

مکانیک سیالات

عناوین درس:

- خواص سیالات
- استاتیک سیالات
- جریان سیال (معادلات برنولی، اویلر، نویه- استوکس)
- آنالیز بعدی
- سیال تراکم ناپذیر نیوتنی (جریان در لوله ها)
- تلمبه ها
- تعیین اندازه لوله ها

نحوه نمره دادن:

- مسائل ۵ نمره
- کوئیز ۱ نمره
- میان ترم ۶ نمره
- پایان ترم ۸ نمره

فصل اول

خواص سیالات

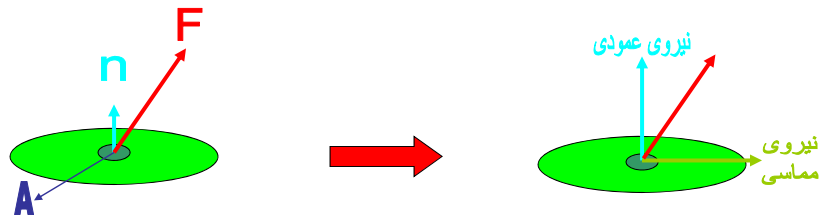
خواص سیالات:

سیال به ماده ای گفته می شود که در برابر هر نیروی مماسی وارد بر آن تغییر شکل دهد و این تغییر شکل پیوسته باشد.

سیالات به دو دسته گازها و مایعات تقسیم می شوند.

- گازها تراکم پذیرند، اما مایعات عملاً تراکم ناپذیرند.
- مایعات حجم معینی را اشغال می کنند، اما گازها هر حجمی را اشغال می کنند.

فشار و تنش:



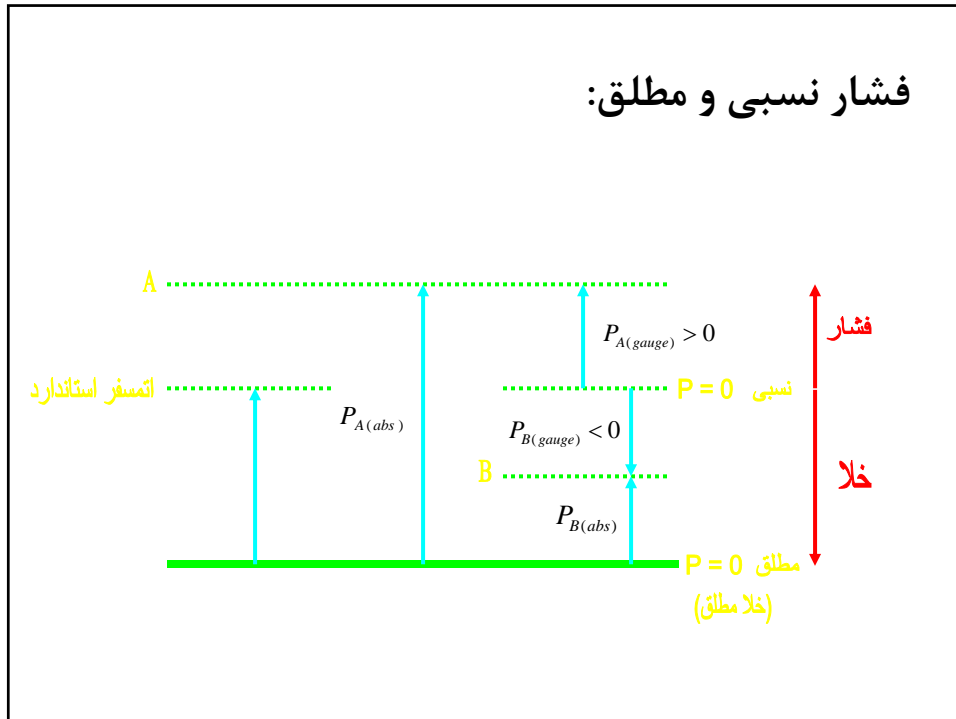
• نیروی عمودی: F_n

• نیروی مماسی: F_t

$$\text{Normal Stress} = \frac{F_n}{A} = P \quad [Pa]$$

$$\text{Shear Stress} = \frac{F_t}{A} = \tau \quad [N/m^2]$$

فشار نسبی و مطلق:



چند نکته:

$$P_{abs.} = P_{atm.} + P_{gauge}$$

اگر گفته شود که مثلا 100 mm Hg خلا است، یعنی فشار برابر است با:

$$P_{abs} = 760 - 100 = 660 \text{ mmHg}$$

$$P_{gauge} = -100 \text{ mmHg}$$

لازم به یادآوری است که اتمسفر استاندارد برابر است با:

$$101325 \text{ Pa}$$

$$14.7 \text{ Psi}$$

$$760 \text{ mmHg}$$

$$1.01325 \text{ bar}$$

چگالی سیال:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad \frac{Kg}{m^3} \text{ or } \frac{lb}{ft^3} \text{ or } \frac{g}{cm^3}$$

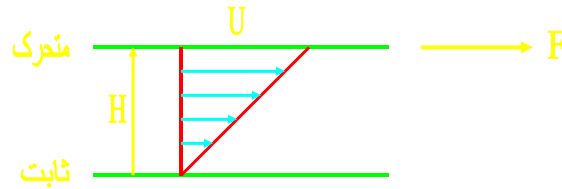
$$S.G. = \frac{\rho}{\rho_{water}} \quad \bullet \text{ برای مایعات}$$

$$S.G. = \frac{\rho_{gas}}{\rho_{air}} = \frac{\frac{PM_{gas}}{RT}}{\frac{PM_{air}}{RT}} = \frac{M_{gas}}{M_{air}} \quad \bullet \text{ برای گازها}$$

نکاتی در مورد چگالی سیال:

- در مورد مایعات معمولا از S.G._{20/20} یا S.G._{20/4} برای گزارش کردن استفاده می شود.
- چگالی مایعات معمولا با افزایش دما کاهش می یابد. به غیر از آب که دارای یک حداکثر چگالی در ۴ درجه سانتیگراد است.

ویسکوزیته (لزجت یا گرانیروی) سیال:



$$\frac{F}{A} = \tau \propto \frac{U}{H}$$

$$\text{in general: } \tau \propto \frac{dU}{dy}$$

$$\text{Shear Stress } \leftarrow \tau = -\mu \frac{dU}{dy} \rightarrow \text{Shear Rate}$$

واحد ویسکوزیته:

$$\frac{N}{m^2} = \mu \frac{m/s}{m} \Rightarrow \text{در سیستم SI}$$

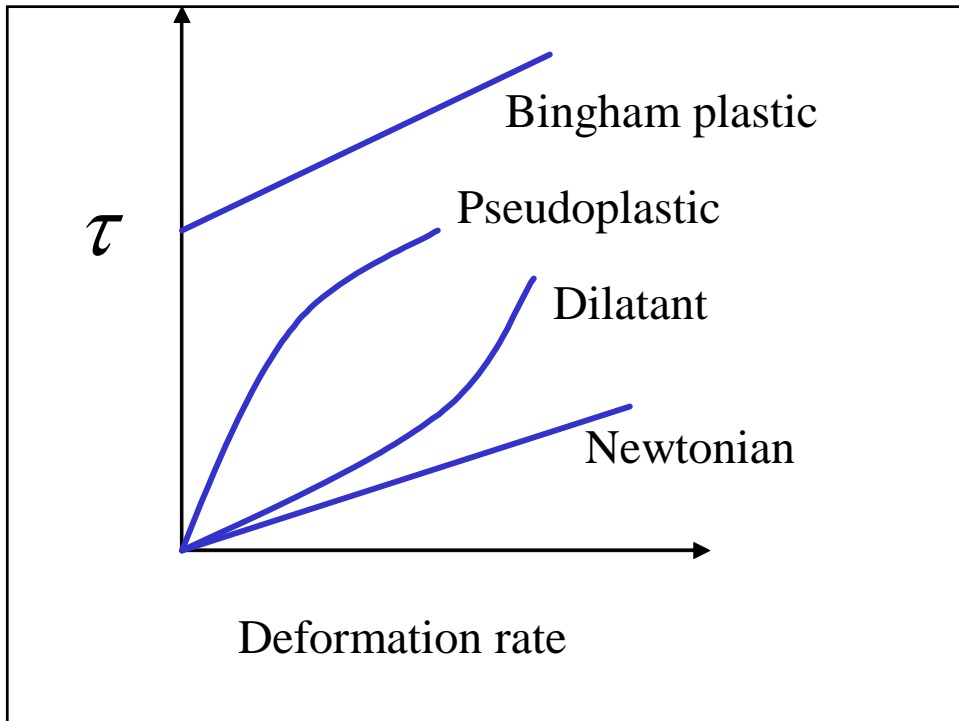
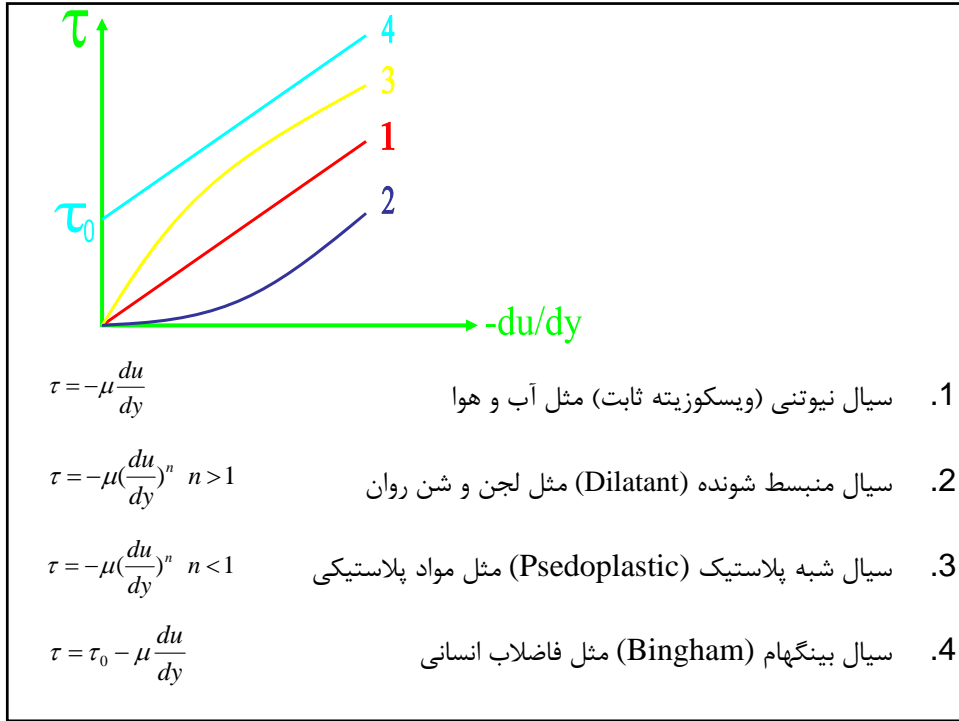
$$\mu = \frac{N \cdot s}{m^2} = Pa \cdot s = \frac{Kg}{m \cdot s}$$

$$\mu = \text{poise (P)} = 100 \text{ cP} \quad \text{در سیستم CGS}$$

$$\mu \text{ for water in } 20^\circ C = 1 \text{ cP}$$

$$1 \text{ cP} = 10^{-3} \text{ Pa} \cdot s \quad \text{or} \quad 1 \text{ P} = 0.1 \text{ Pa} \cdot s$$


$$\mu = \frac{lb \cdot s}{ft^2} \quad \text{در سیستم انگلیسی}$$



ویسکوزیته ظاهری و سینماتیک:

- ویسکوزیته ظاهری

$$\tau = -\mu \left(\frac{du}{dy}\right)^n = - \left[\mu \left(\frac{du}{dy}\right)^{n-1} \right] \left(\frac{du}{dy}\right)$$



- ویسکوزیته سینماتیک

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

$$\nu = \frac{\text{Kg} / \text{m.s}}{\text{Kg} / \text{m}^3} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

تغییرات ویسکوزیته با دما و فشار:

- مایعات

$$T \uparrow \Rightarrow \mu \downarrow$$

- گازها

$$T \uparrow \Rightarrow \mu \uparrow$$

$$P \uparrow \Rightarrow \mu \uparrow \longrightarrow \text{ولی در فشارهای پایین،}$$

تغییرات محسوس نیست

تراکم پذیری:

- در بحث ویسکوزیته راجع به تغییرات سیال با تنش برشی صحبت کردیم. تراکم پذیری مربوط می شود به تغییرات سیال بر اثر فشار.
- ضریب تراکم پذیری یا ضریب کشسانی حجمی:

$$K = - \frac{\Delta P}{\Delta V/V} \Big|_T = \frac{\Delta P}{\Delta \rho / \rho} \Big|_T$$

$$= -V \frac{\partial P}{\partial V} \Big|_T = \rho \frac{\partial P}{\partial \rho} \Big|_T$$

واحد آن همان واحد فشار است.

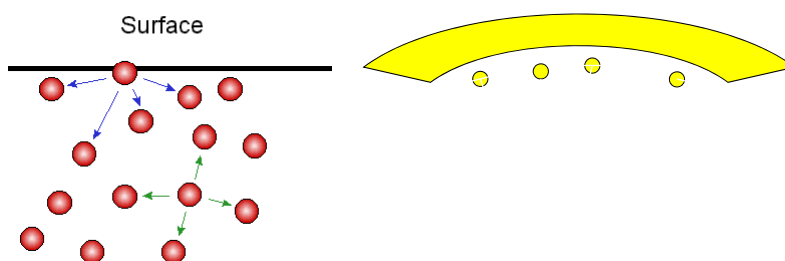
$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

• سرعت صوت:

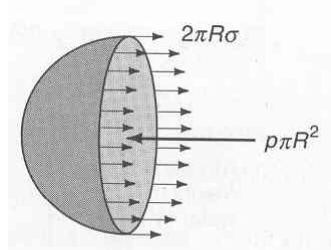
کشش سطحی:

- کشش سطحی ناشی از وجود نیروی جاذبه بین مولکول های هم شکل است. کشش سطحی کاری است که لازم است تا مصرف شود تا اینکه واحد سطح مایع را از هم بپاشد.

$$\sigma = \frac{N \cdot m}{m^2} = N / m$$



رابطه فشار درون یک قطره با کشش سطحی آن:

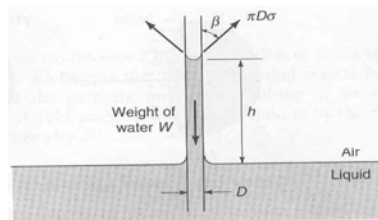


$$P \pi R^2 = \sigma 2\pi R$$

$$\Rightarrow P = \frac{2\sigma}{R}$$

رابطه ارتفاع مایع در لوله موئینه با کشش سطحی:

مؤلفه عمودی نیروها باید با هم برابر باشند:

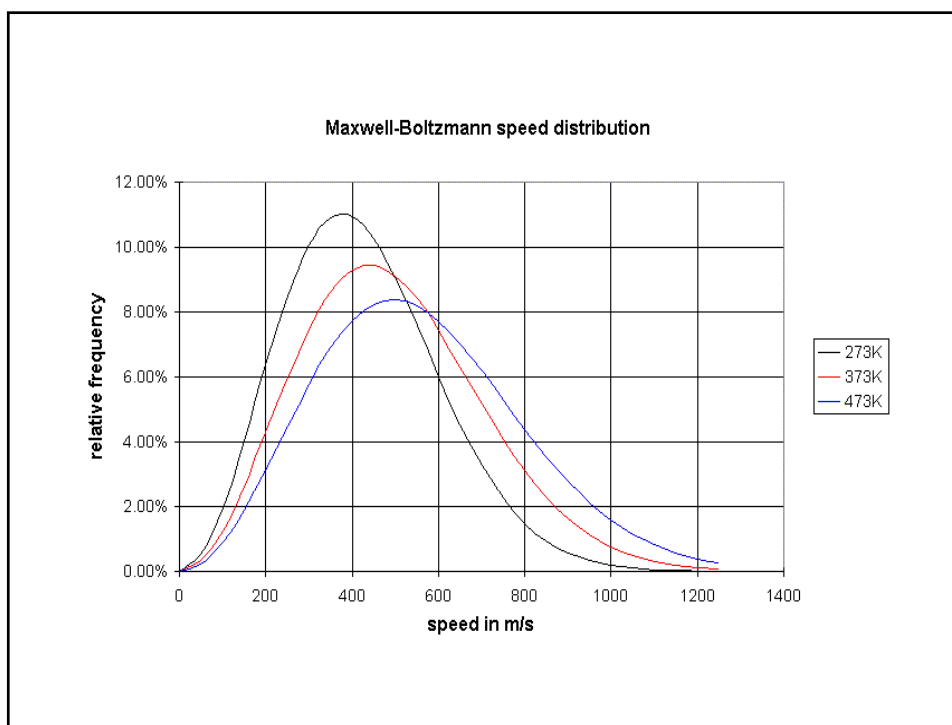
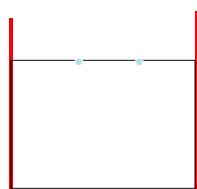


$$\sigma \pi D \cos \beta = \rho g \frac{\pi D^2}{4} h$$

$$h = \frac{4\sigma \cos \beta}{\rho g D}$$

فشار بخار:

- در سطح مایع، انرژی تعدادی از مولکولها در حدی است که می‌تواند بر نیروی جاذبه بین مولکولها غلبه کند و از سطح مایع خارج شود و به فاز بخار برود. این باعث بوجود آمدن فشار بخار مایعات است.



نکته:

هر چه دما بیشتر شود، فشار بخار بالا می رود. دلیل این مساله این است که تعداد مولکول هایی که مقدار انرژی بیشتری از انرژی متوسط به دست می آورند، زیاد می شود. وقتی فشار بخار برابر فشار محیط خارجی شود، پدیده جوشش اتفاق می افتد. بر این اساس، نقطه جوش نرمال دمایی است که در آن فشار بخار برابر با فشار 1 atm است.

خلأزایی Cavitation:

- بطور کلی در جریان سیال ممکن است محلی وجود داشته باشد که فشار در آن نقطه کمتر از فشار بخار آن مایع در آن دما (دمای سیال) باشد. در این حالت حبابهایی از بخار در آن نقطه خاص تولید می شود که به این پدیده خلأ زایی یا cavitation گویند.
- این پدیده می تواند مخرب باشد، به این دلیل که وقتی این حبابها به فشار بالاتر بروند، ناگهان از بین می روند و این باعث ایجاد ضربه فشاری در آن نقطه می شود که می تواند مخرب باشد.

معادله گاز کامل:

$$PV = RT \quad PV = \frac{m}{M} RT$$

or

$$PV = nRT \quad \rho = \frac{m}{V} = \frac{PM}{RT}$$

خواص حرارتی:

$$C_p = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_p \Rightarrow \Delta h = \int C_p dT$$

$$C_v = \left. \frac{\partial U}{\partial T} \right|_v \Rightarrow \Delta U = \int C_v dT$$

$$k = C_p / C_v$$

- $k = 1.67$: گاز یک مولکولی
- $k = 1.4$: گاز دو مولکولی
- $k = 1.33$: گاز سه مولکولی یا بیشتر