



پدیده های انتقال

محمد احمدی دریاکناری



- ۱- نمره کوییز، حضور در کلاس و تمرین ۶
- ۳- نمره میانترم ۴
- ۳- نمره پایان ترم ۱۰



مراجع

- ۱- پدیده های انتقال برد
- ۲- مقدمه ای بر پدیده های انتقال در مواد گسکل
- ۳- جزوه پدیده های انتقال دکتر حلالی – استاد دانشگاه شریف
- ۴- جزوه پدیده های انتقال دکتر فیروزی – استاد دانشگاه امیرکبیر



برنامه درسی

هفته

1	مقدمه و سیال در حالت سکون و تبدیل واحدها
2	ویسکوزیته نیوتنی و غیرنیوتنی، ویسکوزیته سینماتیک و ویسکوزیته گازها
3	ویسکوزیته مایعات، ویسکوزیته سوسپانسیون ها
4	موازنه لایه ای اندازه حرکت و شرایط مرزی جریان آرام، جریان فیلم لرزان
5	جریان در لوله مدور و جریان دوسیال امتزاج ناپذیر مجاور هم
6	جریان در حالت تراکم پذیر و ناپایدار، جریان خزشی حول یک کره
7	جریان نا آرام، آزمایش رینولد، تئوری توربولنس
8	معادله برنولی
9	مفاهیم فیزیکی و معادلات نرخ انتقال حرارت
10	انتقال گرما از طریق رسانش ۱
11	انتقال گرما از طریق رسانش ۲
12	انتقال گرما از طریق هدایت
13	انتقال حرارت از طریق تشعشع
14	نحوه انتقال حرارت در قالب های ریخته گری ماسه ای و فلزی



مقدمه

منظور از پدیده‌های انتقال، انتقال به بخش زیر است:

1. انتقال مومنتوم (ریناویک سیالات)
2. انتقال حرارت
3. انتقال جرم



چرا این سه بحث ظاهراً متفاوت را با هم بررسی می‌کنیم؟

عموماً این سه مورد انتقال با هم اتفاق می‌افتند. حداقل دو مورد با هم اتفاق می‌افتند. البته می‌توان

مسئله را ساده کرد و ایزوله نمود و فقط یک مورد داشت. هم چنین فرم کلی معادلات این سه مورد شبیه به

هم است. قوانین پایه آنها نیز مشابه است:

$$1. \tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

ویسکوزیته نیوتن

$$2. q_y = -k \frac{dT}{dy}$$

هدایت فوری

$$3. j_{Ay} = -D_A \frac{dC_A}{dy}$$

دیفوزیون فیک



$$\tau_{yx} = -\mu \frac{dv_x}{dy}$$

↙ شارپدیده
 ↘ ضریب تناسب
 ↘ گویان کمیت

(در این جا موشتوم)

شار موشتوم P ، $\frac{P}{At} \therefore$ موشتوم

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{ma}{A} = \frac{m \cdot v}{A \cdot t} = \frac{P}{At}$$

تنش برشی

در سیالات تنش برشی موجب انتقال می شود

$$q = \frac{Q}{A} \quad \text{سطح مقطع}$$

$$q: \text{در دایع شار حرارت را نشان می دهد.} \quad T: \text{درجه حرارت}$$

J شار نفوذ است، مقدار عبور ماده از سطح هر ناحیه در واحد زمان می باشد بنابراین به صورت $\text{mol/m}^2\text{s}^1$ بیان می شود.

D ضریب نفوذ یا پخش می باشد. ابعاد آن سطح در واحد زمان می باشد؛ بنابراین یکای آن می تواند به صورت m^2/s بیان گردد.



این پدیده‌ها در سه معیاس برری می‌شوند :

۱- ماکروسکوپی $cm - m$ ← برری اولیهٔ فیزیکی - کلی بودن . مثال : برری کلی راکتور

۲- میکروسکوپی $micron - cm$ ← برری یک سالن چچی از کل وسیله . مثال : بخشی کوچک از راکتور

۳- مولکولی $1 - 1000 \text{ nm}$ ← برری اتم‌ها برری اثرشان روی یکدیگر - مثال : پیدایشن ضرایب تناسب .

اهمیت پدیده های انتقال در مهندسی مواد با برخی از مثال ها

- ✓ در انجماد و ریخته گری، انتقال حرارت و مومنتوم سرعت سردشدن، ریزساختار و عیوب را کنترل می کند.
- ✓ . در جوشکاری، توزیع دما و جریان مذاب بر نرخ سردشدن، تنش باقی مانده و کیفیت اتصال اثر می گذارد.
- ✓ . در عملیات حرارتی، انتقال حرارت و نفوذ، سینتیک آستنیت سازی، کوئچ و تشکیل فازها را تعیین می کند.
- ✓ . نفوذ به عنوان انتقال جرم، در سمانتاسیون، نیتروژن دهی، رسوب سختی و تغییرات فازی کلیدی است.



- ✓ . در متالورژی پودر و زینتر، انتقال جرم و حرارت باعث پیوند ذرات و چگالش می‌شود.
- ✓ . در تولید لایه‌های نازک و پوشش‌ها مانند **CVD** و **PVD**، انتقال جرم و حرارت نرخ رسوب و یکنواختی را کنترل می‌کند.
- ✓ در خوردگی و اکسیداسیون، انتقال یون‌ها و اکسیژن سرعت واکنش و تخریب ماده را مشخص می‌کند.
- ✓ در کامپوزیت‌ها و پلیمرها، انتقال حرارت و مومنتوم بر شکل‌دهی، پخت و خواص نهایی مؤثر است.
- ✓ بنابراین طراحی و بهینه‌سازی فرآیندها، کاهش عیب، صرفه‌جویی انرژی و توسعه مواد جدید به پدیده‌های انتقال وابسته است.



دینامیک و استاتیک سیال

سیال : ماده ایست که اگر تنش برشی هر چند کوچک به آن وارد شود ، مادامی که این تنش وجود دارد



حرکت می کند.

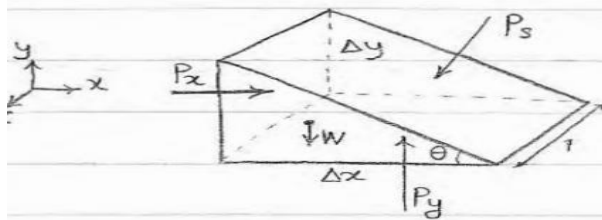
در دینامیک سیالات حرکت سیال داریم ولی در استاتیک سیالات ، سیال ساکن داریم.

بعبارت دیگر سیال تنش برشی را تحمل نمی کند ولی فشار را می تواند تحمل کند. پس در استاتیک سیالات

مانند تنش برشی نداریم ولی تنش فشاری داریم.

فشار در یک نقطه در سیالات ساکن

فشار در یک نقطه: یک ایوان حجمی در نظر می‌گیریم. (به شکل گود)



P_y ، P_x و P_s از جانب دیگر سیالات دارد می‌شود و W نیز وزن ایوان است.

شرط تعادل: $\sum F = 0$

$$F_x = P_x \cdot \Delta y \cdot 1$$

$$x: P_x \Delta y = P_s \Delta s \sin \theta$$

$$y: P_y \cdot \Delta x = P_s \cdot \Delta s \cos \theta + \rho \cdot V g$$

$$V = \frac{\Delta x \cdot \Delta y}{2}$$

$$\Delta y = \Delta s \cdot \sin \theta$$

$$\Delta x = \Delta s \cos \theta$$

$$\rightarrow P_x = P_s$$

$$(P_y - P_s) \Delta x = \rho g \frac{\Delta x \Delta y}{2}$$

یعنی راه می‌توان به صفر میل داد. شرط حدی: $\Delta x, \Delta y \rightarrow 0$

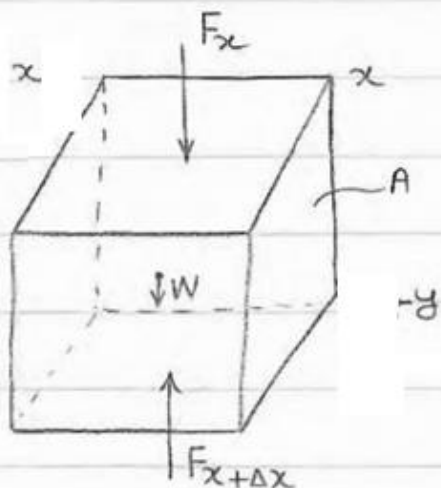
$$\Rightarrow \Delta x \cdot \Delta y \rightarrow 0$$

$$\rightarrow P_y = P_s \Rightarrow P_x = P_y = P_s$$

نتیجه می‌گیریم: فشار در هر جهتی برای یک نقطه با هم برابر است.

تغییرات فشار در سیال ساکن

یک المان حجمی برای سیال در نظر می‌گیریم:



در راستای y ، برآیند نیرو باید صفر باشد (معبارتی در)

طرفین سطح در جهت y ، اختلاف نیرو داریم.

در غیر این صورت سیال جاری می‌شود.

$$P_x \cdot A + A \Delta x \rho g = P_{x+\Delta x} A \rightarrow \frac{P_{x+\Delta x} - P_x}{\Delta x} = \rho g$$

$$\xrightarrow{\Delta x \rightarrow 0} \frac{dP}{dx} = \rho g \rightarrow \int_{P_0}^P dP = \int_{x_0}^x \rho g dx$$

$$\rightarrow \Delta P = P - P_0 = \rho g (x - x_0) = \rho g x \quad x_0 = 0$$

تغییرات فشار در گاز

$$PV = nRT$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

برای گازها:

$$\rightarrow \frac{P}{\rho} = \frac{n}{m} RT = \frac{RT}{M} \quad \rightarrow \rho = \frac{PM}{RT}$$

$$\rightarrow \frac{dP}{dx} = \rho g = \frac{PMg}{RT} \quad \rightarrow \int \frac{dP}{P} = - \int g \frac{M}{RT} dx$$

$$\rightarrow \ln \frac{P}{P_0} = - \frac{Mgx}{RT} \quad \rightarrow P = P_0 \exp\left(-\frac{Mgx}{RT}\right)$$

علامت منفی بدلیل جهت انتخابی محور x است.



- ارتفاع سنج یک هواپیما فشار را ۷۰ کیلو پاسکال گزارش می کند در حالیکه فشار در سطح دریا ۱۰۱ کیلو پاسکال و دما ۲۸۸ کلوین باشد. ارتفاع هواپیما در صورتیکه هوا گاز ایده ال و جرم مولی آن ۲۸,۸۴ گرم باشد و همچنین دما از سطح تا ارتفاع تغییر نکند، را پیدا کنید؟

$$\rho = \rho_0 e^{\frac{-MgZ}{RT}}$$

المودو

γ

$$V_0 \times 10^{\gamma} = 101 \times 10^{\gamma} e^{-\frac{0.02227 \times 9.81 \times Z}{8.314 \times 298.15}}$$

$$\frac{V_0}{101} = e^{-\gamma} \Rightarrow \ln \frac{V_0}{101} = -\gamma$$

$$\gamma = 0.1544$$

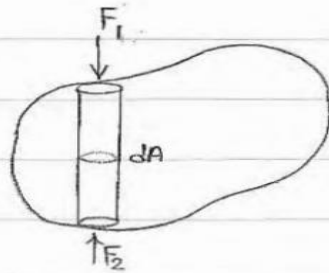
$$0.1544 = \frac{0.02227 \times 9.81 \times Z}{8.314 \times 298.15} \Rightarrow Z = 7.9 \text{ m}$$



نیروی ارشمیدسی

از طرف سیال نیروی معادل حجم جسم شناور روی سیال از پائین به بالا وارد می شود.

درواقع مستقل از وزن جسم می باشد. یک بالن از جسم شناور در نظر می گیریم:



تنش برشی نداریم چون استاتیکی است.

$$dF_B = P_{x_2} dA - P_{x_1} dA = (P_{x_2} - P_{x_1}) dA$$

$$= \rho g (x_2 - x_1) dA$$

$$\rightarrow F_B = \rho g \int (x_2 - x_1) dA \quad \text{فرض: دانسیته ثابت است (مایعات)}$$

برای گازها نیز در اختلاف ارتفاع کم، دانسیته تقریباً ثابت است.

$$\rightarrow F_B = \rho g V \quad \text{حجم جامد: } V \quad \text{چگالی سیال: } \rho$$

تذکره: این نیرو به جرم بستگی ندارد.

یک شی در هوا و آب به ترتیب 3 N و $1/5\text{ N}$ وزن دارد. اگر دانسیته آب 1000 kg/m^3 باشد دانسیته شی چقدر است؟ موازنه نیروها در شکل زیر نشان داده شده است. کاهش وزن شی در اثر فرو بردن در آب بواسطه همان نیروی ارشمیدس است که برابر وزن آب جابجا شده است.

$$\text{وزن آب جابجا شده} = \text{نیروی ارشمیدس (شناوری)} = \text{کاهش وزن (حجم شی)} \rho_f g$$

بنابراین

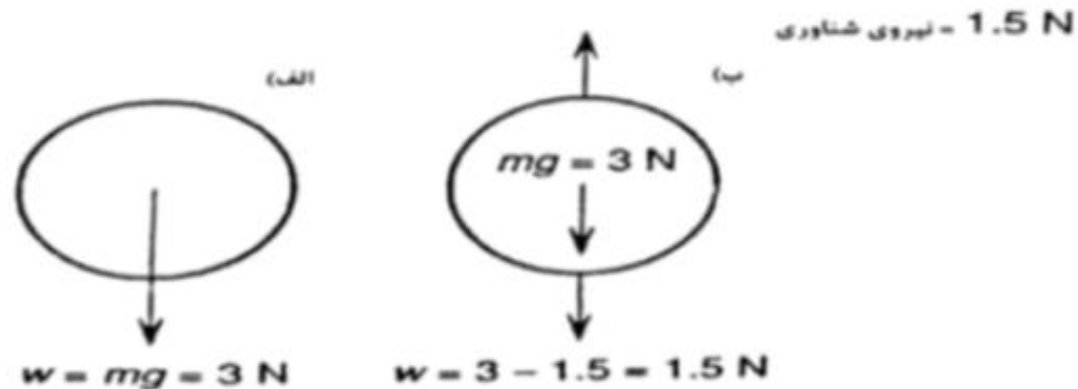
$$\text{حجم شی} = \frac{\text{نیروی ارشمیدس}}{\rho_f g}$$

اما

$$\text{نیروی ارشمیدس} \rho_s \times \text{وزن شی در هوا} = \rho_s g (\text{حجم شی}) = \rho_f g$$

بنابراین

$$\rho_s = \frac{\rho_f \times \text{وزن شی در هوا}}{\text{نیروی ارشمیدس}} = \frac{1000 \times 3}{3 - 1/5} = 2000\text{ kg/m}^3$$



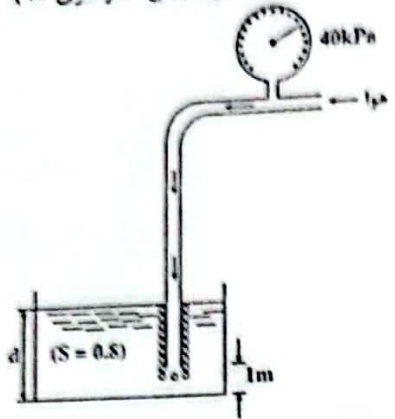
اختلاف بین وزن موجود شیء وقتی (الف) در هوا وزن شود، (ب) در آب وزن شود.



۳۳

مثال ۷: برای اندازه‌گیری عمق تقریبی مخازن، هوا از طریق لوله کوچکی همانند شکل زیر به عمق سیال تزریق می‌شود. در صورتی که فشارسنج ۴۰ kPa را نشان دهد، ارتفاع مایع در مخزن (d) چند متر است؟

(مهندسی شیمی - سراسری ۹۷)



$$(g = 10 \frac{m}{s^2}, \rho_{\text{سیال}} = 800 \frac{kg}{m^3})$$

- ۴ (۱)
- ۵ (۲)
- ۶ (۳)
- ۸ (۴)

پاسخ: گزینه «۳» با توجه به فشار درون سیال، عمق لوله در داخل مخزن عبارت است از:

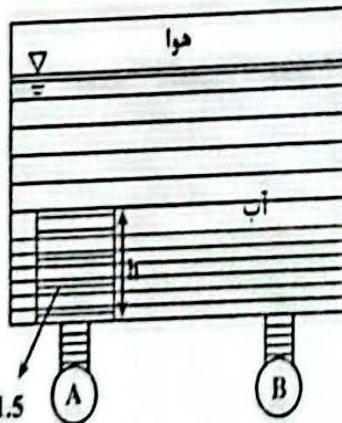
$$P = \rho gh \Rightarrow 40 \times 10^3 = 800 \times 10 h \Rightarrow h = 5(m)$$

$$d = 5 + 1 = 6(m)$$



مثال ۹: مطابق شکل فشارسنج‌های A و B به ترتیب فشارهای نسبی ۳۵۰ kPa و ۳۴۴ kPa را نشان می‌دهند. ارتفاع h چند متر است؟

(نانو مواد و مهندسی شیمی - بیوتکنولوژی - سراسری ۹۶)



(۱) ۱/۲

(۲) ۱/۵

(۳) ۵

(۴) ۶

چگالی سیال = 1.5

پاسخ: گزینه «۱» ارتفاع آب را H در نظر گرفته و داریم: ☒

$$P_B = \rho g H + P_o$$

$$P_A = s \rho g h + \rho g (H - h) + P_o \Rightarrow P_A - P_B = s \rho g h - \rho g h = (s - 1) \rho g h$$

$$(350 - 344) \times 10^3 = (1.5 - 1) \times 1000 \times 10 \times h \Rightarrow h = 1/2 \text{ (m)}$$

تبدیل واحد ها

- <https://blog.faradars.org/%D8%AA%D8%A8%D8%AF%DB%8C%D9%84-%D9%88%D8%A7%D8%AD%D8%AF-%D9%87%D8%A7%DB%8C-%DA%AF%D9%88%D9%86%D8%A7%DA%AF%D9%88%D9%86/>

