on orifice flow meters. Report of the National Research Laboratory of Metrology, 21-1, Japan, 1972
- [46] NAGEL, P. and JAUMOTTE, A. Etude experimental de l'influence de singlarites sur le coefficient de debit d'un diaphragm normalize [influence of disturbances on the coefficients of a standardized orifice plate]. Promoclim A: Appl. Therm. Aeraul., 1976, 7(1), pp. 57-84
- [47] ORSI, E. Influence of special parts on the operation of standardized diaphragms. L'Energica Elettrica NI, Italy, 1978
- [48] READER-HARRIS, M.J. The effect of pipe roughness on orifice plate discharge coefficients, National Engineering Laboratory, Glasgow, 1990 (Progress Report No. 9.). Also Available as Report EUR 13763, Commission of the European Communities, Brussels, 1991 (negative microfiche)
- [49] READER-HARRIS, M.J. Computation of flow through orifice plates. In: Taylor, C., Gresho, P., Sanl, R.I., Hauser, J., editors. Numerical methods in laminar and turbulent flow, volume 6, Proceedings of the 6th international conference on Numerical methods in Laminar and Turbulent Flow, Swansea, Part 2, pp. 1907-1917, Pineridge, Swansea, 1989
- [50] READER-HARRIS, M.J., SATTARY, J.A. and SPEARMAN, E.P. The orifice plate discharge coefficient equation, National Engineering Laboratory Executive Agency. Glasgow, 1992 (Progress Report No. 14)
- [51] READER-HARRIS, M.J. SATTARY, J.A. and WOODHEAD, E. The use of flow conditioners to improve flow measurement accuracy downstream of headers, in: Proceedings of the 3rd international conference on fluid flow measurement, San Antonio, TX, 1995, Section : Flow Conditioning II; Paper: 3
- [52] ROARK, R.J. and YOUNG, W.C. Formulas for stress and strain, 5th edition, McGraw Hill, New York, NY, 1975. 624 p.
- [53] WEST, R.G. Developments in flow metering by means of orifice plates. In: Flow measurement in closed conduits, Glasgow, UK, 27-30 September 1960, Paper B-3, HMSO, Edinburgh, 1962

[54] WILCOX, P.L., WEBERG, T. and ERDAL, A. Short gas metering systems using K-Lab flow conditioners. In: Proceedings of the 8th North sea Flow Measurement workshop, 1990

[55] READER-HARRIS, M.J. and SATTARY, J.A. The orifice plate discharge coefficient equation - The equation for ISO 5167-1. In: Proceedings of the 14th North Sea Flow Measurement Workshop, Peebles, UK, October 1996, paper 24. National Engineering Laboratory, Glasgow, 1998

[56] HERNING, F. Untersuchungen zum Problem der Kantenunschärfe bei Normblenden und bei Segmentblenden [Experiments on the problem of the edge sharpness of standard and segmental orifice plates]. Brennst- warme - Kraft, 1962, 14(3), pp. 119-126

[57] CROCKET, K.A. and Upp, E.L. The measurement and effects of edge sharpness on the flow coefficients of standard orifice. Trans. ASME J. Fluids Eng., Paper No 72-WA/FM-4, 1972 (June 1973, pp. 271-275)

[58] BENEDICT, R.P., WYLER, J.S. and BRANDT, G.B. the effect of edge sharpness on the discharge coefficient of an orifice. Trans. ASME J. Eng. Power, Paper No 74-WA/FM-4, 1974