

بررسی میزان دقت اندازه‌گیری دبی آب خنک کن استاتور ژنراتور نیروگاه

مجید مرادی باستانی، کارشناس مکانیک امور مهندسی (m2_bastani@yahoo.com)

یونس گودرزی، رییس اداره کالیبراسیون (younespost@yahoo.com)

شرکت مدیریت تولید برق شازند اراک

چکیده

دبی سیالات عبوری از داخل لوله‌ها توسط تجهیزات مختلفی قابل اندازه‌گیری می‌باشد. از جمله این تجهیزات اریفیس‌ها می‌باشند که در صنایع مختلف صنعتی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. اساس کار دبی سنج‌های اریفیس‌ی ایجاد اختلاف فشار سیال قبل و بعد از اریفیس می‌باشد که با استفاده از آن در رابطه برنولی و اعمال ضریب تخلیه، می‌توان دبی واقعی سیال را محاسبه کرد. در این تحقیق ضریب تخلیه دبی سنج اریفیس‌ی موجود در مسیر آب خنک کاری شینه‌های استاتور ژنراتور نیروگاه مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور با نصب تست گیج فشار دیجیتال در دو طرف اریفیس، میزان افت فشار آب در دبی‌های مختلف اندازه‌گیری شده است. میزان دبی آب نیز از DCS نیروگاه قرائت می‌شود. سپس با استفاده از روابط حاکم بر جریان سیال، ضریب تخلیه اریفیس در دبی‌های مختلف به دست آورده شده است. در نهایت ضریب تخلیه به دست آمده از تست واقعی اریفیس در دبی‌های مختلف با ضریب تخلیه موجود در استانداردهای ISO 5167 و ASME دیگر مقایسه شده است. مشاهده می‌شود که این دبی سنج در دبی‌های پایین آب (اعداد رینولدز پایین) دقت مناسبی نداشته ولی در دبی‌های بالاتر دقت قابل قبولی در اندازه‌گیری دبی آب دارد.

واژه‌های کلیدی: دبی‌سنج اریفیس‌ی، افت فشار، ضریب تخلیه، عدد رینولدز.

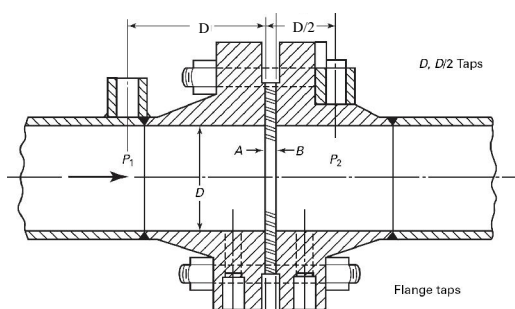
۱. مقدمه

استفاده از روابط تجربی و داده‌های آزمایشگاهی به دست می‌آیند. در آزمایشگاه شرایط جریان کاملاً تحت کنترل بوده و جریان در بالادست به صورت کاملاً توسعه یافته می‌باشد. پس از نصب اریفیس در محل مورد استفاده، شرایط کارکرد آن نسبت به شرایط آزمایشگاهی تغییر می‌کند. بنابراین با تغییر مشخصه‌های میدان جریان، ضریب تخلیه نیز تغییر خواهد کرد [1]. جوهانسن [2] ضریب تخلیه آب عبوری از یک اریفیس مدور لبه تیز را برای اعداد رینولدز مختلف و نسبت قطرهای مختلف (β) از ۰.۲ تا ۰.۸ با ثابت در نظر گرفتن ضخامت صفحه اریفیس مورد بررسی قرار داد. تیو و اسپرنکل [3] با انجام بیش از ۵۰۰ آزمایش جریان عبوری

روش‌های مختلفی برای اندازه‌گیری دبی سیال درون لوله‌ها وجود دارد. اندازه‌گیری دبی به روش اختلاف فشار روشی است که دارای بیشترین کاربرد در صنعت می‌باشد. اریفیس‌ها یکی از وسایل اندازه‌گیری دبی سیال به روش اختلاف فشار است که به خاطر مزایایی مانند سادگی، ارزان بودن و انعطاف پذیری دارای کاربرد وسیعی در صنایع مختلف می‌باشد. اساس کار دبی سنج‌های اریفیس‌ی اندازه‌گیری اختلاف فشار ایجادشده در دو طرف آن بواسطه حرکت سیال از درون آن می‌باشد. یکی از نکات مهم در طراحی اریفیس‌ها دانستن ضریب تخلیه مربوط به آن می‌باشد. ضریب تخلیه اریفیس با

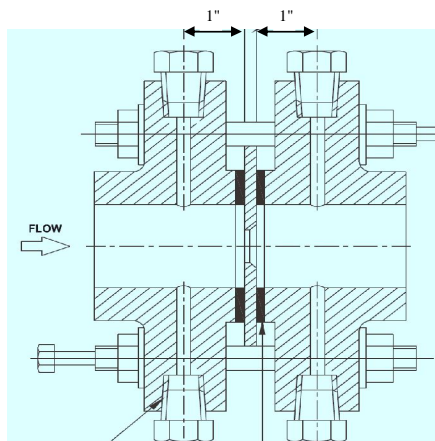
بنابراین اریفیس‌ها با قرار گرفتن بین دو فلنج متصل به دو سر لوله، درون لوله نصب می‌شوند. فلنج نگه دارنده اریفیس بر اساس چگونگی برداشت نمونه فشار از دو طرف آن به انواع مختلفی تقسیم می‌شوند که مهمترین آنها طبق استانداردهای ISO 5167 و ASME به سه صورت زیر است:

الف) نوع D-D/2 Tapping: در این نوع فلنج نمونه فشار در فاصله‌ای برابر قطر لوله در بالادست جریان و فاصله‌ای برابر نصف قطر لوله در پایین دست جریان برداشته می‌شود. شکل (۲) نمونه‌ای از نصب این نوع فلنج را نشان می‌دهد.



شکل ۲: فلنج نصب اریفیس از نوع D-D/2 Tapping

ب) نوع Flange Tapping: در این نوع فلنج نمونه فشار در فاصله‌ای برابر یک اینچ (۲۵.۴ میلی‌متر) از بالادست و پایین دست جریان برداشته می‌شود. شکل (۳) نمونه‌ای از نصب این نوع فلنج را نشان می‌دهد.



شکل ۳: فلنج نصب اریفیس از نوع Flange Tapping

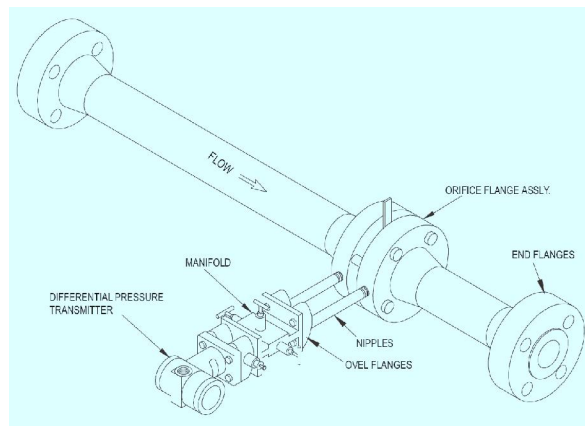
ج) نوع Corner Tapping: در این نوع فلنج نمونه فشار از داخل دو رینگ نگه دارنده متصل به اریفیس در بالادست و پایین دست جریان برداشته می‌شود. شکل (۴) نمونه‌ای از نصب این نوع فلنج را نشان می‌دهد.

سیالات مختلفی مانند آب، روغن سنگین، روغن سبک، روغن پارافین را از هشت نوع اریفیس با جنس‌ها، نسبت قطر‌ها و اعداد رینولدز متفاوت مورد بررسی قرار دادند. آنها نسبت قطرهای بهینه اریفیس و اعداد رینولدز مناسب را برای کارکرد بهتر آن پیشنهاد داده و نتایج خود را با ویت [4] و هادگسون [5] مقایسه نمودند.

در تحقیق حاضر به منظور محاسبه ضریب تخلیه اریفیس موجود در مسیر آب خنک کاری استاتور ژنراتور نیروگاه، اختلاف فشار ایجاد شده در دو طرف آن در دبی‌های مختلف به صورت عملی اندازه‌گیری شده است. با معلوم بودن افت فشار اریفیس و استفاده از آن در روابط حاکم بر جریان ضریب تخلیه اریفیس به دست می‌آید. در نهایت ضریب تخلیه محاسبه شده با ضریب تخلیه اریفیس‌های استاندارد موجود در استاندارد ISO 5167 [6] و ASME [7] مقایسه شده است.

۲. محل و روش نصب اریفیس

شینه‌های مسی استاتور ژنراتور نیروگاه حرارتی سازند توسط آب خنک کاری می‌شوند. فشار آب توسط پمپ تا حدود ۶ بار افزایش یافته و آب پس از عبور از مبدلهای حرارتی با فشاری در حدود ۲.۵ بار و دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد وارد شینه‌های استاتور می‌شود. دبی آب که در شرایط بار کامل واحد بین ۶۰ تا ۶۵ متر مکعب بر ساعت است، توسط یک دبی سنج اریفیس‌ی نمایش داده می‌شود. در این دبی‌سنج اختلاف فشار ایجاد شده در دو طرف اریفیس در یک ترانسمیتر اختلاف فشار به آمپر تبدیل شده (4-20 mA) و بر اساس آن مقدار دبی در DCS نیروگاه نمایش داده می‌شود. در شکل (۱) طریقه نصب اریفیس به صورت شماتیک نشان داده شده است.



شکل ۱: شماتیک نصب اریفیس در یک خط لوله

۳. روش محاسبه ضریب تخلیه

برای محاسبه ضریب تخلیه اریفیس ابتدا بایستی میزان افت فشار واقعی آب در دو طرف آن در دبی های مختلف اندازه گیری شود. به این منظور دو عدد تست گیج فشار دیجیتالی کالیبره شده در دو سر ترانسمیتر اختلاف فشار دبی سنج (شکل (۷)) نصب گردید.



شکل ۷: ترانسمیتر اختلاف فشار دبی سنج اریفیس

ضریب تخلیه اریفیس به صورت زیر تعریف می گردد:

$$C_d = Q_a / Q_t \quad (1)$$

در رابطه فوق Q_a دبی حجمی واقعی و Q_t دبی حجمی تئوری است. بر اساس رابطه برنولی و بدون در نظر گرفتن افتهای اصطکاکی داخل لوله به صورت زیر بدست می آید:

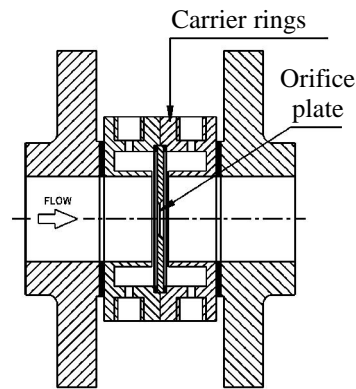
$$Q_t = A_1 \sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho ((A_1 / A_2)^2 - 1)} \quad (2)$$

در رابطه فوق P فشار، ρ چگالی و A سطح مقطع جریان می باشد. اندیس ۱ و ۲ به ترتیب موقعیت مقطع لوله و دهانه اریفیس را نشان می دهند.

لازم به ذکر است در اریفیسها نسبت قطرها (β) به صورت زیر تعریف می شود:

$$\beta = d / D \quad (3)$$

بنابراین رابطه (۱) را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

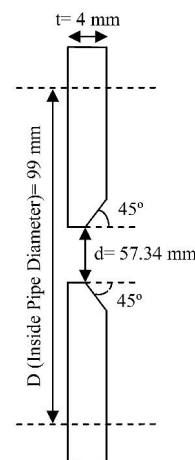


شکل ۴: فلنج نصب اریفیس از نوع Corner Tapping

اریفیس دبی سنج آب خنک کن استاتور ژنراتور نیروگاه توسط دو رینگ نگه دارنده (Carrier rings) در یک لوله افقی استنلس استیل به قطر داخلی ۹۹ میلی متر مطابق شکل (۵) نصب شده است. در شکل (۶) نیز مشخصات هندسی اریفیس نشان داده شده است.



شکل ۵: طریقه نصب اریفیس دبی سنج در نیروگاه



شکل ۶: مشخصات هندسی اریفیس دبی سنج

در روابط فوق β نسبت قطرها و Re_D عدد رینولدز جریان بر اساس قطر لوله می باشد که به صورت زیر تعریف می شود:

$$Re_D = \rho V D / \mu \quad (7)$$

در رابطه فوق D قطر لوله، V سرعت، ρ چگالی و μ لزجت دینامیکی آب می باشد.

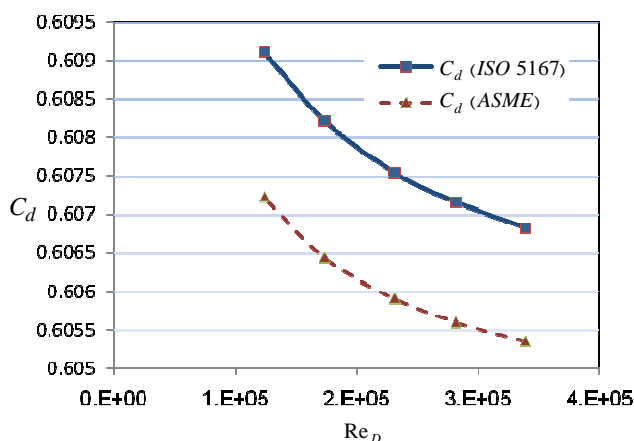
در جدول (۲) ضریب تخلیه محاسبه شده اریفیس برای فلنج از نوع Corner Tapping با استفاده از دو استاندارد ISO 5167 و ASME با یکدیگر مقایسه شده است. در انجام این محاسبات برای به دست آوردن سرعت آب درون لوله از همان دبی های واقعی موجود در جدول (۱) استفاده شده است.

جدول ۲: مقایسه ضریب تخلیه محاسبه شده اریفیس با استفاده از

استانداردهای ISO 5167 و ASME

ضریب تخلیه بر اساس ASME	ضریب تخلیه بر اساس ISO 5167	عدد رینولدز (Re)	دبی واقعی (T/Hr)
۰.۶۰۵۳۴۴۷۵	۰.۶۰۶۸۱۷۶	۳.۴×10^5	۶۲
۰.۶۰۵۵۹۳۳۲	۰.۶۰۷۱۴۸۱۹	۲.۸۲×10^5	۵۱.۵
۰.۶۰۵۵۸۹۷۶	۰.۶۰۷۵۲۸۸۹	۲.۳۱۶×10^5	۴۲.۳
۰.۶۰۶۴۳۳۳	۰.۶۰۸۲۰۵۵۶	۱.۷۳۶×10^5	۳۱.۷
۰.۶۰۷۲۱۶۹۵	۰.۶۰۹۰۹۶۸۷	۱.۲۴۲×10^5	۲۲.۷

در شکل (۸) نمودار مربوط به جدول (۲) نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در هر دو این استانداردها با افزایش عدد رینولدز ضریب تخلیه اریفیس کاهش می یابد. همچنین استاندارد ISO 5167 تخمین بالاتری از ضریب تخلیه اریفیس نسبت به استاندارد ASME دارد. البته این اختلاف مقدار بسیار ناچیزی می باشد.



شکل ۸: نمودار مقایسه ضریب تخلیه محاسبه شده اریفیس با استفاده از استانداردهای ISO 5167 و ASME

$$C_d = Q_a / Q_t = Q_a / \left(A_2 \sqrt{2(P_1 - P_2) / \rho (1 - \beta^4)} \right) \quad (4)$$

لازم به ذکر است در محاسبه ضریب تخلیه اریفیس، میزان دبی حجمی واقعی آب (Q_a) عدد نمایش داده شده در DCS نیروگاه در نظر گرفته می شود. همچنین چگالی آب نیز در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد محاسبه می شود.

در جدول (۱) ضریب تخلیه محاسبه شده اریفیس از طریق رابطه (۴) برای پنج دبی مختلف آب نشان داده شده است.

جدول ۱: ضریب تخلیه محاسبه شده اریفیس با استفاده از رابطه (۴)

ضریب تخلیه (C_d)	افت فشار (Kpa)	دبی واقعی (T/Hr)
۰.۶۳۱۰۹۶۸	۵۰	۶۲
۰.۶۰۱۳۱۸۷	۳۸	۵۱.۵
۰.۶۴۹۱۱۰۶	۲۲	۴۲.۳
۰.۷۲۱۵۲۰۳	۱۰	۳۱.۷
۰.۸۱۶۹۳۰۶	۴	۲۲.۷

لازم به ذکر است با توجه به اینکه دبی حجمی تئوری همیشه بزرگتر از دبی حجمی واقعی است، لذا ضریب تخلیه اریفیس بایستی عددی بین صفر تا یک باشد.

برای بررسی صحت نتایج به دست آمده، می توان ضریب تخلیه اریفیس را با استفاده از روابط موجود در استانداردها نیز به دست آورد. در استاندارد ISO 5167 [6] رابطه زیر برای محاسبه ضریب تخلیه اریفیس با فلنج از نوع Corner Tapping پیشنهاد شده است:

$$C_d = 0.5961 + 0.0261\beta^2 - 0.216\beta^8 + 0.000521 \left(\frac{\beta \times 10^6}{Re_D} \right)^{0.7} + \left(0.0188 + 0.0063 \left(\frac{19000\beta}{Re_D} \right)^{0.8} \right) \beta^{3.5} \left(\frac{10^6}{Re_D} \right)^{0.3} \quad (5)$$

استاندارد ASME [7] نیز رابطه ای را به صورت زیر برای محاسبه ضریب تخلیه اریفیس با فلنج از نوع Corner Tapping پیشنهاد داده است:

$$C_d = 0.5959 + 0.0321\beta^{2.1} - 0.1840\beta^8 + \frac{91.71\beta^{2.5}}{Re_D^{0.75}} \quad (6)$$

این دبی سنج در دبی‌های پایین آب مقدار دبی را بیش از مقدار استاندارد آن نشان می‌دهد. این بدان معنی است که اعداد نمایش داده شده در DCS نیروگاه در دبی‌های پایین آب عدد درستی نشان نمی‌دهد.

همچنین می‌توان دریافت که در حالت کلی با کاهش دبی آب (کاهش عدد رینولدز) ضریب تخلیه اریفیس افزایش می‌یابد.

۵. مراجع

[1] Tunay Tural, Investigation of the Effects of Different Numerical Methods on the Solution of the Orifice Flow, Çukurova University Journal of the Faculty of Engineering and Architecture, 27(1), pp. 39-51, June 2012.

[2] Johansen, F. C., Flow through Pipe Orifices at Low Reynolds Numbers, Proc R Soc, 126 (Series A), 231, 1930.

[3] Tuve, G. L. and Sprengle, R. E., Orifice Discharge Coefficients for Viscous Liquids, Instruments, Vol. 6(1), pp 210-206, 1933.

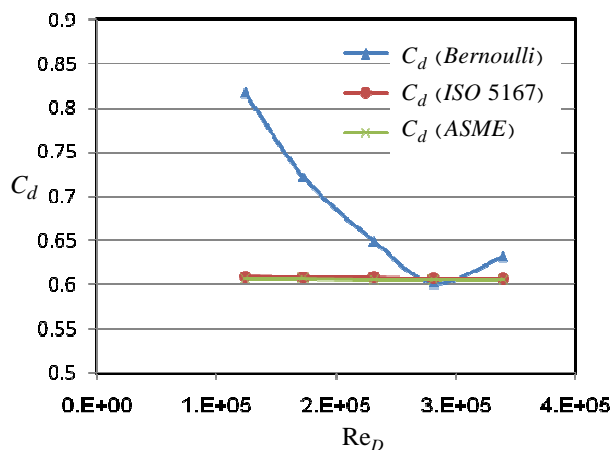
[4] Witte, R., Flow Constants of the I. G. Measuring Devices for Water, Oil, Gas, and Steam, Zeitschrift V. D. I., pp 1493-1502, 1928.

[5] Hodgson, J. L., The Laws of Similarity of Orifice and Nozzle Flows," ASME Transactions, Vol. 51, pp 303-332, 1929.

[6] International Standard Organization, Measurement of fluid flow by means of pressure differential devices inserted in circular cross-section conduits running full- Part2: Orifice Plates, (ISO 5167-2:2003).

[7] American Society of Mechanical Engineers, Performance Test Codes, Flow Measurement, Section 4-orifice meters, ASME PTC 19.5-2004.

در شکل (۹) نمودار مقایسه ضریب تخلیه محاسبه شده اریفیس با استفاده از رابطه برنولی (رابطه (۴)) و دو استاندارد ISO 5167 و ASME آورده شده است.



شکل ۹: نمودار مقایسه ضریب تخلیه محاسبه شده اریفیس با استفاده از رابطه برنولی و استانداردهای ISO 5167 و ASME

همانطور که از نمودار فوق مشاهده می‌شود ضریب تخلیه محاسبه شده از رابطه برنولی تنها در دبی آب ۵۱.۵ تن بر ساعت تطابق خوبی با ضریب تخلیه حاصل از استانداردها دارد. با کاهش عدد رینولدز (کاهش دبی آب) ضریب تخلیه اریفیس به صورت ناگهانی و با اختلاف زیادی از نتایج حاصل از استانداردها افزایش می‌یابد. این بدان معنی است که اریفیس مورد مطالعه در دبی‌های پایین آب دقت خوبی نداشته و میزان دبی را بیشتر از مقدار استاندارد آن نشان می‌دهد. البته این نتیجه منوط به این است که میزان افت فشار اندازه‌گیری شده صحیح باشد.

لازم به ذکر است به دلیل اینکه در دبی‌های آب بالای ۵۱.۵ تن بر ساعت اطلاعات کافی برداشت نشده است، نمی‌توان اظهار نظر قطعی در مورد آن داشت.

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق میزان دقت اندازه‌گیری دبی آب خنک کن استاتور ژنراتور نیروگاه مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور اختلاف فشار واقعی ایجاد شده در دو طرف اریفیس در دبی‌های مختلف به صورت واقعی اندازه‌گیری شد و با استفاده از آن در روابط برنولی ضریب تخلیه اریفیس در دبی‌های مختلف به دست آمد. با مقایسه این ضریب تخلیه با ضریب تخلیه حاصل از استانداردهای ISO 5167 و ASME می‌توان دریافت چنانچه اختلاف فشار اندازه‌گیری شده درست باشد،