

تعیین هوادهی کولر آبی برمبنای سنجش میزان آب مصرفی

محمدحسین مصباحی

عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

mesbahi@srttu.edu

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۷/۳۰

چکیده

معمولاً میزان هوادهی کولرهای آبی برحسب فوت مکعب بر دقیقه محاسبه می‌شود و سازندگان کولر، میزان هوادهی محصول تولیدی را روی پلاک مشخصات آن حک و به بدنه نصب می‌کنند. این در حالی است که در آزمایشگاه‌های استاندارد، هوادهی کولر اندازه‌گیری و بدین طریق ادعای سازنده ارزیابی می‌شود. روش مرسوم در تعیین هوادهی کولر آبی، تعیین سرعت متوسط هوا در کانال است. چنانچه این سرعت در سطح مقطع کانال ضرب شود، هوادهی کولر به دست می‌آید. این مقاله در پی ارائه روشی نو برای تعیین هوادهی کولر است. اساس کار برمبنای رابطه‌ای است که بین هوادهی کولر و میزان آب مصرفی برقرار می‌شود. بدین صورت که اگر دور کولر، از کند به تند تغییر کند، آب مصرفی نیز افزایش می‌یابد و بدین ترتیب از روی سنجش میزان آب مصرفی، هوادهی کولر تعیین می‌شود.

واژگان کلیدی: کولر آبی، خنک‌کاری تبخیری، سنجش هوادهی، دمای تر و خشک، منحنی سایکرومتریک

۱. مقدمه

فاصله ۲۵۶۰ میلی‌متری بالادست لوله پیتو، مستقیم‌کننده جریان^۲ وجود دارد که مطابق شکل ۲ یک شبکه مربعی، به صول ضلع حدود ۴ سانتی‌متر، است و کل مقطع کانال را می‌پوشاند.

۲. اندازه‌گیری سرعت هوا

چون سرعت در نقاط مختلف کانال یکسان نیست، مطابق شکل‌های ۳ و ۴ در ۲۴ نقطه از مقطع کانال، فشار سرعتی محاسبه می‌شود. با استفاده از روابط ۱ و ۲ داریم:

تعیین میزان هوادهی انواع کولرهای آبی برمبنای استاندارد اشری^۱ انجام می‌شود [۱]. مطابق این استاندارد، ابتدا کولر را به کانال هوایی مطابق شکل ۱ متصل می‌کنند و پس از آن، هوا از سمت چپ وارد کانال می‌شود. طول کانال برابر با ۵۱۲۰ و قطر آن برابر با ۵۱۲ میلی‌متر است. مقطع اندازه‌گیری سرعت هوا، که لوله پیتو نصب می‌شود، در ۴۳۵۰ میلی‌متری ورودی کانال قرار گرفته است. دو سر خروجی لوله پیتو به یک مانومتر شیبدار متصل است که از روی آن می‌توان فشار سرعتی سیال را قرائت کرد. در



$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w}{\omega_2 - \omega_1} \quad (4)$$

در رابطه ۴، \dot{m}_a دبی جرمی هوای عبوری از کولر برحسب کیلوگرم بر ثانیه، \dot{m}_w دبی جرمی آب مصرفی توسط کولر که از روی پوشال‌ها تبخیر می‌شود و ω_1 و ω_2 به ترتیب رطوبت مطلق هوای ورودی و خروجی است. چون ω_1 و ω_2 با معلوم بودن دمای تر و خشک ورودی و خروجی، به کمک منحنی سایکرومتریک به دست می‌آید، مطابق رابطه ۴ چنانچه \dot{m}_w معلوم باشد، می‌توان مقدار \dot{m}_a را به دست آورد و طبق رابطه ۵ هوادهی کولر را به دست آورد.

$$\dot{m}_a = \rho q \quad (5)$$

در رابطه ۵، ρ برحسب کیلوگرم بر متر مکعب و q برحسب متر مکعب بر ثانیه است. اگر q در عدد ۲۱۱۸ ضرب شود، میزان هوادهی برحسب فوت مکعب بر دقیقه به دست خواهد آمد. دقت این روش به دقت اندازه‌گیری \dot{m}_w بستگی دارد؛ زیرا ω_1 و ω_2 را به کمک سنجش دماهای تر و خشک ورودی و خروجی می‌توان به دست آورد. برای سنجش \dot{m}_w روش‌های متنوع آزمایش و در نهایت روش زیر به دو دلیل دقت بالا و تکرارپذیری انتخاب شد.

در این روش ابتدا کولری، که مطابق شکل ۶ به نیروسنج^۳ متصل است، توسط سیستم بالابر دستی معلق می‌شود. آب ورودی قطع و اجازه داده می‌شود کولر مدتی کار کند تا به حالت کارکرد دائم برسد. میزان کاهش جرم کولر در مدت معینی اندازه‌گیری می‌شود و بدین ترتیب می‌توان \dot{m}_w را محاسبه کرد. این روش بسیار دقیق است و در عمل نشان داده که کاملاً تکرارپذیر است. نتایج آزمایش بدین قرار گزارش می‌شود. دمای تر ورودی برابر با ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد، دمای خشک ورودی برابر با ۱۳/۶ درجه سانتی‌گراد، دمای خشک خروجی برابر با ۱۱/۴ درجه سانتی‌گراد و نهایتاً زمان مصرف ۱۰۰ گرم آب برابر با ۹۶ ثانیه می‌باشد.

$$\omega_1 = 8.67 \text{ gr/kg wet air}$$

$$\omega_2 = 9.45 \text{ gr/kg dry air}$$

$$P_v = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{P_{v_i}}}{n} \right)^2 \quad (1)$$

$$V = \sqrt{\frac{2P_v}{\rho}} \quad (2)$$

به طوری که در این روابط، P_v فشار سرعتی متوسط، V سرعت متوسط هوا در کانال و ρ دانسیته هوا برحسب کیلوگرم بر متر مکعب است. حال دبی حجمی هوای عبوری از کانال از رابطه ۳ برحسب متر مکعب بر ثانیه به دست می‌آید:

$$Q = V \times A \quad (3)$$

برای تبدیل مقدار حاصل از رابطه ۳، که برحسب متر مکعب بر ثانیه به دست می‌آید، به فوت مکعب بر دقیقه باید آن را در عدد ۲۱۱۸ ضرب کرد.

۳. نتایج آزمایش

در شکل ۵ فشارهای سرعتی در نقاط مختلف برحسب پاسکال مشخص شده است. کولر انتخابی، کولری است با نشان ایران‌پویا (جنرال استیل سابق) به شماره سریال ۸۰۰۰۸۵۳۹ که میزان هوادهی ۳۲۰۰ فوت مکعب بر دقیقه روی پلاک آن ثبت شده است.

$$P_v = 21.496 \text{ Pa}$$

$$T_{air} = 27^\circ \text{C} \Rightarrow \rho = \frac{P}{RT} = \frac{90}{0.287 \times 300}$$

$$\rho = 1.045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$V = \sqrt{\frac{2P_v}{\rho}} = \sqrt{\frac{2 \times 21.496}{1.045}} = 6.414 \text{ m/s}$$

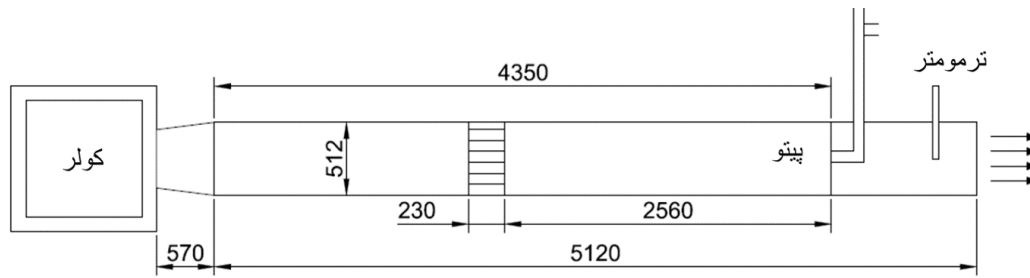
$$Q = AV = \pi \times \frac{0.512^2}{4} \times 6.414$$

$$Q = 1.32 \text{ m}^3/\text{s} = 2800 \text{ cfm}$$

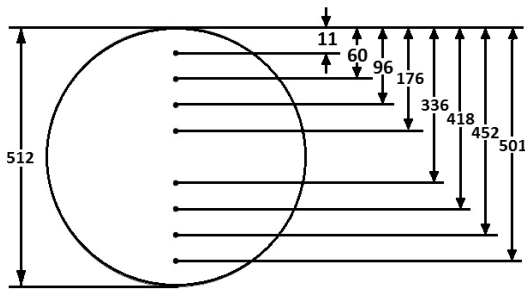
۴. تعیین هوادهی کولر بر مبنای روش جدید

اگر قانون بقای جرم برای بخار آب موجود در هوای ورودی و خروجی نوشته شود، داریم [۲]:

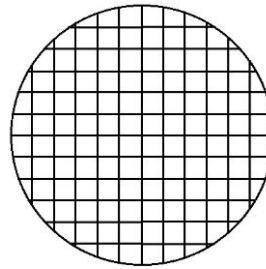




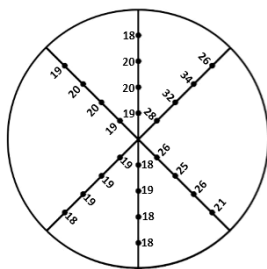
شکل ۱. کانال اندازه گیری هوادهی کولر [۱]



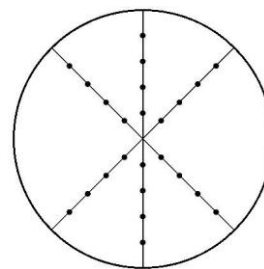
شکل ۳. موقعیت نقاط اندازه گیری در راستای یک قطر



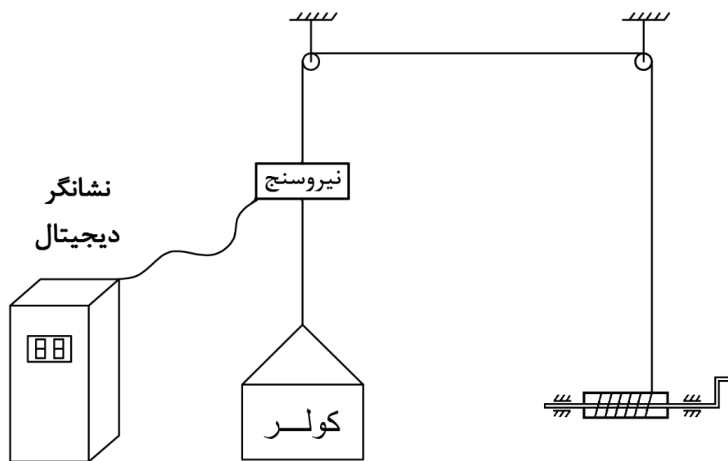
شکل ۲. مستقیم کننده جریان



شکل ۵. مقادیر فشار در نقاط مختلف بر حسب پاسکال



شکل ۴. موقعیت نقاط اندازه گیری



شکل ۶. سازوکار بالابر دستی



شاید چنین تصور شود که اگر در روش جدید، تمامی سطح پوشال‌ها خیس نباشند، در تعیین هوادهی تأثیری منفی خواهد گذاشت. حال آنکه در این روش اگر بخشی از پوشال خشک باشد، هیچ تأثیری در سنجش هوادهی ندارد؛ یعنی باز هم رابطه ۴ صادق است. در این صورت، صورت کسر کاهش یافته و مخرج آن به علت تبخیر کمتر کاهش می‌یابد و این تغییرات به گونه‌ای است که \dot{m}_a ثابت باقی می‌ماند. می‌دانیم که دبی جرمی بخار آب خروجی از کولر برابر است با دبی جرمی آب ورودی به کولر به اضافه مجموع دبی‌های جرمی بخار آب ورودی از پوشال‌های خشک و تر؛ لذا داریم:

$$\dot{m}_{a2} \omega_1 + \dot{m}_{a1} \omega_1 + \dot{m}_w = (\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}) \omega_2$$

$$(\dot{m}_{a2} + \dot{m}_{a1}) \omega_1 + \dot{m}_w = (\dot{m}_{a1} + \dot{m}_{a2}) \omega_2$$

به طوری که در این رابطه \dot{m}_{a1} معرف دبی جرمی هوای خشک ورودی از پوشال خشک و \dot{m}_{a2} معرف دبی جرمی هوای خشک ورودی از پوشال‌های خیس است. چون مجموع \dot{m}_{a1} و \dot{m}_{a2} برابر است با \dot{m}_a ؛ لذا داریم:

$$\dot{m}_a \omega_1 + \dot{m}_w = \dot{m}_a \omega_2 \Rightarrow \dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w}{\omega_2 - \omega_1}$$

پس در روش جدید، چنانچه بخشی از سطح پوشال خشک باشد، تأثیری در نتیجه آزمایش نخواهد داشت.

$$\dot{m}_w = \frac{0.1}{96} = 0.00104 \text{ kg/sec}$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_w}{\omega_2 - \omega_1} = 1.3355 \text{ kg/sec}$$

$$\rho = \frac{P}{RT} = \frac{90}{0.287 \times (273 + 13.6)}$$

$$\rho = 1.045 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m}_a = \rho q \Rightarrow q = \frac{\dot{m}_a}{\rho} = \frac{1.3355}{1.096}$$

$$\dot{m}_a = 1.22 \text{ m}^3/\text{sec} = 2590 \text{ cfm}$$

ملاحظه می‌شود که میزان اختلاف با روش قبل ۷/۵ درصد است.

۵. جمع‌بندی

مشاهده می‌شود که برای میزان هوادهی کولر مورد نظر، دو نتیجه در دست است: ۲۵۹۰ فوت مکعب بر دقیقه مربوط به روش جدید و ۲۸۰۰ فوت مکعب بر دقیقه مربوط به روش قدیمی. روش قدیم بر مبنای متوسط‌گیری از ۲۴ نقطه در مقطع کانال به دست می‌آید، حال آنکه روش جدید مستقیماً با سنجش میزان آب مصرفی، به تعیین هوادهی مبادرت می‌نماید و چون این روش کاملاً تکرارپذیر است، لذا دقیق و قابل استناد می‌باشد.

۶. مأخذ

- [1] ANSI/ASHRAE 51-1999: Laboratory Methods of Testing Fans for Aerodynamic Performance Rating, 1999.
- [2] Van Wylen, G., R. Sonntag, C. Borgnakke, *Fundamentals of classical thermodynamics*, John Wiley and sons, 4th edition, 1994.
- [3] AMCA 210-07: Wind tunnel for fan performance testing.
- [4] ISO 5801: Industrial fans performance testing using standardized airways.

پی‌نوشت

1. ASHRAE 51-07: Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating
2. straightener
3. load cell

