



Namatek
True Education

www.namatek.com

Flow Meter

روش های اندازه گیری
فلو

فهرست مطالب

۱. انواع فلومتر
۲. مفاهیم و اصطلاحات فلومتر
۳. استانداردهای فلو
۴. یکای اندازه گیری فلومتر
۵. فرمول محاسبه فلو
۶. عدد رینولدز Reynolds
۷. فلومتر ونتوری (venturi flow meter)
۸. قابلیت های فلومتر ونتوری
۹. اندازه گیری فلو با فلومتر ونتوری
۱۰. منحنی فشار در فلومتر ونتوری
۱۱. گستره اندازه گیری Rangeability

در دنیای امروز نمیتوان ابزار دقیق را بدون فلومتر ها در نظر گرفت. متناسب با نیاز فراوان به اندازه‌گیری فلو، روش‌های گوناگونی برای اندازه‌گیری این پارامتر صنعتی بوجود آمده است. در ادامه به بررسی اجمالی چند روش اندازه‌گیری فلو خواهیم پرداخت و روش ونتوری را به تفصیل بیان خواهیم کرد.

#۱ انواع فلومتر

#۲ مفاهیم و اصطلاحات فلومتر

برای شروع به کار با یک فلومتر بایستی به برخی از اصطلاحات، قوانین و مفاهیم مسلط باشیم که در ابتدای کار به تشریح این مفاهیم می‌پردازیم.

#۳ استانداردهای فلو

مهمترین استانداردهایی که در زمینه فلو مورد استفاده قرار می‌گیرند، عبارتند از:

IPS-IN-E/M/C-130

API Chapter 5

API 551

API 2530 (Orifice)

ASME PTC 19.5

IPS-IN-E/M/C-240

API Chapter 4 (metering)

از این استانداردها در طول آموزش‌های این فصل به عنوان مرجعی معتبر استفاده خواهیم کرد و هریک را در جای خود معرفی کرده و از آنها استفاده می‌کنیم.

#۴ یکای اندازه گیری فلومتر

طبق استاندارد IPS-IN-130، فلو را به دو صورت بیان می‌کنیم؛ که در هر حالت، یک واحد مشخص برای فلو خواهیم داشت:

۱. فلو جرمی = kg/h

۲. فلو حجمی = m^3/h

جرم، ماده‌ای سازنده یک جسم می‌باشد و عملاً به شرایط اندازه گیری وابسته نیست. بنابراین روش‌های اندازه گیری بر اساس جرم، نیازی به جبران سازی ندارد.

اما!

اصول اندازه گیری تمامی ادوات فلو (فلومتر ها) در صنعت بر اساس دیمانسیون m^3/h است (یعنی بر اساس حجم عبوری) به استثنای یک تجهیز که بر اساس واحد kg/h است.

رابطه فلو جرمی و حجمی

$$\text{فلو جرمی} = \rho \text{density} \times \text{فلو حجمی}$$

بنابراین به راحتی می توانیم این دو آیتم را به هم تبدیل کنیم.

#۵ فرمول محاسبه فلو

فلو را می توان به وسیله اندازه گیری اختلاف فشار یا سرعت اندازه گیری کرد.

هریک از این روش ها، مزیت هایی دارد که در زیر به آن ها اشاره خواهیم کرد:

رابطه سرعت برای محاسبه و انتخاب فلومتر

$$\text{فلو} = Q = \text{سطح مقطع} \times A \times \text{سرعت} V$$

ویژگی ها:

گران قیمت، ساختار پیچیده، تعمیرات و نگهداری سخت، در معرض فرسایش و آسیب های مکانیکی، ایجاد تلاطم زیاد، دقت اندازه گیری بالا

رابطه اختلاف فشار برای محاسبه و انتخاب فلومتر

$$Q = \text{ثابت} \times K \times \sqrt{\Delta P} \quad \text{فلو} \quad \text{جذر اختلاف فشار}$$

که جذر اختلاف فشار را به صورت ΔP نمایش می دهند.

ویژگی ها:

ارزان قیمت، ساختار ساده، تعمیرات و نگهداری کم، فرسایش کم، تنظیم و کالیبراسیون راحت، ایجاد تلاطم کم، دقت اندازه گیری متوسط

در اکثر سایت ها (غذایی، نفتی، صنایع)، اولویت با استفاده از فلومتر های اختلاف فشاری است.

چون هزینه این تجهیزات کم بوده و نصب راحت تری هم دارند. همچنین از دقت قابل قبولی برخوردار هستند. اما در مواقعی که دقت اندازه گیری برایمان خیلی مهم باشد، از روش های مبتنی بر سرعت استفاده می کنیم.

#۶ عدد رینولدز Reynolds

عدد رینولدز، بدون واحد (یکا) است! عدد رینولدز در هر لحظه، حالت سیال را نشان می دهد و کاربرد آن در تعیین آرام یا آشفته بودن دبی

Flow است. اگر عدد رینولدز از حدی کمتر باشد، جریان آرام و اگر بیشتر باشد، جریان آشفته است. بنابراین برای هر سیال در هر لحظه می‌توان عدد رینولدز را تعریف کرد.

تاثیر عدد رینولدز در محل نصب فلومتر

اگر این عدد کوچکتر از ۲۰۰۰ باشد، سیال خطی است (linear-laminar)

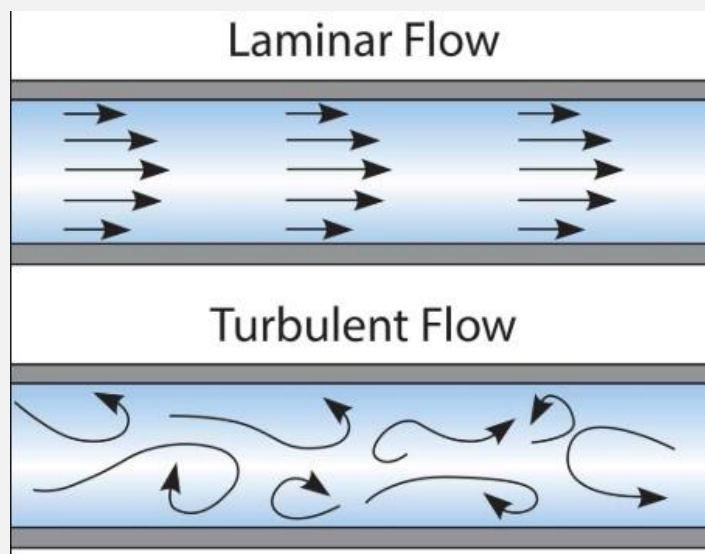
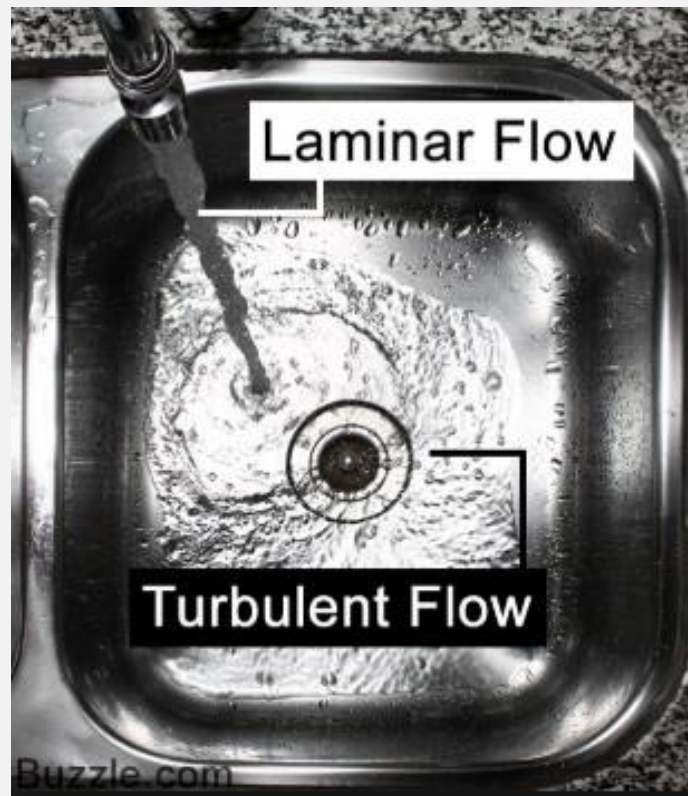
اگر این عدد بین ۲۰۰۰ یا ۴۰۰۰ باشد، سیال گذرا Transient است.

اگر بالاتر از ۴۰۰۰ باشد، سیال متلاطم است (Turbulent)

اگر جریان سیال یا به عبارت دیگر، رژیم سیال را شبیه به سهمی‌هایی در نظر بگیریم که پشت سر هم و به صورت یکنواخت حرکت می‌کنند، سیالی که متلاطم نباشد و آرام داخل پایپ حرکت می‌کند را سیال Linear می‌نامند. سیال‌های گذرا سیال‌هایی هستند که با حالت پالسی و یا Vibration (لرزش) کوچک در پایپ حرکت می‌کنند

(ضربه آنقدر قوی نیست که به پایپ نیرو وارد کرده و ضربه احساس شود).

و در نهایت در حالت متلاطم، سیال به پایپ ضربه وارد می‌کند و این ضربه‌ها عموماً محسوس است.

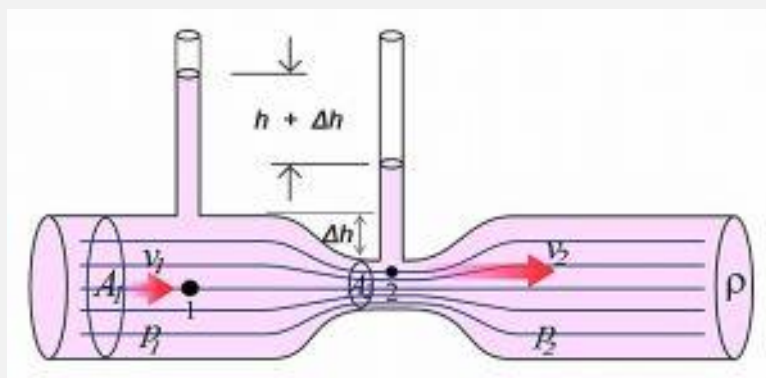


حالت سیال از این جهت حائز اهمیت می‌باشد که برای برخی از تجهیزات
اندازه‌گیری فلو، بایستی

سیال عبوری با حالت خطی از داخل تجهیز عبور کند و همچنین در برخی مواقع بایستی در فاصله‌ای مشخص بعد از فلومتر، سیال در حالت آرام قرار گیرد.

#۷ فلومتر ونتوری (venturi flow meter)

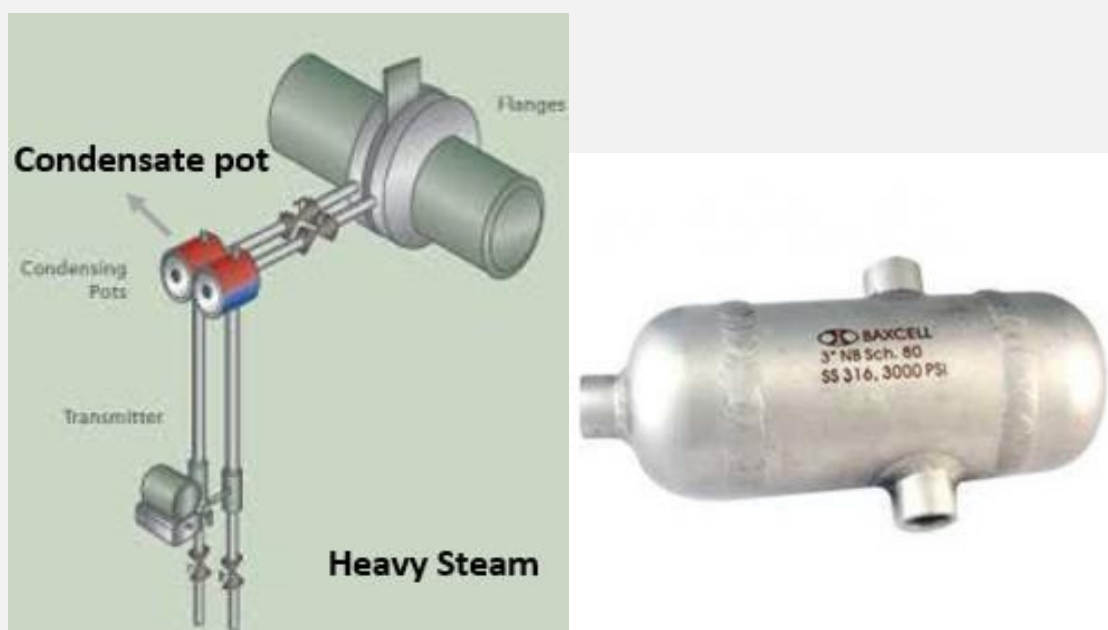
در این روش از یک وسیله ای شبیه به ساعت شنی استفاده شده و فلو با استفاده از آن محاسبه می گردد. دو قسمت از پایپ را سوراخ کرده و با اندازه گیری اختلاف فشار، فلو را محاسبه می کنیم.



از دو نقطه ۱ و ۲، دو Tap را می گیریم و با دو استند کوچک، Tap را بالا می آوریم و به آنها تیوپ وصل کرده و به یک منیفولد ۵ راهه وصل می کنیم.

سپس می توانیم آن را به ترانسمیتر وصل کرده و به راحتی می توان با محاسبات (در ادامه)، فلو را اندازه گیری کرد.

تذکر: اگر سیال عبوری گاز بود، انشعاب را از بالای پایپ (vertical upward) می گیریم؛ اگر مایع بود، از پایین لوله (vertical downward) و اگر بخار Steam باشد، به صورت افقی (horizontal) و با توجه به مایع تر یا گاز تر بودن سیال، پس از عبور از condensate pot، آن را به بالا یا پایین می بریم.



البته در این شکل از Orifice (برای اندازه گیری فلو) استفاده شده است، که در مقاله زیر میتوانید درباره آن مطالعه کنید.

ولیکن همان طور که مشاهده می کنید، بخار عبوری Heavy است. بنابراین به صورت افقی انشعاب گرفته و سپس به Condensate pot رفته ایم. سپس به علت غلیظ بودن بخار (مایع تر بودن)، لوله کشی به سمت پایین انجام شده است.

#۸ قابلیت های فلومتر ونتوری

- ونتوری (ونچوری) را به کمک دو فلنج که در ابتدا و انتهای آن قرار دارند، بر روی خط نصب می کنند.

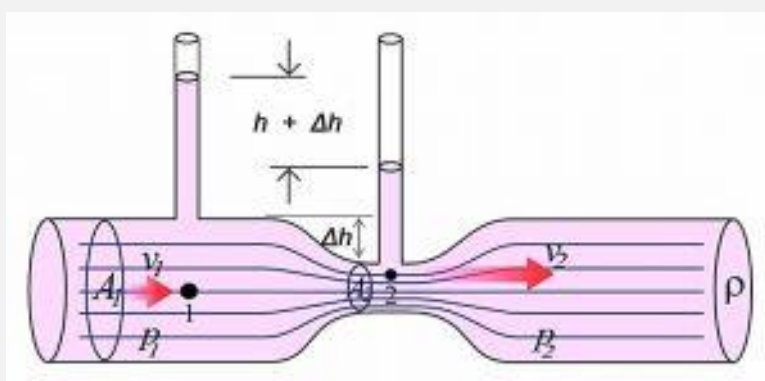


- در ساخت آن، حداقل باید از SS316 استفاده شود. دقت کنید که این تجهیز Wetted part است.
- این روش تا رنج پایپ حدود ۷۲" قابل ساخت و استفاده است. ولیکن در سایز های بزرگ (۱۲" به بالا)، ساخت این تجهیز سخت خواهد شد و همچنین به فضای زیادی نیز برای نصب این تجهیز نیاز است. Turn down Ratio این تجهیز بین ۱:۳ ~ ۱:۵ است.
- دقت اندازه گیری بین ۱٪ ~ ۲٪ است.
- روش ونچوری نسبت به تغییر عدد رینولدز حساسیت ندارد و هم در نمونه های Linear و هم Transient قابل استفاده است.

دقت کنید که در روش ونچوری، فلو به آرامی جمع شده (در نقطه گلویی) و سپس رها می‌شود.

پس از گلویی، تا فاصله (3D هر D برابر با قطر لوله می باشد)، این تلاطم به حداقل می رسد و سیال به حالت عادی باز می‌گردد. در نتیجه پس از 3D می توانید با خیالی راحت تر، المنت های اندازه گیری دیگر را بر روی خط نصب کنید. این روش محدودیتی از نظر سیال عبوری (گاز، مایع، بخار) ندارد. ولیکن سیال عبوری نباید دارای ذرات و جامدات خیلی زیاد و با ابعاد بزرگ در داخل خود باشد. در نمونه های متخلخل و partial، استفاده از فلومتر ونتوری توصیه نمی‌شود. زیرا به مرور زمان، گلویی بسته شده (چوک می‌کند) و هیچ فلویی پاس (عبور) نخواهد شد.

#۹ اندازه گیری فلو با فلومتر ونتوری



از آنجایی که فلو در نقاط ۱ و ۲ از فلومتر ونتوری ثابت است لذا:

$$Q=A.V$$

$$A1.V1=A2.V2$$

فلو به این علت برابر است که تمام سیال عبوری از نقطه ۱، از نقطه ۲ نیز عبور می‌کند.

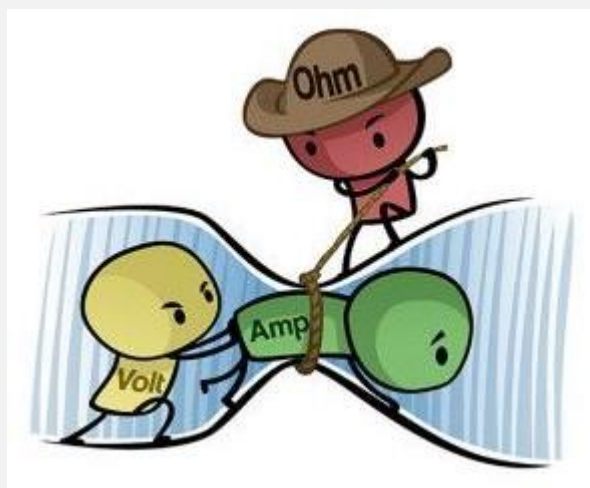
از آنجایی که $A2 < A1$ بنابراین، $V2 > V1$ می باشد.

برنولی رابطه ای را برای تمامی سیالات تراکم ناپذیر یا همان مایعات ثابت کرد که در تک تک نقاط، ثابت است.

$$(P/\rho.g + V^2/2.g + h) = \text{ثابت}$$

$$P2 < P1$$

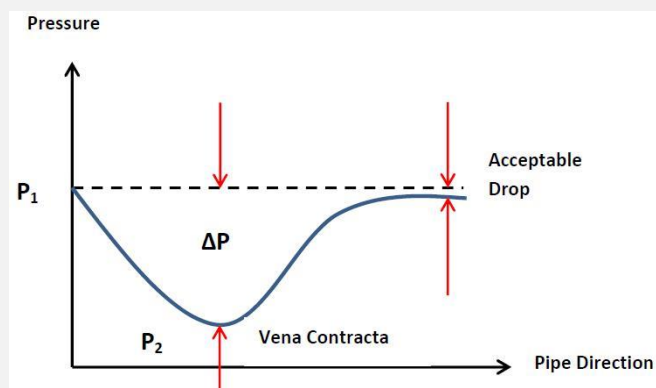
تذکر مهم: بنابراین دقت کنید که به نقطه $P2$ ، تیوبِ Low Pressure (منفی L -) و به نقطه $P1$ ، تیوب (High Pressure مثبت H +) را متصل کنید. این قانون بسیار شبیه به قانون اهم در برق است.



نظر شما چیست؟!

#۱۰ منحنی فشار در فلومتر ونتوری

نمودار تغییرات فشار در راستای لوله



اولین منحنی‌ای که مورد بررسی قرار می‌گیرد، منحنی تغییرات فشار در راستای لوله است.

Vena Contracta (نقطه شکست): نقطه‌ای است که در آن مینیمم فشار و ماکزیمم سرعت سیال رخ می‌دهد. همانطور که از شکل فوق مشاهده می‌شود، در لوله ونچوری، فشار سیال پس از خروج از المان اندازه‌گیری تقریباً برابر با مقدار فشار ورودی است.

لوله ونچوری، افت فشار (Pressure Drop) کمی را در مسیر لوله ایجاد می‌کند. و البته این افت فشار، بسیار کم بوده و بازگشت فشار به حالت قبلی، یکی از مهمترین مزیت‌های این روش است.

نمودار تغییرات فلو برحسب اختلاف فشار

رابطه انرژی مکانیکی برای دو نقطه ۱ و ۲ عبارتست از:

M: جرم سیال

V: سرعت سیال

P: فشار سیال

K: مقدار ثابت

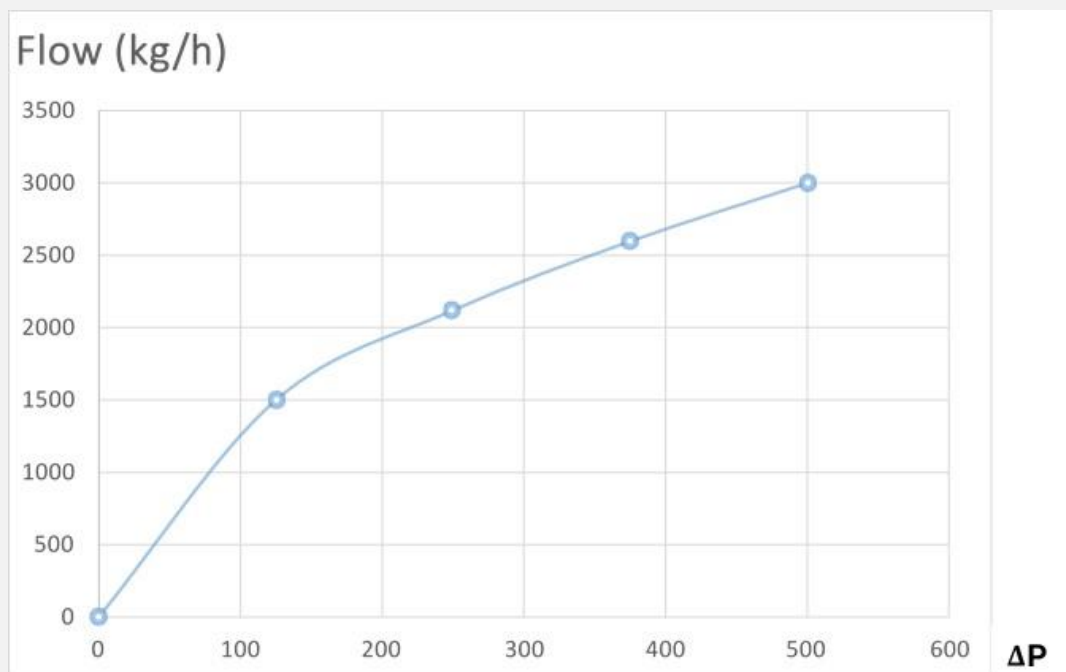
$u=m.p$ میزان انرژی اتلافی‌ای است که پس از خروج سیال از لوله ونتوری، به صورت گرما آزاد می‌شود و علت اصلی گرم‌تر بودن قسمت خروجی لوله ونتوری است. در واقع همین انرژی اتلافی، علت اصلی PPL یا همان افت فشار همیشگی است.

رابطه فوق نشان می‌دهد که فلو با مجذور اختلاف فشار در دو سر ونچوری رابطه مستقیم دارد. این رابطه اساس کارکرد و اندازه‌گیری فلو در ادواتی است که از اختلاف فشار، فلو را محاسبه می‌کنند.

مثال:

واحد فرآیند به ما گفته است که میزان فلو در نمونه ماکزیمم 3000 kg/h است و همچنین ماکزیمم میزان ΔP را 500 mbar اعلام کرده است. اکنون، میزان سیال عبوری در فشارهای مختلف کدام است؟ (در صورت امکان این مقادیر را بر روی جدول ترسیم کنید)

نکته: به یاد داشته باشید، وقتی می خواهید یک ترانسمیتر تهیه کنید بایستی قابلیت ریشه گیری داشته باشد! بنابراین در دیتاشیت های ترانسمیترهای اختلاف فشار نوشته می شود Root extractor shall be supplied by vendor.



در جدول زیر میزان جریان ارسالی به اتاق کنترل به ازای فلو عبوری از خط را مشاهده می کنیم:

3000 kg/h	500 mbar	20 mA	معادل با 100% ماکزیمم فلو
2550 kg/h	375 mbar	17.5 mA	معادل با 85% ماکزیمم فلو
2100 kg/h	250 mbar	15.3 mA	معادل با 70% ماکزیمم فلو
1500 kg/h	125 mbar	12 mA	معادل با 50% ماکزیمم فلو

ما در مباحث مختلفی از بسته جامع ابزار دقیق به آموزش کاربردی مطالب پرداخته ایم.

#۱۱ گستره اندازه‌گیری Rangeability

ممکن است این واژه را با نام Turn down Ratio شنیده باشید. وقتی گفته می‌شود که Turn down Ratio یک تجهیز ۱:۱۰ (یک به ده) می‌باشد، یعنی نسبت اندازه‌گیری در نمونه مینیمم به نمونه ماکزیمم، یک دهم است. خب پس این تجهیز اگر حداقل بتواند فلوی ۶ m³/h را اندازه‌گیری کند، حتما در نمونه ماکزیمم، ۶۰ m³/h را اندازه‌گیری می‌کند.

بنابراین Turn down Ratio، از جمله مشخصات ساختاری و فیزیکی یک تجهیز می‌باشد و قابل تغییر نیست. این نسبت در واقع ظرفیت یا Capacity یا حجم اندازه‌گیری تجهیز را نشان می‌دهد.