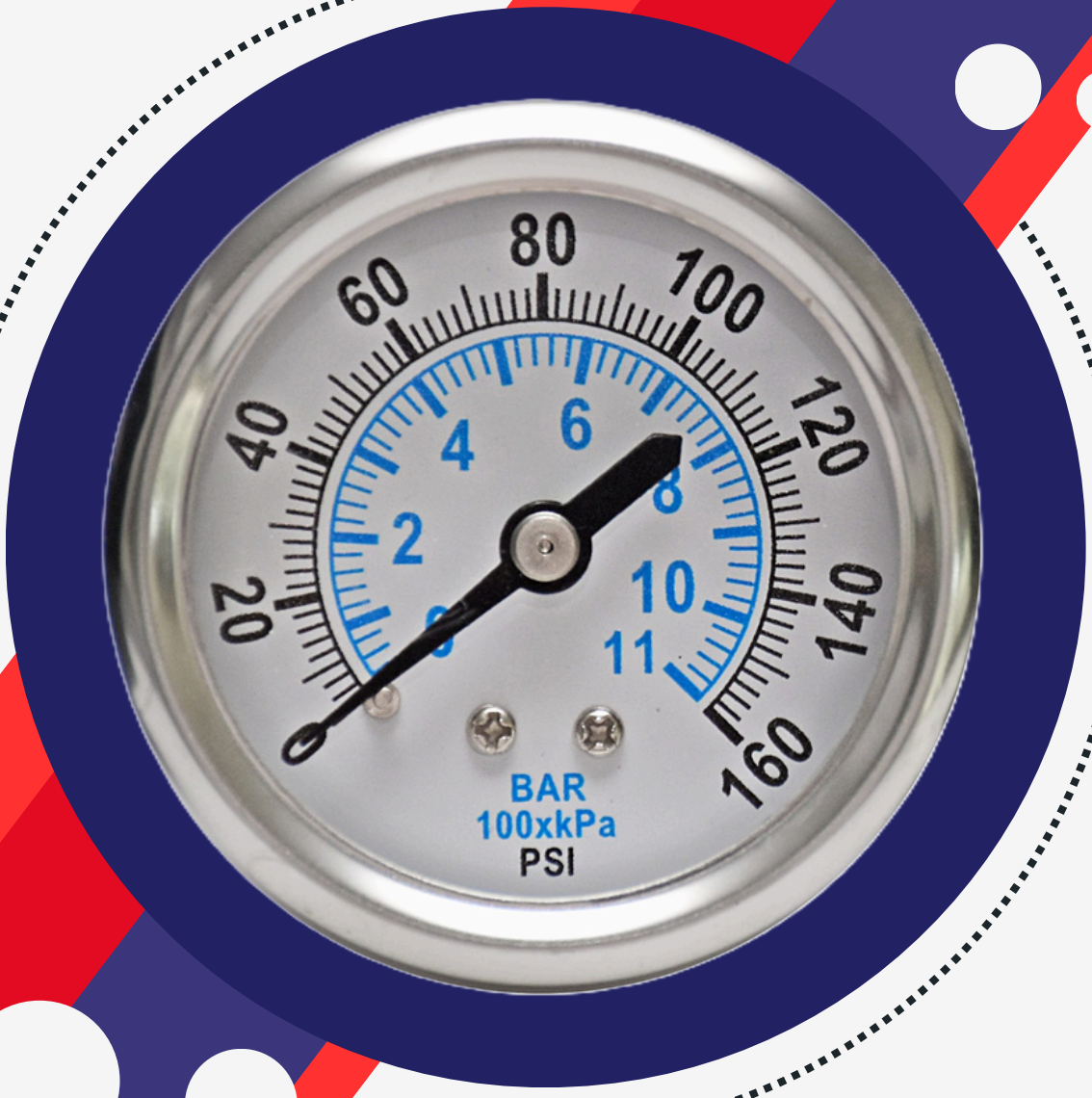
# کتابچه شناخت

# فشار

مقدمه ای بر انواع و اهمیت آن




آکادمی نیروگاه
www.powerplantac.com

# فهرست مطالب


| | |
|---|---|
| فشار اتمسفر یا بارومتری | 3 |
| فشار نسبی و فشار مطلق | 7 |
| فشار تفاضلی | 10 |
| فشار استاتیک | 16 |
| فشار هیدرواستاتیک | 20 |
| فشار دینامیک و فشار کل | 23 |
| فشار پیزومتری | 29 |
| فشار بخار | 32 |
| فشار بحرانی | 37 |
| فشار اسمزی | 41 |
| فشار اشباع | 44 |




www.powerplantac.com

# انواع فشار

فشار یکی از مفاهیمی است که در بسیاری از حوزه‌های علمی و صنعتی اهمیت کلیدی دارد. اما آیا می‌دانید فشار انواع مختلفی دارد و در کاربردهای مختلف باید مشخص کنیم که دقیقاً به کدام نوع اشاره داریم؟

انواع فشار شامل موارد زیر می‌شود:

- فشار مطلق (Absolute Pressure)
- فشار نسبی (Gauge Pressure)
- فشار اتمسفر (Atmospheric Pressure)
- فشار تفاضلی (Differential Pressure)
- فشار استاتیک (Static Pressure)
- فشار دینامیک (Dynamic Pressure)
- فشار کل (Total Pressure)
- فشار پیزومتری (Piezometric Pressure)
- فشار هیدرواستاتیک (Hydrostatic Pressure)
- فشار اسمزی (Osmotic Pressure)
- فشار بحرانی (Critical Pressure)
- فشار بخار (Vapor Pressure)



www.powerplantac.com

# بخش اول : فشار اتمسفر یا بارومتری

## فشار اتمسفر چیست؟

فشار اتمسفر نیرویی است که توسط مولکول‌های هوا بر واحد سطح وارد می‌شود. این فشار در سطح دریا به طور متوسط برابر 101,325 پاسکال یا 1 اتمسفر است و با افزایش ارتفاع، به دلیل کاهش چگالی هوا، کاهش می‌یابد.

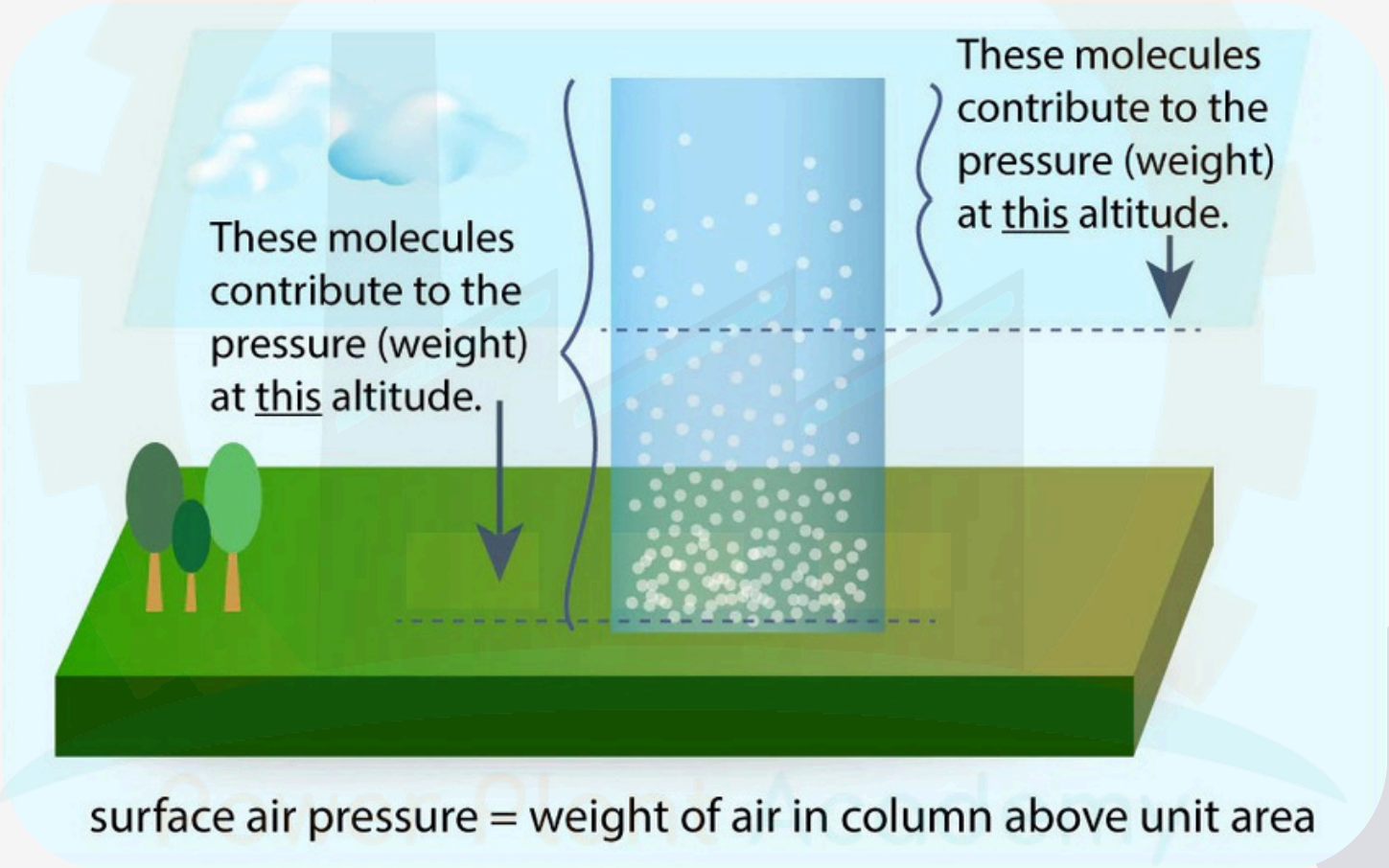



image source: www.acurite.com



www.powerplantac.com

# بخش اول : فشار اتمسفر یا بارومتری

## روش‌های اندازه‌گیری فشار اتمسفر

فشار اتمسفر معمولاً با استفاده از ابزارهایی به نام بارومتر اندازه‌گیری می‌شود. انواع بارومترها عبارتند از:

1. بارومتر جیوه‌ای: از یک ستون جیوه برای اندازه‌گیری فشار استفاده می‌کند. ارتفاع ستون جیوه نشان‌دهنده‌ی فشار اتمسفر است.
2. بارومتر آنروئیدی: از یک محفظه‌ی فلزی خلأ استفاده می‌کند که با تغییر فشار اتمسفر تغییر شکل می‌دهد. این تغییر شکل به یک عقربه منتقل می‌شود و فشار را نشان می‌دهد.
3. بارومتر دیجیتال: از سنسورهای الکترونیکی برای اندازه‌گیری فشار استفاده می‌کند و نتایج را به صورت دیجیتال نمایش می‌دهد.

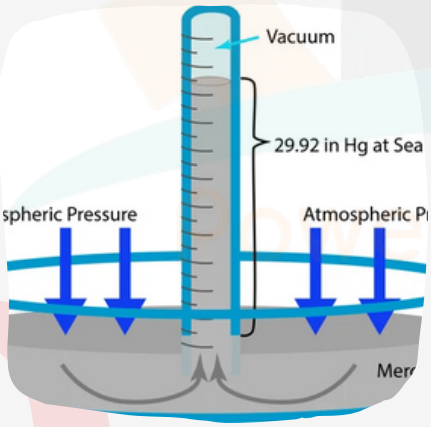



image source: www.blog.mensor.com

www.powerplantac.com

## محاسبه فشار اتمسفر بر حسب ارتفاع از سطح دریا

فشار اتمسفر با افزایش ارتفاع از سطح دریا کاهش می‌یابد. این رابطه را می‌توان با استفاده از فرمول بارومتریک تقریب زد. این فرمول نشان می‌دهد که فشار اتمسفر با افزایش ارتفاع به دلیل کاهش چگالی هوا کاهش می‌یابد. فرمول به صورت زیر است:

$$P = P_0 \cdot \left(1 - \frac{L \cdot h}{T_0}\right)^{\frac{g \cdot M}{R \cdot L}}$$

در این فرمول:

P: Atmospheric pressure at height h (Pascal)

$P_0$: Atmospheric pressure at sea level (101,325 Pascal)

L: Temperature lapse rate (0.0065 Kelvin per meter)

h: Height above sea level (meters)

$T_0$: Standard temperature at sea level (288.15 Kelvin)

g: Acceleration due to gravity (9.80665 meters per second squared)

M: Molar mass of air (0.0289644 kilograms per mole)

R: Universal gas constant (8.3144598 joules per mole per Kelvin)



www.powerplantac.com

# مثال عددی

فرض کنید در ارتفاع 2500 متری از سطح دریا هستید. با استفاده از فرمول بارومتریک، فشار اتمسفر در این ارتفاع با استفاده از فرمول بالا و جایگذاری مقادیر و انجام محاسبات، فشار اتمسفر در این ارتفاع حدود 75,000 پاسکال خواهد بود.

همان‌طور که مشاهده می‌کنید، با افزایش ارتفاع، فشار اتمسفر کاهش می‌یابد. این کاهش فشار تأثیرات قابل توجهی بر فعالیت‌های انسانی و عملکرد تجهیزات فنی دارد.

# ابزارهای آنلاین محاسبه فشار اتمسفر

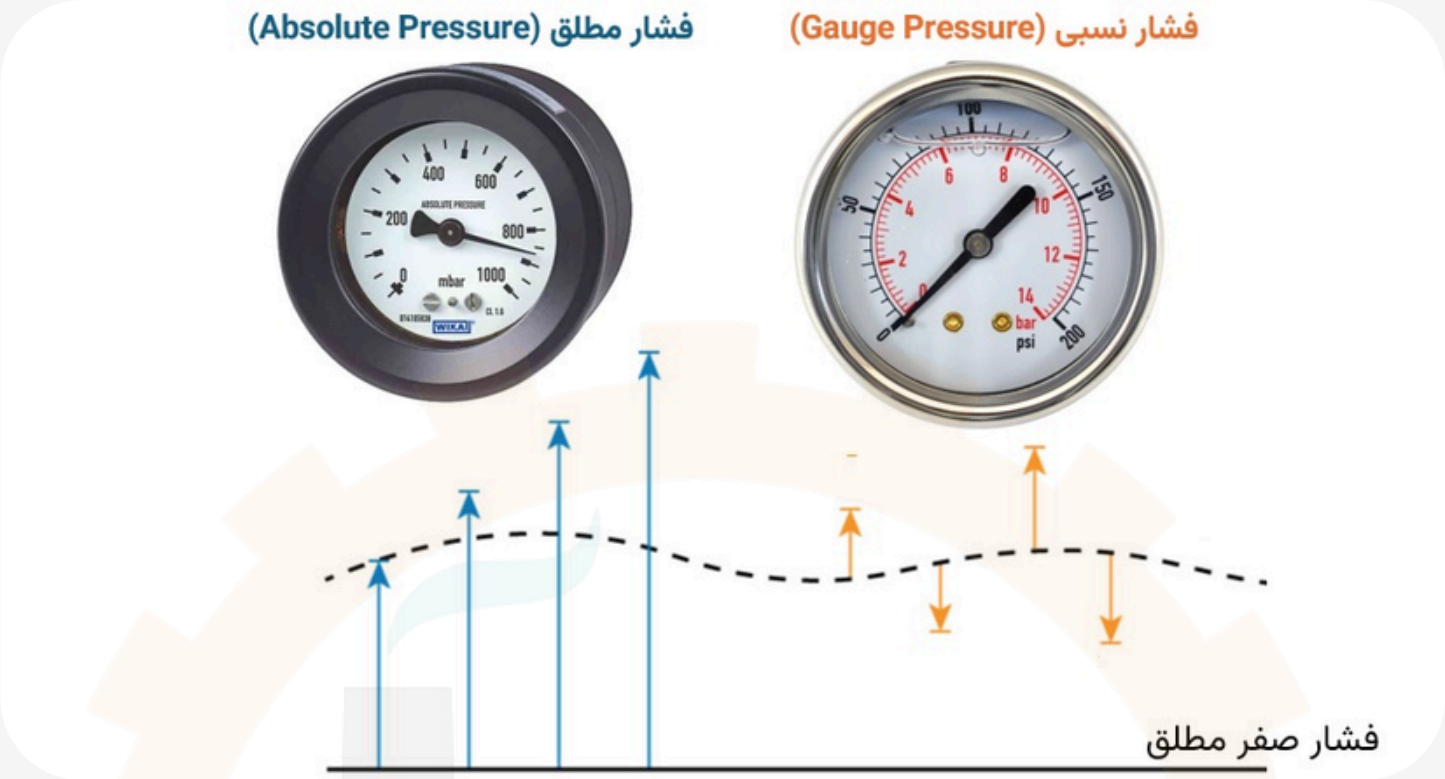
علاوه بر استفاده از فرمول‌های فیزیکی، می‌توانید از ابزارهای آنلاین برای محاسبه فشار اتمسفر در ارتفاعات مختلف استفاده کنید. لینک یکی از این ابزارهادر زیر قرار داده شده است که به شما امکان می‌دهد ارتفاع مورد نظر خود را وارد کرده و فشار اتمسفر مربوط به آن را محاسبه کنید. البته این تنها یکی از سایت‌های موجود است و ابزارهای مشابه دیگری نیز در دسترس هستند.

https://www.omnicalculator.com/physics/air-pressure-at-altitude



www.powerplantac.com

# بخش دوم : فشار نسبی و فشار مطلق




برای اندازه‌گیری فشار معمولاً از دو مرجع می‌توان استفاده کرد. مرجع اول فشار صفر مطلق است. در این صورت فشار اندازه‌گیری شده نسبت به این مرجع را فشار مطلق (Absolute Pressure) می‌نامند. از آنجا که هیچ فشاری پایین‌تر از صفر مطلق نیست، مقدار هر فشار اندازه‌گیری شده نسبت به این مرجع مثبت است. با آنکه این روش دارای مزایایی است، اما مهم‌ترین مشکل آن عدم دسترسی به فشار صفر مطلق است. بنابراین، برای اندازه‌گیری یک فشار مجهول نسبت به این مرجع باید فشار صفر مطلق را ایجاد کرد و اندازه‌گیری را نسبت به آن انجام داد.



www.powerplantac.com

## بخش دوم : فشار نسبی و فشار مطلق

روش دوم که بسیار ساده‌تر از حالت قبل است، اندازه‌گیری فشار نسبت به فشار اتمسفر محلی است. در این صورت فشار اندازه‌گیری شده را فشار نسبی (Gauge Pressure) می‌نامند.

در شکل زیر رابطه بین فشار نسبی، فشار مطلق و فشار اتمسفر نشان داده شده است.

$$P_{absolute} = P_{atm} + P_{gauge}$$

به فشارهایی که کمتر از فشار اتمسفر محلی باشند، خلاء (Vacuum) گفته می‌شود. طبق شکل قبل، برای تعیین فشار مطلق می‌توان فشار نسبی را با فشار اتمسفر جمع کرد.



www.powerplantac.com

# مثال عددی

فرض کنید فشار نسبی یک مخزن گاز برابر با 350000 پاسکال و فشار اتمسفر برابر با 101325 پاسکال است. در این حالت فشار مطلق داخل مخزن برابر است با:

$$P_{absolute} = P_{gauge} + P_{atmospheric} = 350{,}000 + 101{,}325 = 451{,}325 \text{ Pa}$$

اگر مقدار فشار داخل مخزن یعنی 350000 پاسکال، مطلق بود فشار نسبی داخل مخزن برابر است با:

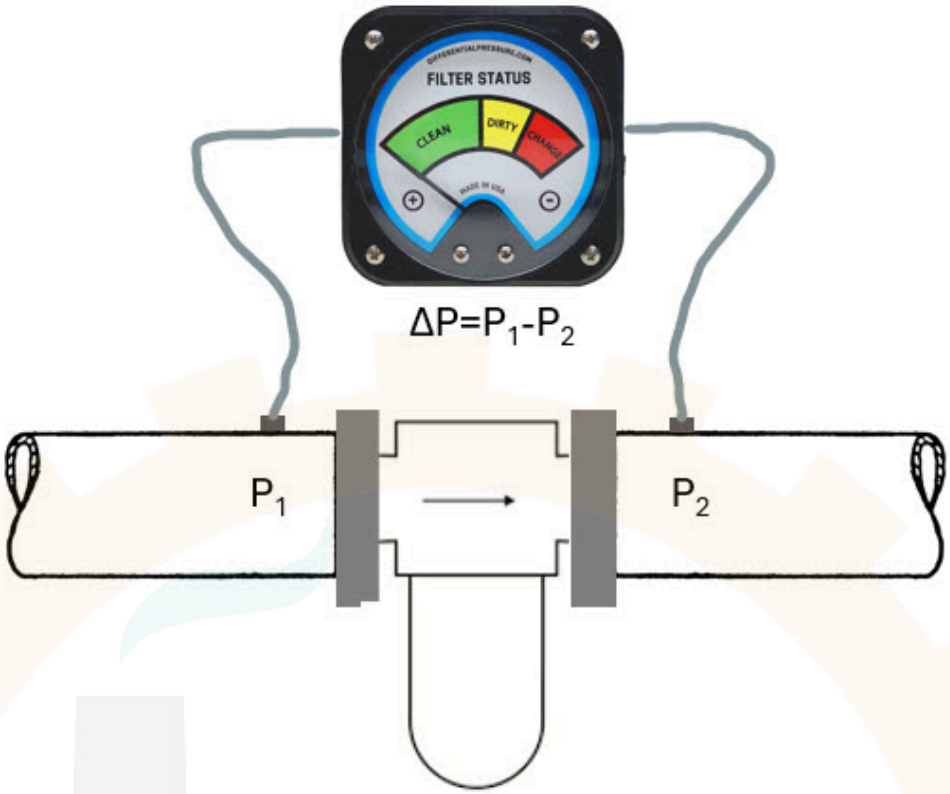
$$P_{gauge} = P_{absolute} - P_{atmospheric} = 350{,}000 - 101{,}325 = 248{,}675 \text{ Pa}$$

اکنون فرض کنید فشار نسبی این مخزن گاز برابر با 80000 پاسکال و فشار اتمسفر برابر با 101325 پاسکال باشد. در این حالت فشار مطلق داخل مخزن برابر است با:

$$P_{absolute} = P_{gauge} + P_{atmospheric} = 80{,}000 + 101{,}325 = 181{,}325 \text{ Pa}$$

اگر مقدار فشار داخل مخزن یعنی 80000 پاسکال، مطلق بود فشار نسبی داخل مخزن برابر است با:

$$P_{gauge} = P_{absolute} - P_{atmospheric} = 80{,}000 - 101{,}325 = -21{,}325 \text{ Pa}$$




# فشار تفاضلی چیست؟

فشار تفاضلی به اختلاف فشار بین دو نقطه مختلف در یک سیستم اشاره دارد. این نوع فشار معمولاً به عنوان ΔP (Delta P) نشان داده می‌شود و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Delta P = P1 - P2$$

در این رابطه:

- P1 فشار در نقطه اول است.
- P2فشار در نقطه دوم است.



www.powerplantac.com

فشار تفاضلی می‌تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. اگر P1 بزرگ‌تر از P2 باشد، فشار تفاضلی مثبت است و اگر P2 بزرگ‌تر از P1 باشد، فشار تفاضلی منفی خواهد بود. اگر فشار در دو نقطه برابر باشد، فشار تفاضلی صفر است.

## کاربردهای فشار تفاضلی

فشار تفاضلی در بسیاری از کاربردهای عملی و صنعتی اهمیت دارد. برخی از مهم‌ترین کاربردهای آن عبارتند از:

- اندازه‌گیری دبی در فلومترهای اختلاف فشاری: یکی از رایج‌ترین کاربردهای فشار تفاضلی، اندازه‌گیری دبی (میزان جریان) سیالات در لوله‌ها است. در فلومترهای اختلاف فشاری (مانند فلومترهای اورفیس، ونتوری و نازل)، اختلاف فشار بین دو نقطه از لوله برای محاسبه دبی سیال استفاده می‌شود. این روش به دلیل سادگی و قابلیت اطمینان بالا، بسیار پرکاربرد است.

www.powerplantac.com

- اندازه‌گیری ارتفاع مایعات در مخازن تحت فشار: در مخازن تحت فشار ذخیره‌سازی مایعات، فشار تفاضلی بین بالای مخزن و پایین مخزن می‌تواند نشان‌دهنده سطح مایع درون مخزن باشد.
- سیستم‌های فیلتراسیون: در سیستم‌های فیلتراسیون، فشار تفاضلی بین دو طرف فیلتر نشان‌دهنده میزان گرفتگی فیلتر است. افزایش فشار تفاضلی می‌تواند نشان‌دهنده نیاز به تعویض یا تمیز کردن فیلتر باشد.
- تهویه مطبوع: در سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع، فشار تفاضلی برای کنترل جریان هوا و اطمینان از عملکرد بهینه سیستم استفاده می‌شود.
- پزشکی: در دستگاه‌های پزشکی مانند ونتیلاتورها، فشار تفاضلی برای تنظیم جریان هوا به ریه‌های بیمار استفاده می‌شود.
- صنایع شیمیایی: در فرآیندهای شیمیایی، فشار تفاضلی برای کنترل واکنش‌ها و انتقال مواد شیمیایی بین مخازن مختلف استفاده می‌شود.

# اندازه گیری فشار تفاضلی

برای اندازه‌گیری فشار تفاضلی، از ابزارهایی به نام مانومتر تفاضلی (Differential Pressure Gauge) یا ترانسمیتر فشار تفاضلی استفاده می‌شود. این ابزارها قادرند اختلاف فشار بین دو نقطه را به دقت اندازه‌گیری کرده و آن را به صورت مکانیکی یا سیگنال الکتریکی نمایش دهند.

# چرا از اختلاف فشار سنج استفاده کنیم؟

یک سوال مهم که ممکن است مطرح شود این است: چرا برای اندازه‌گیری فشار تفاضلی به جای استفاده از دو فشارسنج جداگانه و کم کردن اعداد آن‌ها از هم، بهتر است از یک اختلاف فشارسنج (مانومتر تفاضلی) استفاده کنیم؟ پاسخ به این سوال چند دلیل مهم دارد:

- خطای کمتر: اختلاف فشارسنج‌ها به طور خاص برای اندازه‌گیری اختلاف فشار طراحی شده‌اند. این ابزارها خطای کمتری نسبت به فشارسنج‌های معمولی دارند، زیرا خطاهای احتمالی در اندازه‌گیری هر دو فشار به طور همزمان کاهش می‌یابد.
- سادگی و سرعت: استفاده از دو فشارسنج جداگانه و انجام محاسبات دستی برای به دست آوردن اختلاف فشار، زمان‌بر و مستعد خطاهای انسانی است. در حالی که اختلاف فشارسنج‌ها به طور خودکار و با سرعت بالا، اختلاف فشار را محاسبه و نمایش می‌دهند.
- کاهش خطاهای سیستماتیک: در فشارسنج‌های جداگانه، ممکن است خطاهای کالیبراسیون یا خطاهای ناشی از شرایط محیطی (مانند دما یا رطوبت) بر اندازه‌گیری هر دو فشار تأثیر بگذارند. اختلاف فشارسنج‌ها این خطاها را به حداقل می‌رسانند، زیرا هر دو فشار به طور همزمان و تحت شرایط یکسان اندازه‌گیری می‌شوند.

- صرفه‌جویی در هزینه و فضای نصب: استفاده از یک اختلاف فشارسنج به جای دو فشارسنج جداگانه، هزینه‌های خرید و نگهداری را کاهش می‌دهد. همچنین، فضای کمتری برای نصب نیاز دارد، که این موضوع در سیستم‌های پیچیده و شلوغ بسیار مهم است.
- امکان اندازه‌گیری فشارهای بسیار کم: در برخی کاربردها، اختلاف فشار بین دو نقطه بسیار کم است (مثلاً در سیستم‌های تهویه مطبوع). اختلاف فشارسنج‌ها قادرند این اختلاف‌های کوچک را با خطای کم اندازه‌گیری کنند، در حالی که فشارسنج‌های معمولی ممکن است قادر به تشخیص چنین اختلاف‌های کوچکی نباشند.
- حساسیت به اختلاف‌های کوچک: یکی دیگر از دلایل مهم استفاده از اختلاف فشارسنج‌ها این است که در مواردی که اختلاف فشار بین دو نقطه در مقایسه با فشار هر یک از نقاط بسیار کم باشد، استفاده از دو فشارسنج جداگانه ممکن است به دلیل محدودیت‌های دقت آن‌ها، نتایج قابل اعتمادی ارائه ندهد. به عنوان مثال، اگر فشار در دو نقطه بسیار بالا باشد (مثلاً 100 بار) اما اختلاف فشار بین آن‌ها تنها 0.1 بار باشد، فشارسنج‌های معمولی ممکن است نتوانند این اختلاف کوچک را به درستی تشخیص دهند. در حالی که اختلاف فشارسنج‌ها به طور خاص برای تشخیص چنین اختلاف‌های کوچکی طراحی شده‌اند.

# تعریف فشار استاتیک

فشار استاتیک به فشاری اطلاق می‌شود که توسط یک سیال، بدون در نظر گرفتن اثرات حرکت سیال، (چه در حال حرکت و چه ساکن) به سطح وارد می‌شود. فشار استاتیک در یک جریان سیال، معمولاً توسط سنسورهایی اندازه‌گیری می‌شود که به سوراخ‌های تعبیه‌شده در دیواره‌های لوله یا کانال متصل هستند.

# تفاوت فشار استاتیک و فشار هیدرواستاتیک

اگرچه فشار استاتیک و فشار هیدرواستاتیک گاهی به جای یکدیگر استفاده می‌شوند، اما این دو مفهوم تفاوت‌های کلیدی دارند:

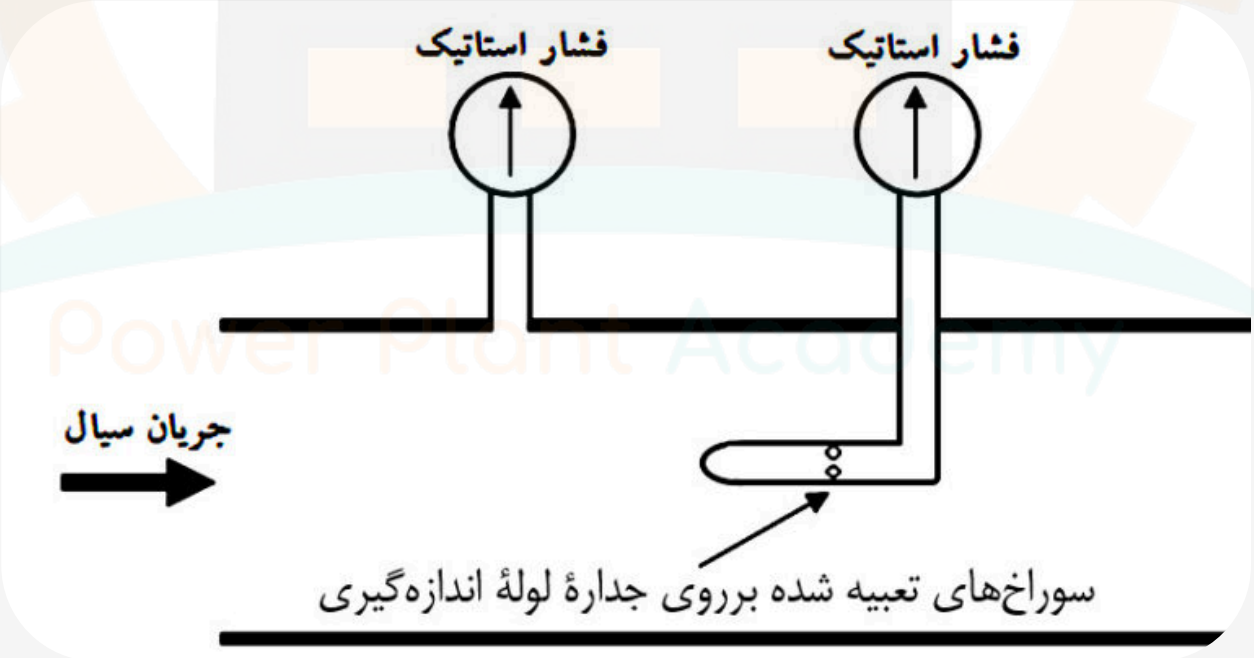
1. فشار استاتیک: این فشار در هر سیستم سیال (چه ساکن و چه در حال حرکت) وجود دارد و ناشی از انرژی پتانسیل سیال است. در جریان سیالات، فشار استاتیک به موازات جریان اندازه‌گیری می‌شود.
2. فشار هیدرواستاتیک: این فشار خاص سیالات ساکن است و ناشی از وزن ستون سیال بالای یک نقطه مشخص است. فشار هیدرواستاتیک با عمق سیال افزایش می‌یابد و از رابطه $P=\rho \cdot g \cdot h$ محاسبه می‌شود.

# اندازه‌گیری فشار استاتیک

برای اندازه‌گیری این فشار، روش‌ها و ابزارهای مختلفی وجود دارد که هر کدام بسته به شرایط و نوع سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این بخش، به برخی از روش‌های رایج اندازه‌گیری فشار استاتیک و نکات فنی مرتبط با آن می‌پردازیم.

## روش‌های اندازه‌گیری فشار استاتیک

1. استفاده از فشارسنجهای عقربه ای و سنسورهای فشار
2. مانومترها
3. پراب های فشار استاتیک






www.powerplantac.com

# ملاحظات فنی در اندازه‌گیری فشار استاتیک

برای اندازه‌گیری دقیق فشار استاتیک، رعایت برخی نکات فنی ضروری است:

- موقعیت سوراخ‌های اندازه‌گیری:

سوراخ‌هایی که برای اندازه‌گیری فشار استاتیک تعبیه می‌شوند، باید به موازات جریان سیال باشند. این کار باعث می‌شود که فشار دینامیک (ناشی از حرکت سیال) در اندازه‌گیری تأثیر نگذارد و تنها فشار استاتیک ثبت شود.

- ایجاد سوراخ عمود بر لوله:

در سیستم‌های لوله‌کشی، برای اندازه‌گیری فشار استاتیک، باید یک سوراخ کاملاً عمود بر دیواره لوله ایجاد شود. این سوراخ باید بدون هیچ گونه زائده، برآمدگی یا خراش باشد، زیرا وجود زائده‌ها می‌تواند جریان سیال را مختل کرده و باعث خطا در اندازه‌گیری شود. سطح سوراخ باید صاف و هموار باشد تا فشار استاتیک به‌درستی ثبت گردد.



www.powerplantac.com

- جایابی مناسب:

سوراخ اندازه‌گیری فشار استاتیک باید در محلی از لوله ایجاد شود که جریان سیال کاملاً توسعه‌یافته و پایدار است. این معمولاً در فاصله‌ای دور از خم‌ها، شیرها و سایر موانع جریان است.

- استفاده از اتصالات مناسب:

برای اتصال سنسور فشار به لوله، باید از اتصالاتی استفاده شود که نشتی نداشته باشند و بتوانند فشار را به‌طور دقیق به سنسور منتقل کنند.

image source: sino-inst.com

# فشار هیدرواستاتیک و کاربرد آن در اندازه گیری ارتفاع مایعات در مخازن

**تعریف فشار هیدرواستاتیک:** فشار هیدرواستاتیک به فشاری گفته میشود که توسط یک سیال (مایع یا گاز) در حالت سکون به دلیل نیروی گرانش وارد می شود. این فشار به عمق سیال، چگالی آن و شتاب گرانش زمین بستگی دارد. فشار هیدرواستاتیک در یک نقطه از سیال با استفاده از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$P= \rho.g \cdot h$$

در این فرمول:

- P فشار هیدرواستاتیک (بر حسب پاسکال)
- ρ چگالی سیال (بر حسب کیلوگرم بر متر مکعب)
- g شتاب گرانش زمین
- h ارتفاع ستون سیال بالای نقطه مورد نظر (بر حسب متر)



www.powerplantac.com

**کاربرد فشار هیدرواستاتیک در اندازه گیری ارتفاع مایعات در مخازن:** یکی از کاربردهای مهم فشار هیدرواستاتیک، اندازه گیری ارتفاع مایعات در مخازن است. با استفاده از این فشار، می توان ارتفاع مایع را بدون نیاز به تماس مستقیم با آن محاسبه کرد. این روش به ویژه در صنایع نفت، گاز، شیمیایی و آبرسانی کاربرد دارد.

برای این کار، از سنسورهای فشار (فشارسنج عقربه ای یا ترانسمیتر فشار) در پایین مخزن استفاده می شود. این سنسورها فشار هیدرواستاتیک را اندازه گیری می کنند و با استفاده از فرمول زیر، ارتفاع مایع محاسبه می شود:

$$h=P/(\rho.g)$$

مثال عملی: فرض کنید یک مخزن آب با چگالی $\rho=1000kg/m3$ داریم. اگر فشار هیدرواستاتیک اندازه گیری شده در پایین مخزن $P=19620Pa$ باشد، ارتفاع آب در مخزن به صورت زیر محاسبه میشود:

$$h=19620/(1000\cdot 9.81)=2m$$

بنابراین، ارتفاع آب در مخزن 2 متر است.



www.powerplantac.com

# بخش پنجم: فشار هیدرواستاتیک

فشار هیدرواستاتیک یک مفهوم فیزیکی مهم است که در صنایع مختلف برای اندازه گیری ارتفاع مایعات در مخازن استفاده می شود. با استفاده از این روش، می توان به طور دقیق ارتفاع مایع را تعیین کرد. این تکنیک به دلیل سادگی و دقت بالا، به طور گسترده در صنایع مورد استفاده قرار می گیرد.

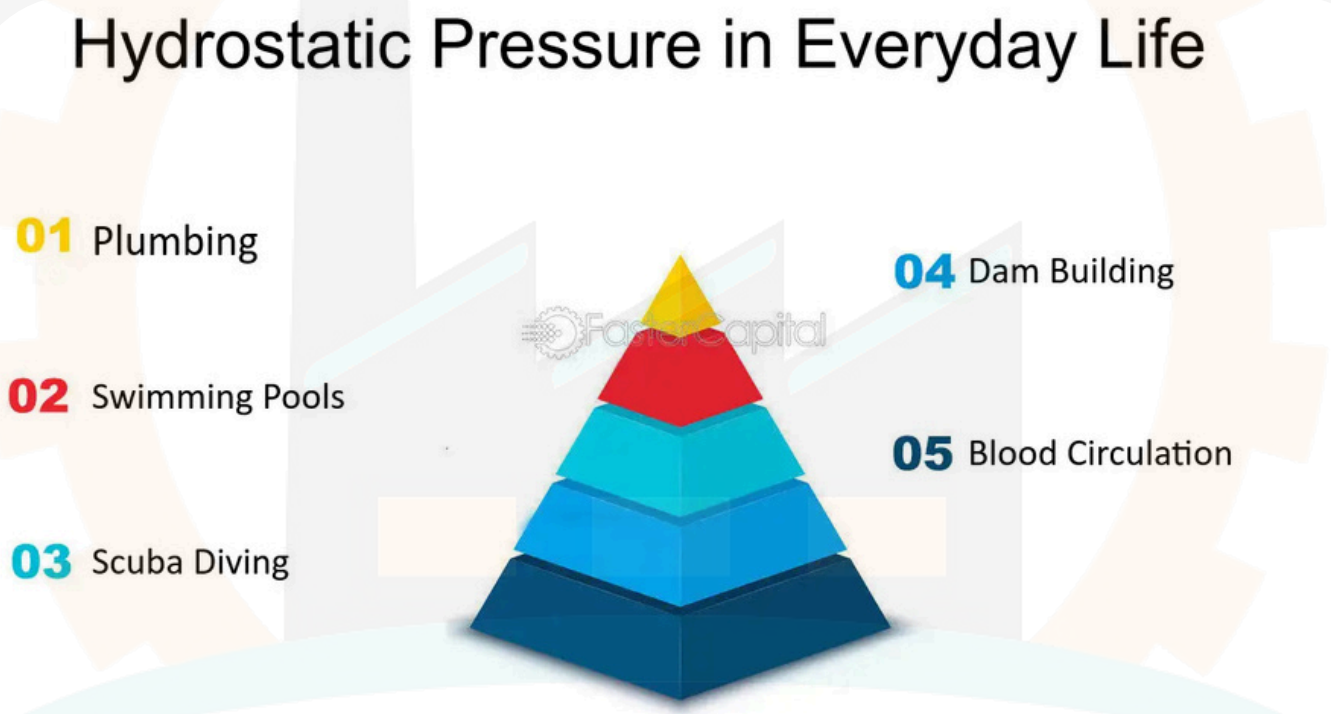
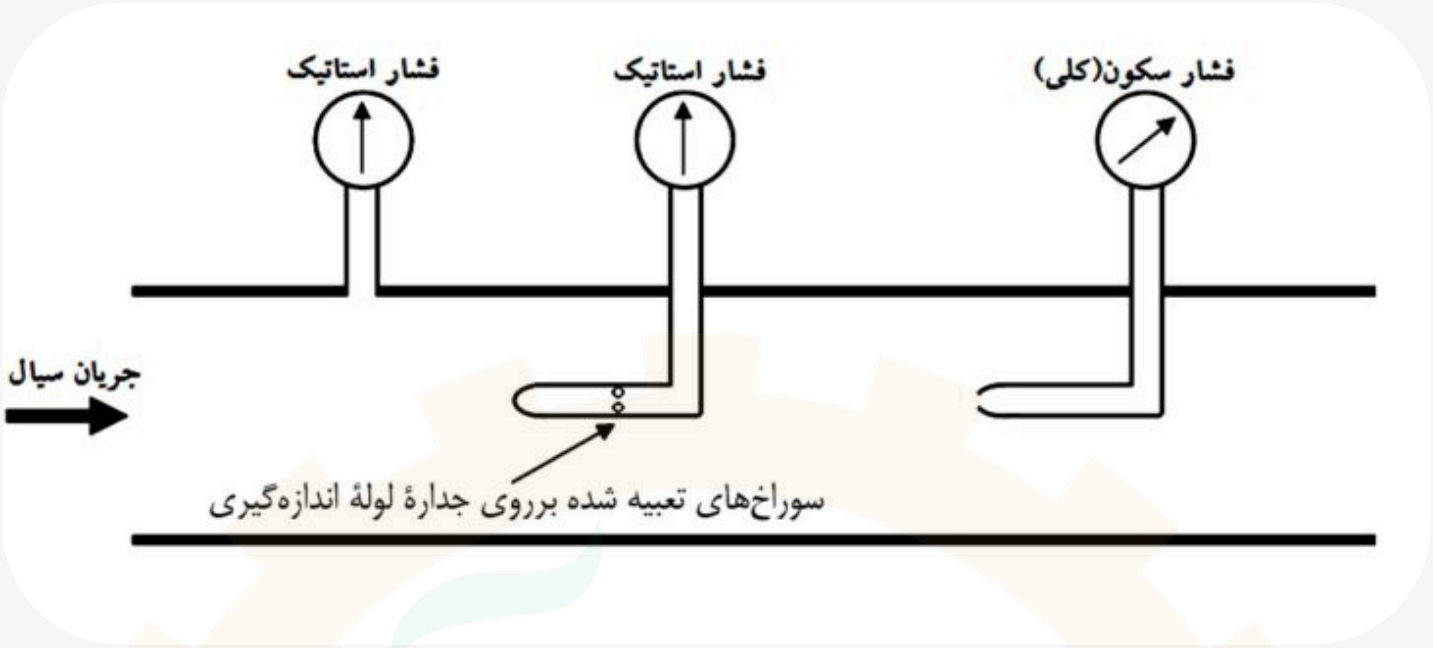



image soure: fastercapital.com



www.powerplantac.com




# تعریف فشار دینامیک و فشار کل

فشار دینامیک به فشاری اطلاق می‌شود که ناشی از حرکت سیال است. این فشار در واقع انرژی جنبشی موجود در سیال است و با سرعت جریان سیال مرتبط است. فشار دینامیک از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{dynamic}=\frac{1}{2}\rho v^2$$

که در آن:

- $\rho$ چگالی سیال ($kg/m^3$)
- $V$ سرعت جریان سیال ($m/s$)



www.powerplantac.com

## فشار کل (Total Pressure)

فشار کل به مجموع فشار استاتیک و فشار دینامیک اطلاق می‌شود. این فشار نشان‌دهنده کل انرژی موجود در سیال (انرژی پتانسیل و جنبشی) است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{total} = P_{static} + P_{dynamic}$$

فشار دینامیک را می‌توان از تفاضل فشار کل و فشار استاتیک به دست آورد:

$$P_{dynamic} = P_{total} - P_{static}$$

## اهمیت و کاربرد فشار دینامیک و فشار کل

فشار دینامیک و فشار کل در صنایع مختلفی مانند هوافضا، سیستم‌های تهویه مطبوع (HVAC)، و صنایع نفت و گاز کاربرد دارند. با این حال، یکی از مهم‌ترین کاربردهای این مفاهیم، اندازه‌گیری سرعت سیال است. با اندازه‌گیری فشار کل و فشار استاتیک، می‌توان فشار دینامیک را محاسبه کرد و از آن برای تعیین سرعت جریان سیال استفاده نمود. این روش به‌ویژه در سیستم‌های لوله‌کشی، تونل‌های باد، و طراحی توربین‌های بادی کاربرد دارد.



www.powerplantac.com

# روش‌های اندازه‌گیری فشار دینامیک و فشار کل

اندازه‌گیری فشار دینامیک و فشار کل یکی از مراحل کلیدی در تحلیل سیستم‌های جریان سیال است. برای اندازه‌گیری دقیق این فشارها، روش‌ها و ابزارهای مختلفی وجود دارد که هر کدام بسته به شرایط و نوع سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این بخش، به برخی از روش‌های رایج اندازه‌گیری فشار دینامیک و فشار کل و نکات فنی مرتبط با آن‌ها می‌پردازیم.

## استفاده از لوله پیتوت (Pitot Tube)

لوله پیتوت یکی از رایج‌ترین ابزارها برای اندازه‌گیری فشار دینامیک و فشار کل است. این لوله دارای دو بخش مجزا است: یکی برای اندازه‌گیری فشار کل و دیگری برای اندازه‌گیری فشار استاتیک. فشار دینامیک از تفاضل این دو فشار به‌دست می‌آید:

$$P_{dynamic} = P_{total} - P_{static}$$



www.powerplantac.com

## استفاده از سنسورهای سرعت (Velocity Sensors)

سنسورهای سرعت (مانند آنمومترها) می‌توانند سرعت جریان سیال را اندازه‌گیری کنند. با استفاده از سرعت اندازه‌گیری‌شده و رابطه فشار دینامیک، می‌توان فشار دینامیک را محاسبه کرد.

## ملاحظات فنی در اندازه‌گیری فشار دینامیک و فشار کل

برای اندازه‌گیری دقیق فشار دینامیک و فشار کل، رعایت برخی نکات فنی ضروری است:

- جایابی مناسب:

سنسورها یا لوله‌های پیتوت باید در محلی از سیستم نصب شوند که جریان سیال کاملاً توسعه‌یافته و پایدار است. این معمولاً در فاصله‌ای دور از خم‌ها، شیرها و سایر موانع جریان است.

- کالیبراسیون ابزارها:

ابزارهای اندازه‌گیری فشار دینامیک و فشار کل باید به‌طور منظم کالیبره شوند تا دقت اندازه‌گیری حفظ شود.



www.powerplantac.com

## جلوگیری از اغتشاشات جریان

هرگونه اغتشاش در جریان سیال (مانند گرداب‌ها یا جریان‌های متلاطم) می‌تواند بر دقت اندازه‌گیری فشار دینامیک و فشار کل تأثیر بگذارد. بنابراین، باید از نصب سنسورها در مناطق متلاطم اجتناب کرد.

## مثال عددی

فرض کنید در یک سیستم لوله‌کشی حاوی هوا، فشار کل برابر با 102 کیلوپاسکال و فشار استاتیک برابر با 100 کیلوپاسکال اندازه‌گیری شده است. چگالی هوا نیز 1.2kg/m3 است. با استفاده از این اطلاعات، سرعت جریان هوا را محاسبه می‌کنیم.

1. محاسبه فشار دینامیک:

$$P_{dynamic} = P_{total} - P_{static} = 102\ kPa - 100\ kPa = 2\ kPa = 2{,}000\ Pa$$

محاسبه سرعت جریان:

از رابطه فشار دینامیک داریم:

$$P_{dynamic} = 1/2 \rho v^2$$

با جایگذاری مقادیر:

$$2{,}000 = 1/2 \times 1.2 \times v^2$$

$$v = 3333.33 \approx 57.74\ m/s$$

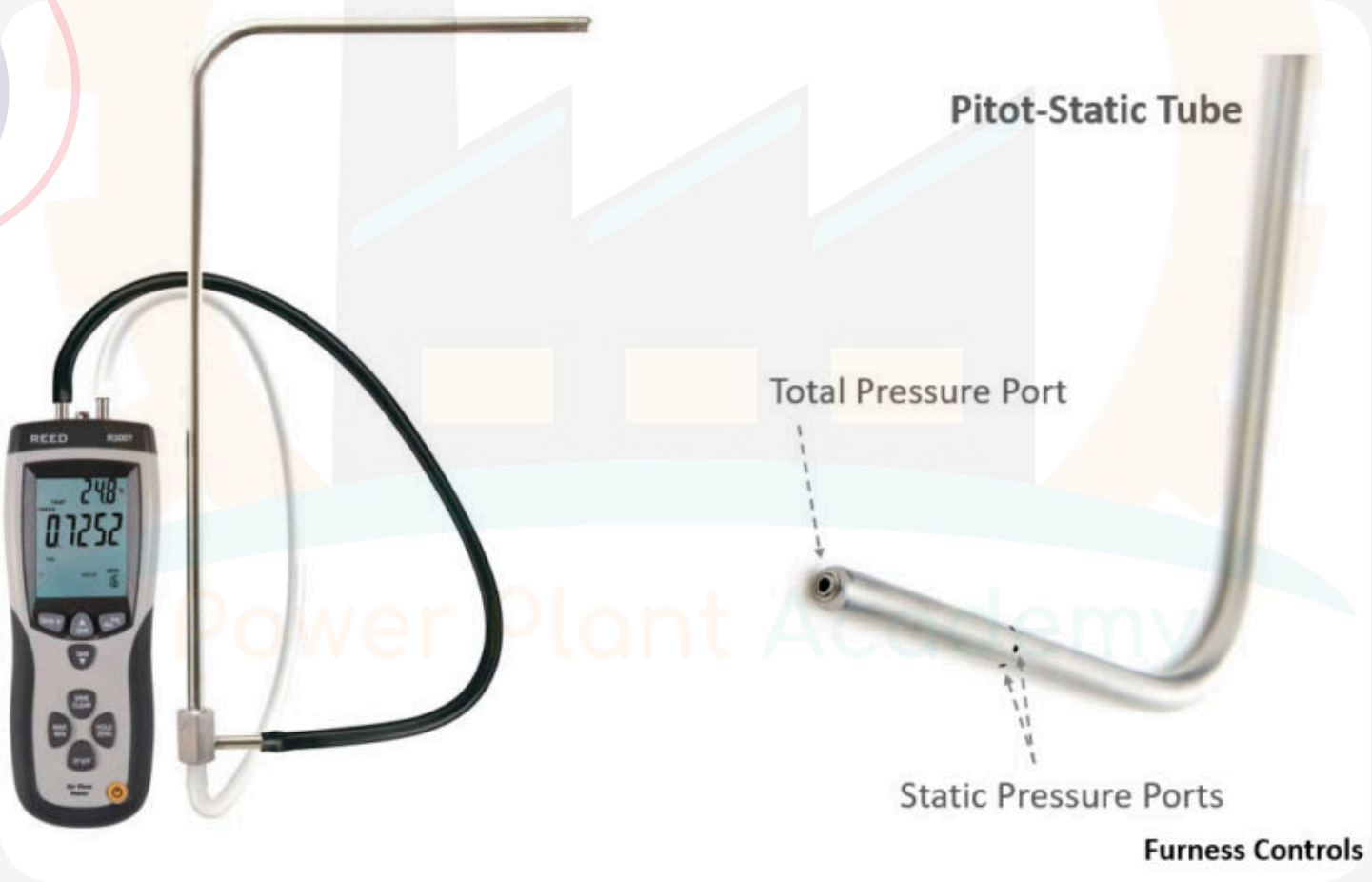
بنابراین، سرعت جریان هوا در این سیستم حدود 58 متر بر ثانیه است.



www.powerplantac.com

# بخش ششم : فشار دینامیک و فشار کل

فشار دینامیک و فشار کل دو مفهوم اساسی در مکانیک سیالات هستند که در تحلیل جریان سیالات و طراحی سیستم‌های مهندسی نقش کلیدی دارند. با درک این مفاهیم و ارتباط بین آن‌ها، و همچنین با رعایت اصول فنی در اندازه‌گیری آن‌ها، می‌توانیم به‌طور مؤثرتری سیستم‌های مرتبط با سیالات را طراحی و بهینه‌سازی کنیم. در بخش‌های بعدی این مجموعه، به بررسی سایر مفاهیم مرتبط با فشار خواهیم پرداخت.



## پیزومتر در لوله‌های حاوی مایع

پیزومتر یکی از ساده‌ترین روش ها برای اندازه‌گیری فشار در لوله‌های حاوی مایع است. این ابزار بر اساس اصل فشار هیدرواستاتیک کار می‌کند و برای اندازه‌گیری فشار استاتیک در مایعات کم‌فشار مناسب است.

## تعریف و نحوه کار

در شکل صفحه بعد اساس کار پیزومتر نشان داده شده است.

برای استفاده از این روش کافی است سوراخی در جداره لوله ایجاد شده و یک لوله پلاستیکی شفاف یا شیشه به آن متصل شود. با توجه به میزان فشار داخل لوله، مایع تا ارتفاعی که فشار معادل آن با فشار داخل لوله برابر شود، بالا خواهد رفت. بنابراین با اندازه‌گیری h می‌توان فشار استاتیک داخل لوله را از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$P_{static}=\rho g h$$

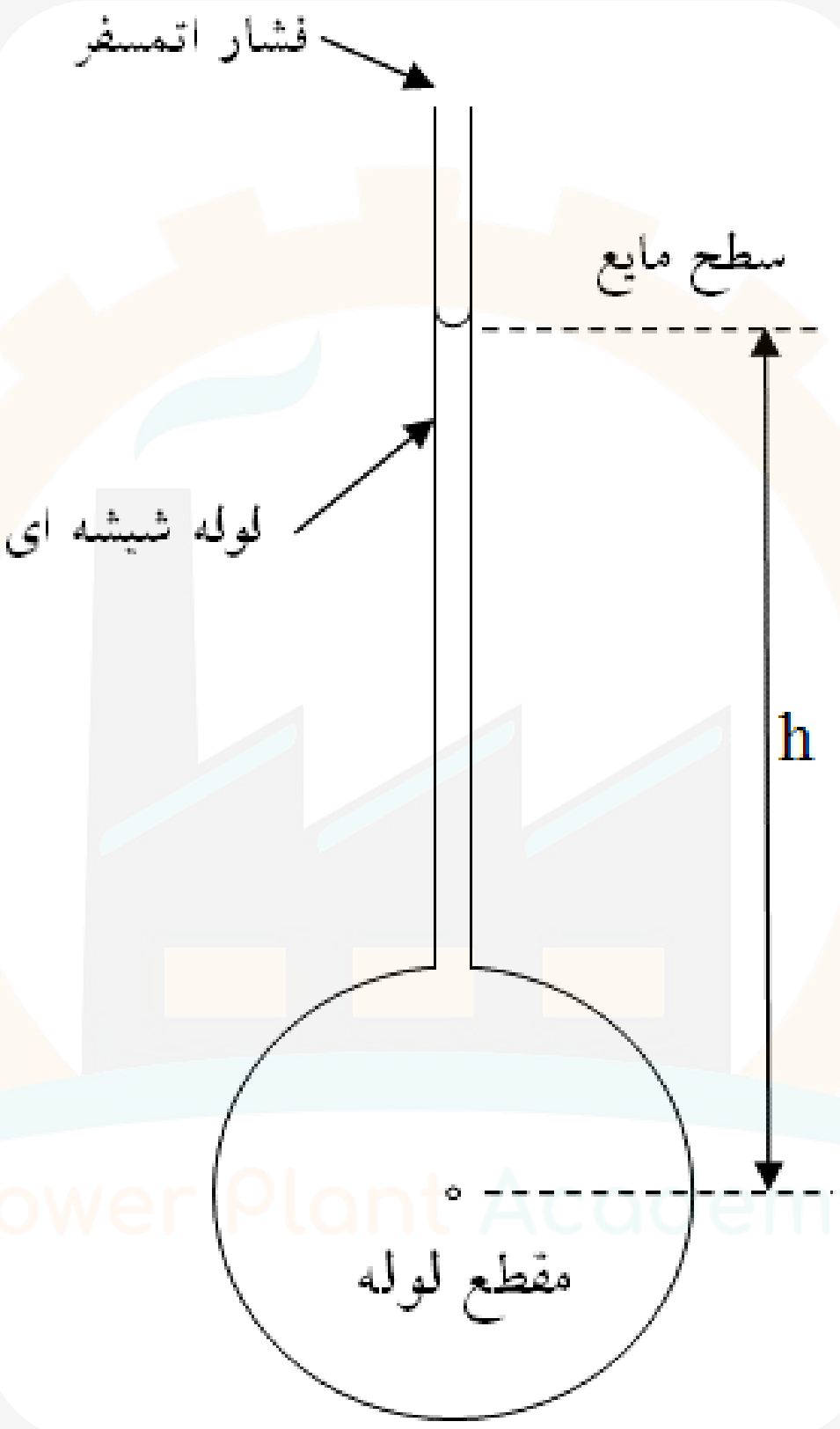
که در آن:

- $\rho$ چگالی مایع $(kg/m^3)$
- $G$ شتاب گرانش $(m/s^2)$
- $H$ ارتفاع ستون مایع در پیزومتر $(m)$

با وجود سادگی، پیزومتر را نمی‌توان برای اندازه‌گیری فشارهای زیاد استفاده کرد، زیرا ارتفاع مورد نیاز برای شیشه آن با افزایش فشار افزایش می‌یابد.



www.powerplantac.com





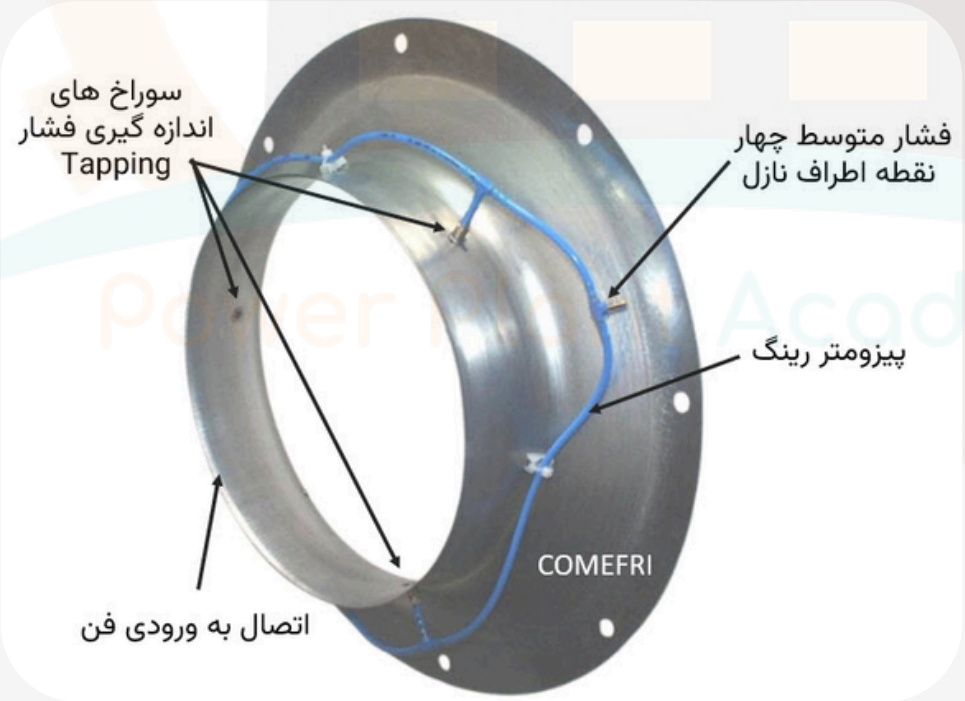

www.powerplantac.com

## پیزومتر رینگ در کانال‌های هوا

پیزومتر رینگ یکی از روش های اندازه گیری دبی هوا است که به‌ویژه در سیستم‌های تهویه مطبوع و فن های صنایع مختلف از جمله سیمان و غیره استفاده می‌شود.

## تعریف و نحوه کار

پیزومتر رینگ مطابق شکل زیر از چندین سوراخ در اطراف حلقه یک نازل تشکیل شده است که به دیواره آن متصل می‌شود. این سوراخ‌ها فشار استاتیک را از چند نقطه که معمولا با زاویه یکسان در محیط کانال تعبیه شده اند جمع‌آوری کرده و به یک سنسور فشار منتقل می‌کنند. با میانگین‌گیری از فشارهای اندازه‌گیری‌شده، دقت اندازه‌گیری افزایش می‌یابد.



در این پست، به یکی دیگر از انواع فشار یعنی فشار بخار می پردازیم و کاربرد آن در طراحی تجهیزات کاهنده فشار مانند اریفیس کاهنده فشار (Restriction Orifice) را بررسی می کنیم.

## فشار بخار چیست؟

فشار بخار (Vapor Pressure) فشاری است که توسط بخار یک ماده (معمولاً مایع) در حالت تعادل با فاز مایع آن اعمال می شود. به عبارت ساده تر، فشار بخار مایعات فشاری است که بخار مایع در یک دمای مشخص به دیواره های ظرف خود وارد می کند. این فشار به دما وابسته است و با افزایش دما، فشار بخار نیز افزایش می یابد.

## مثال: فشار بخار آب در دو دمای مختلف

- در دمای 25 درجه سلسیوس، فشار بخار آب حدود 3.17kpa است.
- در دمای 100 درجه سلسیوس، فشار بخار آب به 101.3kpa (1 اتمسفر) میرسد.

این مثال نشان میدهد که چگونه افزایش دما باعث افزایش فشار بخار می شود.



www.powerplantac.com

## کاربرد فشار بخار در اریفیس کاهنده فشار (Restriction Orifice)

شاید شما با مفهوم فشار بخار و کاویتاسیون در پمپ ها آشنا باشید ولی این مفهوم در طراحی اریفیس به منظور اندازه گیری دبی یا اریفیس های کاهنده فشار نیز کاربرد دارد.

اریفیس کاهنده فشار (Restriction Orifice) وسیله ای است که در مسیر جریان سیال قرار می گیرد و با ایجاد یک محدودیت، باعث کاهش فشار و افزایش سرعت سیال می شود.

## هدف از استفاده از اریفیس کاهنده فشار

- کاهش فشار سیال در سیستم های لوله کشی.
- کنترل دبی جریان.
- جلوگیری از افزایش فشار در بخش های خاصی از سیستم.

## اهمیت توجه به فشار بخار در طراحی اریفیس

هنگام طراحی اریفیس کاهنده فشار برای مایعات، فشار بخار مایع یک پارامتر حیاتی است. اگر فشار سیال در پایین دست اریفیس به زیر فشار بخار مایع برسد، مایع شروع به تبخیر می کند و پدیده ای به نام کاویتاسیون (Cavitation) رخ میدهد. کاویتاسیون میتواند باعث آسیب به اریفیس، لوله ها و سایر تجهیزات شود.

برای جلوگیری از کاویتاسیون، فشار پایین دست اریفیس باید بالاتر از فشار بخار مایع باشد.

## چالش: کاهش فشار به زیر فشار بخار

در برخی موارد، هدف از استفاده از اریفیس کاهنده فشار، کاهش فشار سیال به حدی است که ممکن است از فشار بخار مایع کمتر شود. این شرایط می تواند منجر به کاویتاسیون و مشکلات مرتبط با آن شود. اما سوال اینجاست: **چه راه حلهایی برای مدیریت این چالش وجود دارد؟**

www.powerplantac.com

## راه حلهای پیشنهادی

۱. استفاده از چندین اریفیس به صورت سری(Multi-stage restriction orifice):

- با قرار دادن چند اریفیس به صورت پشت سرهم، می توان کاهش فشار را به مراحل کوچک تر تقسیم کرد. این کار باعث می شود فشار در هر مرحله به آرامی کاهش یابد و از افت فشار ناگهانی جلوگیری شود.

۲. کنترل دمای سیال:

- با کاهش دمای سیال، فشار بخار آن نیز کاهش می یابد. این کار می تواند احتمال وقوع کاویتاسیون را کاهش دهد.

۳. استفاده از مواد مقاوم در برابر کاویتاسیون یا اجرای عملیات حرارتی خاص:

- در صورت امکان، از موادی مانند فولاد ضد زنگ یا آلیاژهای خاص استفاده شود که مقاومت بیشتری در برابر آسیب های ناشی از کاویتاسیون دارند.


www.powerplantac.com

همچنین برخی عملیات ویژه مانند stellite می توانند مقاومت در مقابل آسیب های کاویتاسیون را کاهش دهند.

۴. نصب تجهیزات اضافی:

- نصب تجهیزاتی مانند مخازن فشارشکن یا پمپ های تقویت فشار در پایین دست اریفیس می تواند به کنترل فشار کمک کند.

به عنوان جمع بندی فشار بخار یک پارامتر کلیدی در طراحی اریفیس کاهنده فشار برای مایعات است. برای جلوگیری از کاویتاسیون و آسیب به تجهیزات، باید اطمینان حاصل شود که فشار پایین دست اریفیس بالاتر از فشار بخار مایع است. با این حال، در مواردی که نیاز به کاهش فشار به زیر فشار بخار وجود دارد، می توان از راه حلهایی مانند استفاده از اریفیس چند مرحله ای و سایر روش هایی که توضیح داده شد استفاده کرد.

Power Plant Academy

در این بخش میخواهیم یکی دیگر از جذاب ترین و کاربردی ترین انواع فشار، یعنی **فشار بحرانی** را معرفی کنیم. این مفهوم نه تنها در علم ترمودینامیک اهمیت دارد، بلکه پایه اصلی فرایندهایی مانند مایع سازی گازها در صنعت است. اما سؤال کلیدی اینجاست: آیا با افزایش فشار میتوان هر گازی را در دمای محیط به مایع تبدیل کرد؟ پاسخ این سؤال را با بررسی دو مثال ملموس—گاز مایع (LPG) و گاز طبیعی—بیابید.

## گاز مایع (LPG): زمانی که شهرها به کپسول های گاز وابسته بودند

شاید شما هم به خاطر داشته باشید که پیش از توسعه شبکه های گازرسانی شهری، در بسیاری از منازل از کپسول های فلزی معروف به گاز مایع یا LPG استفاده می شد. این کپسول ها حاوی مخلوطی از گازهای پروپان و بوتان هستند که در دمای محیط و با اعمال فشاری نسبتاً پایین (حدود ۱۰-۱۵ بار) به حالت مایع درمی آیند. علت این تبدیل ساده، دمای بحرانی بالاتر این گازها نسبت به دمای محیط است:

- پروپان: دمای بحرانی ≈ 96degC
- بوتان: دمای بحرانی ≈ 152degC

از آنجا که دمای بحرانی این گازها بالاتر از دمای اتاق است، با افزایش فشار (بدون نیاز به سردسازی شدید) به راحتی مایع می شوند.

## گاز طبیعی: همان گازی که امروز در خانه ها و خودروها استفاده می شود

گاز طبیعی که ترکیب اصلی آن متان است، امروزه از طریق شبکه های لوله کشی به منازل رسیده و به عنوان سوخت پاک در خودروهای گازسوز (CNG) نیز کاربرد دارد. اما تفاوت کلیدی این گاز با LPG چیست؟

- متان: دمای بحرانی ≈ منفی 82.5 درجه سلسیوس
- فشار بحرانی ≈ 46 بار

متان در دمای محیط، مثلا 25 درجه سلسیوس، حتی با اعمال فشار بسیار بالا (مثلاً 100 بار) نیز هرگز به مایع تبدیل نمی شود، زیرا دمای محیط بسیار بالاتر از دمای بحرانی آن است. برای مایع سازی متان (تولید LNG یا گاز طبیعی مایع شده)، باید همزمان دو شرط فراهم شود:

۱. کاهش دما به زیر منفی 162 درجه سلسیوس با استفاده از سیستم های کرایوژنیک.

۲. اعمال فشار متناسب.

به همین دلیل، LNG در مخازن عایق بندی شده و تحت دمای فوق العاده پایین نگهداری می شود، در حالی که گاز طبیعی در خطوط لوله و خودروهای گازسوز به صورت گاز فشرده (CNG) و بدون تغییر فاز به مایع استفاده می شود.

## نتیجه گیری: فشار بحرانی، کلید درک تفاوت های CNG، LPG و LNG

فشار بحرانی مرزی است که امکان تبدیل گاز به مایع را در یک دمای مشخص تعیین می کند. این مفهوم به خوبی تفاوت بین CNG، LPG و LNG را توضیح می دهد:

- LPG: ترکیبی از پروپان و بوتان با دمای بحرانی بالا (نزدیک به دمای محیط) است. به همین دلیل، با اعمال فشار متوسط (15-10 بار) در دمای اتاق به مایع تبدیل می شود. این ویژگی، ذخیره سازی آن در کپسول های خانگی را ساده می کند.

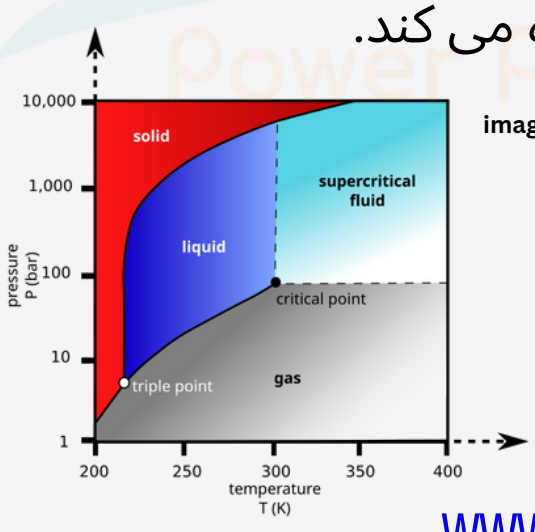



image source:en.wikipedia.org

- CNG: متانِ فشرده شده(به علاوه اندکی گازهای دیگر) به صورت گاز است. از آنجا که دمای بحرانی متان بسیار پایین (منفی 82.5degc) است، حتی با فشار 200 بار نیز در دمای محیط به مایع تبدیل نمی شود. به همین دلیل، متان به صورت گاز فشرده (و نه مایع) در خطوط لوله و خودروها استفاده می شود.
- LNG: برای مایع سازی متان، باید دما را به زیر دمای بحرانی آن رساند. این فرایند نیازمند ترکیب فشار و سرمایش شدید است تا مولکول های متان به مایع تبدیل شوند.

**در یک نگاه:**

فشار بحرانی نشان می دهد که چرا برخی گازها مانند پروپان (LPG) به راحتی در دمای روزمره مایع می شوند، اما متان (LNG) برای مایع شدن به فناوری های پیچیده تر نیاز دارد. این تفاوت ها، پایه طراحی سیستم های انرژی امروزی، از کپسولهای گاز خانگی تا مخازن عظیم LNG است.

با درک فشار بحرانی، میتوانیم به اهمیت علم ترمودینامیک در حل چالش های انرژی آینده پی ببریم! 🔬⚡

## از تصفیه آب تا نگهداری مواد غذایی

### فشار اسمزی چیست؟

فشار اسمزی، فشاری است که برای متوقف کردن جریان خودبه خودی آب از ناحیه ای با غلظت کم (مثلاً آب خالص) به ناحیه ای با غلظت بالا (مثلاً آب شور) نیاز است.

- مثال ساده: فرض کنید دو ظرف دارید که با یک غشای نیمه تراوا از هم جدا شده اند. در یک طرف، آب خالص و در طرف دیگر، آب شور قرار دارد. آب خالص به طور طبیعی از غشا عبور می کند تا غلظت نمک در دو طرف برابر شود. فشار اسمزی، حداقل فشاری است که باید به طرف آب شور وارد کنید تا این جریان آب را متوقف کند.

### کاربرد خانگی و صنعتی فشار اسمزی: آب شیرین کنهای اسمزی (اسمز معکوس)

یکی از مهم ترین فناوری های مبتنی بر فشار اسمزی، سیستم های اسمز معکوس (RO) است که برای نمکزدایی آب دریا یا تصفیه آب آشامیدنی استفاده می شود:


www.powerplantac.com

1. **چگونه کار میکند؟** آب شور یا آلوده تحت فشار بالا به غشای نیمه تراوا پمپاژ می شود. فشار اعمال شده از فشار اسمزی بیشتر است، بنابراین مولکول های آب به اجبار از غشا عبور می کنند، اما نمک ها و ناخالصی ها پشت غشا باقی می مانند. نتیجه: آب شیرین و قابل آشامیدن!
2. **کاربرد روزمره**: بسیاری از آبسردکن های اداری یا فیلترهای زیرسینکی از همین فناوری استفاده می کنند تا املاح مضر آب را حذف کنند.

**کاربرد ساده فشار اسمزی – نگهداری مواد غذایی با نمک یا شکر**

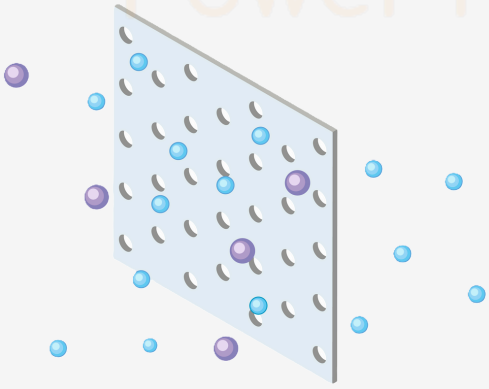
- **مثال**: وقتی ماهی یا گوشت را با نمک زیاد آغشته می کنید، نمک باعث ایجاد محیطی با غلظت بالا در سطح ماده غذایی می شود.
- **چه اتفاقی میافتد؟** فشار اسمزی ناشی از نمک، آب را از داخل سلول های باکتری ها و قارچ ها بیرون می کشد. این کار باعث کم آبی و مرگ میکروب ها می شود و ماده غذایی برای مدت طولانی تری سالم می ماند.
- **کاربرد آشپزخانه ای**: تهیه ترشی ها، مرباها، یا ماهی دودی!

**چرا فشار اسمزی مهم است؟**

- **در طبیعت:** جذب آب توسط ریشه گیاهان، تعادل آب در خاک های شور.
- **در صنعت:** نمک زدایی آب شور و لب شور، تولید داروها، و صنایع غذایی.

**کاربرد ساده فشار اسمزی – نگهداری مواد غذایی با نمک یا شکر**

- **مثال**: وقتی ماهی یا گوشت را با نمک زیاد آغشته می کنید، نمک باعث ایجاد محیطی با غلظت بالا در سطح ماده غذایی می شود.
- **چه اتفاقی میافتد؟** فشار اسمزی ناشی از نمک، آب را از داخل سلول های باکتری ها و قارچ ها بیرون می کشد. این کار باعث کم آبی و مرگ میکروب ها می شود و ماده غذایی برای مدت طولانی تری سالم می ماند.
- **کاربرد آشپزخانه ای**: تهیه ترشی ها، مرباها، یا ماهی دودی!





www.powerplantac.com

## فشار اشباع و نقش آن در کاهش دمای جوش: کاربردهای صنعتی و علمی

در این بخش، به فشار اشباع می پردازیم و بررسی می کنیم که چگونه می توان از کاهش فشار برای کاهش دمای جوش مایعات استفاده کرد. این پدیده در صنایع غذایی، مهندسی شیمی و فرآیندهای صنعتی اهمیت زیادی دارد.

فشار اشباع چیست؟

فشار اشباع، فشاری است که در آن مایع و بخار آن در تعادل هستند. در این شرایط، مایع شروع به تبخیر می کند و در عین حال، بخار نیز می تواند میعان یابد.

✅ ویژگی مهم:

- وقتی فشار محیطی کاهش یابد، دمایی که در آن مایع می جوشد (دمای اشباع) کاهش پیدا می کند.
- وقتی فشار افزایش یابد، دمای اشباع بالاتر می رود و مایع برای جوشیدن به دمای بیشتری نیاز دارد.

✅ **مثال:**

- در سطح دریا (فشار 1 اتمسفر)، آب در دمای 100degC می جوشد.
- در ارتفاع 3000 متری (فشار 70 کیلوپاسکال)، آب در دمای 90degC به جوش می آید.
- در فشار 10 کیلوپاسکال (مانند یک محفظه خلأ)، آب در دمای 45degC به جوش می آید.

## کاهش فشار و تأثیر آن بر دمای جوش در صنعت

کاهش فشار یکی از روش های مؤثر برای کاهش دمای جوش مایعات است. این ویژگی در بسیاری از صنایع برای بهینه سازی فرآیندها و حفظ کیفیت محصولات استفاده می شود.

🌟 ۱- صنایع غذایی: تولید رب گوجه فرنگی و آب میوه کنسانتره

یکی از کاربردهای مهم کاهش فشار، تولید محصولات غلیظ شده مانند رب گوجه فرنگی و آب میوه کنسانتره است.

**چالش:**

- اگر آب گوجه فرنگی یا آب میوه در فشار معمولی (1 اتمسفر) تبخیر شود، دمای آن به حدود 100degC یا بالاتر می رسد.

- این دمای بالا باعث از بین رفتن ویتامین ها و تغییر طعم محصول می شود.

**راه حل:**

- در تبخیرکننده های تحت خلأ، فشار کاهش می یابد.
- در نتیجه، دمای تبخیر آب کاهش پیدا می کند و می توان در دمای 50 تا 70 درجه سلسیوس آب اضافی را تبخیر کرد، بدون اینکه کیفیت محصول کاهش یابد.

✓ **نتیجه:** 🔹 حفظ مواد مغذی و طعم طبیعی محصول 🔹 افزایش بازدهی تولید 🔹 کاهش مصرف انرژی نسبت به جوشاندن در فشار معمولی

### 🌟 ۲- مهندسی شیمی: تقطیر در خلأ (Vacuum Distillation)

در صنایع شیمیایی، برخی مواد به دلیل حساسیت به گرما نمی توانند در دمای بالا تقطیر شوند.

✓ **چالش:**

- در فشار 1 اتمسفر، برخی ترکیبات شیمیایی در دماهای بالا تجزیه می شوند.

✓ **راه حل:**

- با کاهش فشار، دمای جوش کاهش می یابد و مواد می توانند بدون تخریب در دمای پایین تری تبخیر شوند.

✓ **کاربرد:** 🔹 فرآوری روغنهای صنعتی و دارویی 🔹 تولید عطر و اسانسهای طبیعی

### ۳- خشک کن های صنعتی و فرآوری مواد حساس به حرارت

در صنایع داروسازی و تولید مواد غذایی خشک، حذف آب در دمای بالا ممکن است باعث خرابی ساختار مواد و از بین رفتن خواص مفید آنها شود.

✓ **چالش:**

- بسیاری از داروها و مواد غذایی در دمای بالا آسیب می بینند.

✓ **راه حل:**

- در خشک کن های تحت خلأ، کاهش فشار باعث کاهش دمای تبخیر آب شده و فرآیند خشک کردن با کمترین آسیب حرارتی انجام می شود.

✓ **نتیجه:** 🔹 حفظ کیفیت محصول نهایی 🔹 افزایش ماندگاری محصولات دارویی و غذایی

www.powerplantac.com

### 🔹 روش های محاسبه دمای جوش در فشارهای مختلف

برای محاسبه دمای جوش یک مایع در فشارهای مختلف، روشهای مختلفی وجود دارد. یکی از این روش ها، معادله آنتوان (Antoine Equation) است.

$$\frac{B}{C+T} - A = \log P$$

که در آن:

- P فشار بخار (mmHg)
- T دما (C°)
- A,B,C ضرایب ثابت برای هر ماده خاص

### ✅ مثال: محاسبه دمای جوش آب در فشار 50kPa

با حل این معادله، دمای جوش حدود 100degC به دست می آید.

علاوه بر معادله آنتوان، روش های دیگری مانند مدل های ترمودینامیکی و جداول تجربی برای تعیین دمای اشباع در فشارهای مختلف استفاده می شوند.



www.powerplantac.com

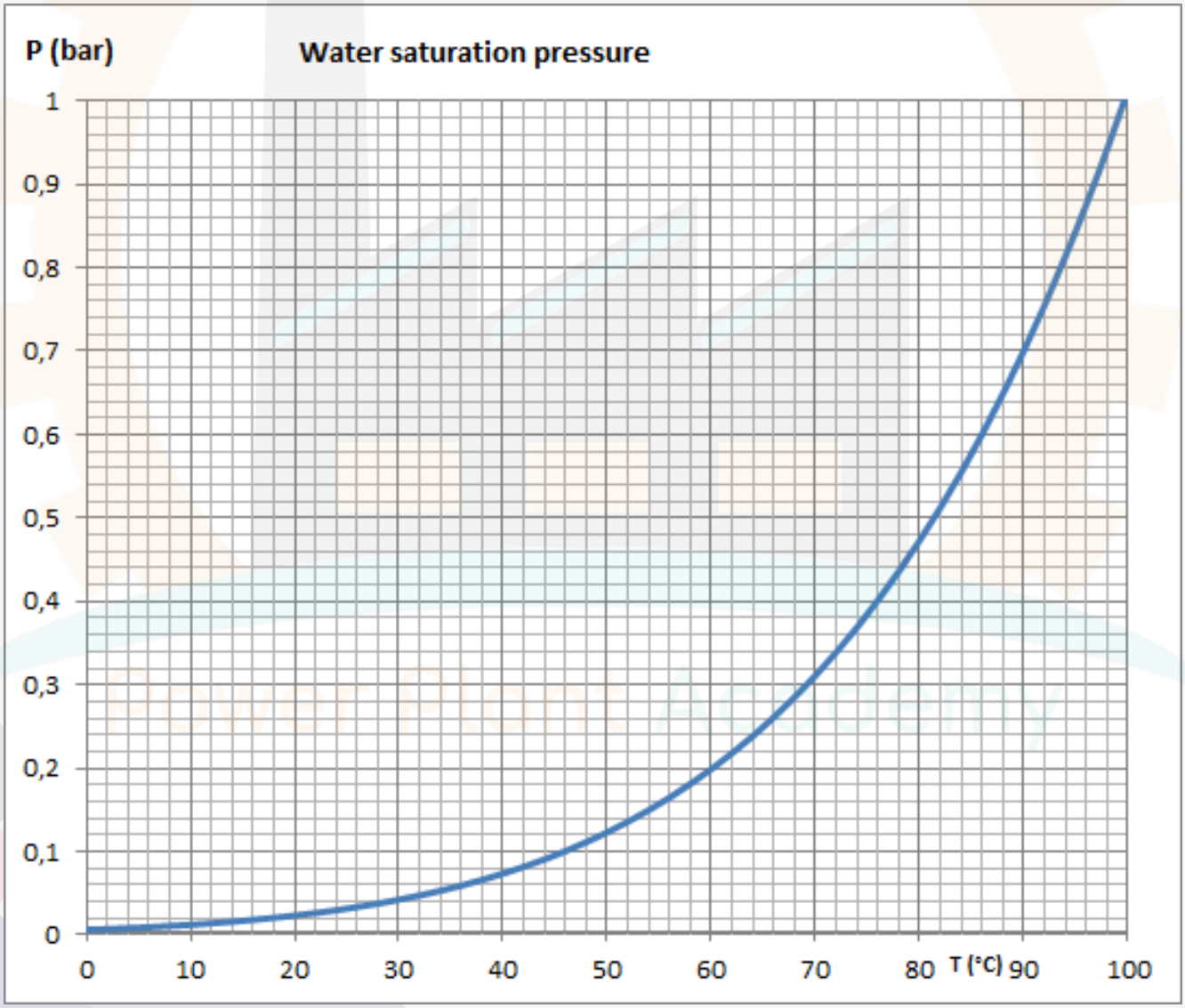
# بخش یازدهم : فشار اشباع

## جمع بندی

✓ فشار اشباع، فشار تعادلی بین مایع و بخار است.

✓ کاهش فشار باعث کاهش دمای جوش مایعات میشود.

✓ این ویژگی در فرآیندهایی مانند تولید رب گوجه، تغلیظ آب میوه، تقطیر در خلأ و خشک کردن مواد حساس به گرما مورد استفاده قرار می گیرد.






www.powerplantac.com

# پیوست 1: جدول تبدیل واحدها

| From ▼ / To ▶ | psi | mbar | bar | atm | Pa | kPa | MPa | $mmH_2O$ | $in.H_2O$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| psi | 1 | 68.95 | 0.0689 | 0.0681 | 6895 | 6.895 | 0.006895 | 703.8 | 27.71 |
| mbar | 0.0145 | 1 | 0.001 | 0.000967 | 100 | 0.100 | 0.0001 | 10.21 | 0.402 |
| bar | 14.504 | 1000 | 1 | 0.987 | 100000 | 100 | 0.1 | 10210 | 401.9 |
| atm | 14.7 | 1013.25 | 1.01325 | 1 | 101325 | 101.325 | 0.1013 | 10343 | 407.2 |
| Pa | 0.000145 | 0.01 | 0.00001 | 0.00001 | 1 | 0.001 | 0.000001 | 0.102 | 0.00402 |
| kPa | 0.14504 | 10.0 | 0.01 | 0.00987 | 1000 | 1 | 0.001 | 102.07 | 4.019 |
| MPa | 145.04 | 10000 | 10 | 9.87 | 100000 | 1000 | 1 | 101971.6 | 4014.6 |
| $mmH2O$ | 0.001421 | 0.098 | 0.000098 | 0.000097 | 9.8 | 0.0098 | 0.0000098 | 1 | 0.0394 |
| $in.H2O$ | 0.0361 | 2.488 | 0.002488 | 0.00246 | 248.8 | 0.2488 | 0.00025 | 25.4 | 1 |



www.powerplantac.com

# پیوست 2: مقایسه برخی از انواع فشار

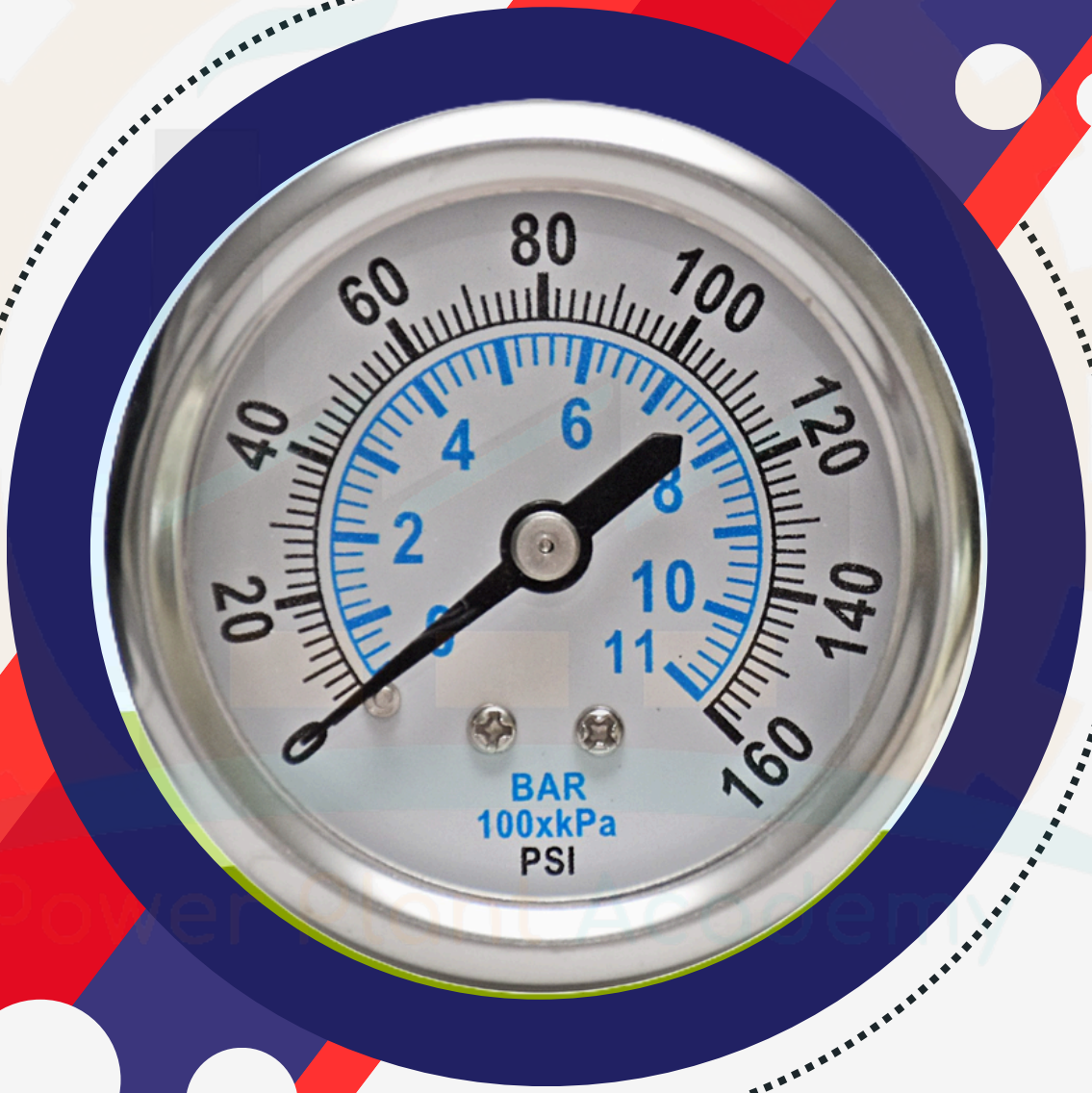
| نوع فشار | تعریف | روش اندازه‌گیری | واحدهای متداول | کاربردهای صنعتی |
|---|---|---|---|---|
| فشار مطلق (Absolute Pressure) | فشار نسبت به خلأ مطلق | سنسورهای فشار مطلق | Pa, psi, bar | خلأ، صنایع هوافضا |
| فشار نسبی (Gauge Pressure) | فشار نسبت به فشار اتمسفر | گیج فشار، ترانسمیتر فشار | bar, psi | هیدرولیک، پنوماتیک |
| فشار تفاضلی (Differential Pressure) | اختلاف فشار بین دو نقطه | ترانسمیتر DP | $mmH_2O$, mbar | اندازه‌گیری دبی، سطح مخازن |
| فشار اتمسفری (Atmospheric Pressure) | فشار هوای محیط | بارومتر، ارتفاع‌سنج | mmHg, hPa | هواشناسی، ناوبری |

Power Plant Academy

# Pressure Booklet

Rev00

An Introduction to Types and Importance




powerplantAcademy

www.powerplantac.com