www.noavarpub.com

بسم الله الرحمن الرحیم

تشریح کامل مسائل

مکانیک سیالات

(ویراست هفتم)

فرانک ام. وایت

جلد دوم

حل کامل مسائل پایان فصل (pها) به همراه نکات مورد نیاز
حل مثالهای اضافی (مربوط به مسائل ویرایش ۶)
پاسخ به مسائل جامع به طور کامل و واضح
حل تشریحی آزمون مبانی مهندسی

تألیف و ترجمه:
دکتر شکوفه خسروی زاده
مهندس حمید قاسمی

با همکاری:
مهندس مهدی بقایی

سرشناسه	: خسروی‌زاده، شکوفه، ۱۳۵۹ –
عنوان و نام پدیدآور	: تشریح کامل مسایل مکانیک سیالات فرانک‌ام. وایت.../ تالیف و ترجمه شکوفه خسروی‌زاده، حمید قاسمی، مهدی بقایی.
مشخصات نشر	: تهران : نوآور.
مشخصات ظاهری	: ۴۹۶ ص.
شابک	: ج.۲: ۳-۱۰۷-۱۶۸-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: کتاب حاضر راهنمایی بر کتاب "مکانیک سیالات " ویرایش ۷ تالیف فرانک‌ام. وایت است.
یادداشت	: ج.۲(فیپا).
عنوان دیگر	: مکانیک سیالات.
موضوع	: سیالات -- مکانیک
موضوع	: سیالات -- مکانیک -- مسائل، تمرین‌ها و غیره
شناسه افزوده	: خسروی‌زاده، شکوفه، ۱۳۵۹ –
شناسه افزوده	: بقایی، مهدی، ۱۳۶۶-
شناسه افزوده	: ساری‌جه، بهروز، -۱۳۶۶
شناسه افزوده	: وایت ، فرانک . مکانیک سیالات
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ۳۵۷م۲و/۷۲۵۳ TA
رده بندی دیویی	: ۶۲۰/۱۰۶
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۲۸۶۶۴

تشریح کامل مسائل مکانیک سیالات (ویراست هفتم) ـ جلد دوم

مؤلفین: فرانک‌ام. وایت

تالیف و ترجمه: دکتر شکوفه خسروی‌زاده ـ مهندس حمید قاسمی ـ مهندس مهدی بقایی

ناشر: نوآور

شمارگان: ۱۰۰ نسخه

مدیر تولید: محمدرضا نصیرنیا

شابک: ۹۷۸ـ ۶۰۰ـ ۱۶۸ـ۱۰۷ـ۳

نشرنوآور

مرکز پخش:

نوآور: تهران ـ خ انقلاب، خ فخررازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان، پلاک ۵۸، طبقه‌اول، واحد۳

۶۶۴۸۴۱۹۱-۹۲

www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوف سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوگپی، اسکن، عکس‌برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

تقدیم به حضرت ولی عصر(عج)

پیشگفتار

بنام آنکه جان را حکمت آموخت

سپاس بیکران پروردگار را که به انسان قدرت اندیشیدن بخشید تا به یاری این موهبت راه ترقی و تعالی را بپیماید و سپاس از اینکه عنایات الهی شامل حال ما شد تا با بضاعت اندک علمی خود در خدمت جوانان و آینده سازان کشور عزیزمان باشیم.

با توجه به اینکه علم و علم آموزی محتاج ابزاری است که مهم‌ترین آنها کتاب است، و با توجه به کمبود کتب مناسب در زمینهٔ رشتهٔ الکترونیک و **مکانیک** و بالاخص دورهٔ فوق لیسانس و نظر به این که کلاسهای درسی برای حل کامل مسائل دروس دچار کمبود وقت هستند، تصمیم گرفتیم که فعالانه با تشکیل گروهی از اساتید و دانشجویان ممتاز در استان اصفهان اقدام به تألیف کتابهای دورهٔ لیسانس و فوق لیسانس برق و الکترونیک، مکانیک، فیزیک، شیمی، کامپیوتر نماییم.

مکانیک علمی است که شرایط سکون یا حرکت اجسام را تحت اثر نیروها توصیف و پیش‌بینی می‌کند. مکانیک به سه بخش تقسیم می‌شود؛ مکانیک اجسام صلب، مکانیک اجسام شکل‌پذیر، و مکانیک سیالات. مکانیک اجسام صلب خود به دو مبحث استاتیک و دینامیک تقسیم می‌شود. استاتیک به اجسام ساکن می‌پردازد و دینامیک اجسام در حال حرکت را بررسی می‌کند.

چیزی که این سری از کتابها را از سایر کتابها موجود در بازار **متمایز** می‌کند نکاتی است که در زیر آورده شده است:

۱- در مسائل که نیاز به حل معادله یا توضیح مطالب ریاضی دارد، مفصل حل نموده‌ایم و همچنین با توضیحات فارسی کافی در قسمت به قسمت مسائل، حل آنها کاملاً واضح شده است.

۲- در ابتدای هر مسئله داده‌ها و خواسته‌های آن نوشته شده است. نوشتن این مطالب این مزیت را دارد که داده‌ها و خواسته‌های مساله در ذهن هر فرد همیشه نقش بسته و ذهن هر فرد را در پیدا کردن ارتباط منطقی میان داده و حل مساله کمک می‌کند و از خواندن دوباره صورت مساله بی‌نیاز می‌کند.

برخورد لازم می‌دانم از همکاری صمیمانه ناشر محترم جناب آقای **علیرضا نصیرنیا** و جناب آقای **محمدرضا نصیرنیا** تشکر و قدردانی کنم. همچنین از آقای مهندس **بهروز ساری جه** و آقای **مهندس مهدی بقایی** که در مراحل ویرایش، بازخوانی مطالب و آقای **مهدی قاسمی‌زاده** در زمینه طراحی

اشکال و از کسانی که در مراحل حروفچینی و صفحه آرایی (خانم زهرا محمودی، خانم مهری و خانم کیوان)، ما را یاری کرده‌اند صمیمانه تشکر و قدرانی می‌نماییم،
با تمام کوششی که برای ارائه بدون غلط این اثر به عمل آمده است، کتاب خالی از اشکال نیست. نگارندگان صیمیمانه‌ترین سپاسهای خود را تقدیم فرهیخته و دانشجویان ارجمندی می‌نماید که با راهنماییها و پیشنهادهای خود راه اصلاح و تکمیل این مجموعه را هموار سازند. (از طریق پست الکترونیکی $Hamid.Ghasemi۵۶@gmail.com$)

دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشگاه صنعتی مالک اشتر

خسروی‌زاده - قاسمی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل ۶:
جریان ویسکوز در مجراها ۷
فصل ۷:
جریان خارجی ۱۲۹
فصل ۸:
جریان پتانسیل و دینامیک سیالات محاسباتی ۲۱۷
فصل ۹:
جریان تراکم‌پذیر ۲۷۵
فصل ۱۰:
جریان در کانال باز ۳۷۸
فصل ۱۱:
توربو ماشین‌ها ۴۳۱

هشدار

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلّفان و مصنّفان و هنرمندان مصوّب سال ۱۳۴۸ و آیین‌نامهٔ اجرایی آن مصوّب ۱۳۵۰، برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور است. لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب، اشکال، نمودارها، جداول، تصاویر این کتاب، در دیگر کتب، مجلات، نشریات، سایت‌ها و موارد دیگر، و نیز هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از مطالب کتاب به هر شکل از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، تایپ از کتاب، تهیه پی دی اف از کتاب، عکس‌برداری از کتاب، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به‌صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم، فایل صوتی یا تصویری و غیره بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع و غیرقانونی بوده و **شرعاً نیز حرام** است، و متخلّفین تحت **پیگرد قانونی و قضایی** قرار می‌گیرند.

با توجّه به اینکه هیچ کتابی از کتب نشر نوآور به‌صورت فایل ورد یا پی دی اف و موارد این‌چنین، توسّط این انتشارات در هیچ سایت اینترنتی ارائه نشده است، لذا درصورتی‌که هر سایتی اقدام به تایپ، اسکن و یا موارد مشابه نماید و کل یا قسمتی از متن کتب نشر نوآور را در سایت خود قرار داده و یا اقدام به فروش آن نماید، توسّط کارشناسان امور اینترنتی این انتشارات، که مسئولیّت ادارهٔ سایت را به عهده دارند و به طور روزانه به بررسی محتوای سایت‌ها می‌پردازند، بررسی و در صورت مشخّص‌شدن هرگونه تخلّف، ضمن اینکه این کار از نظر قانونی غیرمجاز و از نظر شرعی نیز حرام می‌باشد، وکیل قانونی انتشارات از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، پلیس فتا (پلیس رسیدگی به جرایم رایانه‌ای و اینترنتی) و نیز سایر مراجع قانونی، اقدام به مسدود نمودن سایت متخلّف کرده و طیّ انجام مراحل قانونی و اقدامات قضایی، خاطیان را مورد پیگرد قانونی و قضایی قرار داده و کلّیّهٔ خسارات وارده به این انتشارات و مؤلّف از متخلّف اخذ می‌گردد.

همچنین درصورتی‌که هر کتابفروشی، اقدام به تهیّهٔ کپی، جزوه، چاپ دیجیتال، چاپ ریسو، اُفست از کتب انتشارات نوآور نموده و اقدام به فروش آن نماید، ضمن اطّلاع‌رسانی تخلّفات کتابفروشی مزبور به سایر همکاران و مُوَزّعین محترم، از طریق وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی، اتّحادیّهٔ ناشران، و انجمن ناشران دانشگاهی و نیز مراجع قانونی و قضایی اقدام به استیفای حقوق خود از کتابفروشی متخلّف می‌نماید.

خرید، فروش، تهیّه، استفاده و مطالعه از روی نسخهٔ غیراصلِ کتاب،
از نظر قانونی غیرمجاز، و شرعاً نیز حرام است.

انتشارات نوآور از خوانندگان گرامی خود درخواست دارد که در صورت مشاهده هر گونه تخلّف از قبیل موارد فوق، مراتب را یا از طریق تلفن‌های انتشارات نوآور به شماره‌های ۲- ۶۶۴۸۴۱۹۱ ۰۲۱ و ۰۹۱۲۳۰۷۶۷۴۸ و یا از طریق ایمیل انتشارات به آدرس info@noavarpub.com و یا از طریق منوی تماس با ما در سایت www.noavarpub.com به این انتشارات ابلاغ نمایند، تا از تضییع حقوق ناشر، پدیدآورنده و نیز خود خوانندگان محترم جلوگیری به‌عمل آید، و نیز به‌عنوان تشکّر و قدردانی، از کتب انتشارات نوآور نیز هدیه دریافت نمایند.

فصل ششم
جریان ویسکوز در مجراها

جریان لایه‌ای و جریان متلاطم

۶-۱ مهندسی می‌گوید که جریان روغن $SAE\ ۳۰W$ در $۲۰^\circ C$ از داخل لوله‌ی صاف به قطر $۵cm$ با دبی یک میلیون N/h آرام می‌باشد. آیا با ایده‌ی او هم‌نظر هستید؟ یک میلیون نیوتن مقدار زیادی بوده و این دبی مقدار بسیار زیادی است.

پاسخ: از فرضیات مسئله داریم: قطر لوله، دبی درون لوله، چگالی روغن $SAE\ ۳۰W$ در دمای $۲۰^\circ C$ و لزجت روغن $SAE\ ۳۰W$ در دمای $۲۰^\circ C$ به ترتیب برابرند با:

$$d = ۵cm = ۰/۰۵m \quad , \quad Q = ۱۰^۶\ N/h = ۲۷۷/۷۸N/s \quad , \quad \rho = ۸۹۱kg/m^۳ \quad , \quad \mu = ۰/۲۹kg/(m.s)$$

باید نشان دهیم جریان آرام است یا نه. باید واحد دبی را از N/h به $m^۳/s$ تبدیل کنیم.

$$Q = ۲۷۷/۷۸N/s = \frac{۲۷۷/۷۸}{\rho g} = \frac{۲۷۷/۷۸}{۸۹۱\times ۹/۸۱} = ۰/۰۳۲m^۳/s$$

از تعریف عدد رینولدز داریم: $\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} = \frac{۴\rho Q}{\pi d \mu} \quad , \quad \left(V = \frac{Q}{A} = \frac{۴Q}{\pi d^۲}\right) \Rightarrow \mathrm{Re} = \frac{۴\times ۸۹۱\times ۰/۰۳۲}{\pi \times ۰/۰۵ \times ۰/۲۹} = ۲۵۰۳$

جریان آرام نیست زیرا می‌دانیم که برای جریان باید $\mathrm{Re} \le ۲۳۰۰$ باشد.

مثال۱) & (۶-۲ ویرایش ۶) هوا با وضعیت تقریبی $۱atm$ از داخل لوله‌ای به قطر $۴cm$ می‌گذرد. (الف) عبارتی برای دبی حجمی جریان که جریان آرام ثابت می‌ماند، را محاسبه کنید و $Q_{\max}$ را در برابر درجه حرارت در محدوده‌ی $۰^\circ C \le T \le ۵۰۰^\circ C$ ترسیم نمایید. (ب) نمودار خطی خواهد بود؟

پاسخ: هوا درون لوله‌ای افقی به قطر $d = ۴cm = ۰/۰۴m$ و فشار $۱atm$ جریان دارد.

الف) باید فرمولی برای پیدا کردن $Q_{\max}$، دبی بیشینه‌ای که جریان در آن آرام بماند را بدست آوریم و سپس $Q_{\max}$ را برحسب دما در محدوده $0^\circ C \le T \le 500^\circ C$ رسم کنیم. می‌دانیم که سرعت برابر است با: $V = \frac{4Q}{\pi d^2}$

برای جریان آرام عدد رینولدز برابر است با:

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho V d}{\mu} \le 2300 \;\Rightarrow\; \mathrm{Re} = \frac{4\rho Q d}{\pi d^2 \mu} \le 2300 \;\Rightarrow$$

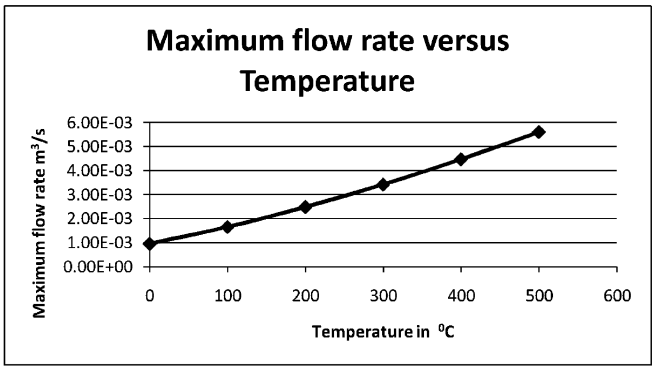
$$Q_{\max} = 2300\frac{\pi d\mu}{4\rho} = 575\pi d\nu \quad , \quad (\nu = \mu/\rho) \;\Rightarrow\; Q_{\max} = 575\pi d\nu$$

می‌دانیم که دبی حجمی برابر است با: $Q_{\max} = 575\pi d\nu = 575\pi \times 0/04 \times \nu = 72/257\nu\ m^3/s$

حال باید $Q_{\max}$ را برحسب دما در محدوده $0^\circ C \le T \le 500^\circ C$ رسم کنیم. برای این کار لزجت سینماتیک را در چند دمای مختلف می‌خوانیم. جدول زیر مقادیر مختلف لزجت سینماتیک (ν) و دبی حجمی بیشینه ($Q_{\max}$) را نشان می‌دهد.

Temperature	Kinematic viscosity	Maximum flow rate
0	1.33E-05	9.61E-04
100	2.30E-05	1.66E-03
200	3.45E-05	2.49E-03
300	4.75E-05	3.43E-03
400	6.20E-05	4.48E-03
500	7.77E-05	5.61E-03

در زیر نمودار $Q_{\max}$ برحسب دما در محدوده $0^\circ C \le T \le 500^\circ C$ رسم شده است.



نمودار مثال ۱

ب) نمودار خطی نیست چرا که لزجت سینماتیک به صورت خطی با دما تغییر نمی‌کند.

مثال۲) & (۶-۳ ویرایش ۶) برای یک بال نازک که به موازات خط وتر آن بوده، گذر به شکل لایه‌ی مرزی درهم در عدد رینولدز موضعی Re_x اتفاق می‌افتد که x فاصله از لبه‌ی جلویی بال می‌باشد. عدد رینولدز بحرانی وابسته به شدت نوسانات تلاطمی در جریان داشته و برابر با $2/8E6$ است، اگر جریان بسیار آرام و ملایم شود. یک عبارت همبسته برای این وضعیت [فصل سوم] عبارتند از: $\mathrm{Re}^{1/2}_{x_{crit}} = \frac{-1+(1+13/25\varsigma^2)^{1/2}}{0/00392\varsigma^2}$

که در آن ς شدت تلاطم درتونل برحسب درصد می‌باشد. اگر $V = 20\,m/s$ در هوای $20^\circ C$ باشد، به کمک این رابطه

حالت گذرا روی بال در برابر تلاطم جریان برای ςبین صفر تا دو درصد را ترسیم نمایید. در چه مقدار ς، x_{crit} تا ۵۰ درصد مقدار خود در $\varsigma = 0$، کاهش پیدا می‌کند؟

پاسخ: داده‌ها: عدد رینولدز بحرانی به شدت نوسانات مغشوش در جریان بستگی دارد و برابر $2/8E6$ است، اگر جریان خیلی آرام باشد. رابطه نیمه تجربی برابر است با:

$$\mathrm{Re}_{x_{crit}}^{1/2} = \frac{-1+(1+13/25\varsigma^2)^{1/2}}{0/00392\varsigma^2} \qquad (1)$$

محدوده شدت اغتشاش برابر ۰ تا ۲%، سرعت هوا برابر $V = 20 m/s$، چگالی هوا در $1atm$ و $20^\circ C$ برابر $\rho = 1/2 kg/m^3$ و لزجت هوا در $1atm$ و $20^\circ C$ برابر $\mu = 1/8\times10^{-5} N.s/m^2$ است.

ابتدا باید مقدار Re_x را از فرمول داده‌ها برای شدت اغتشاش بین ۰ تا ۲ درصد بدست آوریم و سپس x_{crit} را حساب کنیم. می‌دانیم که:

$$\mathrm{Re}_{x_{crit}} = \frac{\rho V x_{crit}}{\mu} \quad \Rightarrow \quad x_{crit} = \frac{\mu \mathrm{Re}_{x_{crit}}}{\rho V} \qquad (2)$$

محاسبات: برای $\varsigma = 0/1$ از رابطه (۱) داریم:

$$\mathrm{Re}_{x_{crit}}^{1/2} = \frac{-1+(1+13/25(0/1)^2)^{1/2}}{0/00392\times0/1^2} = 1637/4957 \Rightarrow \mathrm{Re}_{x_{crit}} = 2681392/27$$

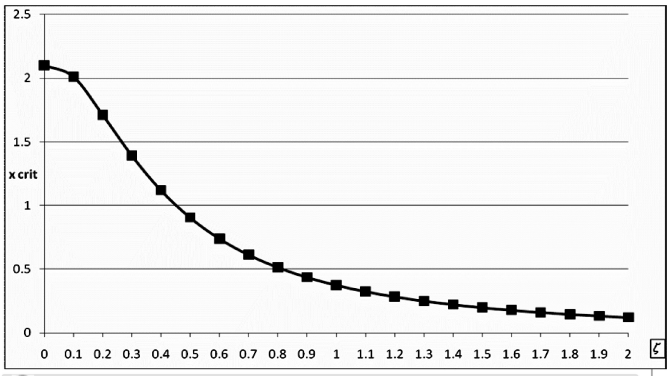
از رابطه (۲) داریم:

$$x_{crit} = \frac{1/8\times10^{-5}\times2681392/27}{1/2\times20} = 2/011044 m$$

به طور مشابه برای سایر مقادیر شدت اغتشاش داریم:

ς	Re_x	x_{crit}
0	2.80*10^6	2.1
0.1	2681392	2.011044
0.2	2283254	1.71244
0.3	1856555	1.392416
0.4	1492948	1.119711
0.5	1206985	0.905238
0.6	987120	0.74034
0.7	818006.8	0.613505
0.8	686689.7	0.515017
0.9	583417.4	0.437563
1.0	501104.1	0.375828
1.1	434635.7	0.325977
1.2	380302.1	0.285227
1.3	335384.4	0.251538
1.4	297865.6	0.223399
1.5	266230.4	0.199673
1.6	239325.9	0.179494
1.7	216264.5	0.162198
1.8	196354.8	0.147266
1.9	179052.6	0.134289
2.0	163925.3	0.122944

نمودار بین x_{crit} و شدت اغتشاش در زیر رسم شده است.



نمودار مثال ۲

حال باید مقدار شدت اغتشاش را وقتی که x_{crit} به اندازه ۵۰ درصد نسبت به مقدارش در $\zeta = 0$ کاهش می‌یابد، بدست آوریم. می‌دانیم که در $\zeta = 0$، $x_{crit} = 2/1$. x_{crit}، ۵۰ درصد کاهش یافته یعنی $1/05m$. از نمودار مشخص است که، x_{crit} به اندازه ۵۰ درصد کاهش یافته وقتی که $\zeta = 0/42$ است.

۶-۲ آهنگ نفت خام در خط لوله آلاسکا، که شکل آن در ابتدای این فصل دیده می‌شود حدود ۶۰۰۰۰۰ بشکه در روز می‌باشد. چنانچه قرار بود که جریان لایه‌ای باشد، حداکثر آهنگ آن را بیابید. دمای نفت خام را $60^\circ C$ فرض کنید (برای خواص نفت، به شکل الف-۱ در پیوست الف مراجعه کنید). هر بشکه، ۴۲ گالن آمریکایی می‌باشد.

پاسخ: برای نفت خام در دمای $60^\circ C$، $\rho = 860\,kg/m^3$ و $\mu = 0/0040\,kg/m.s$ است. حداکثر عدد رینولدز در جریان لایه‌ای ۲۳۰۰ است. لذا داریم:

$$\mathrm{Re}_D = 2300 = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{(860\,kg/m^3)V(1/22\,m)}{0/0040\,kg/m.s} \Rightarrow V = 0/00877\,m/s \Rightarrow$$

$$Q = VA = (0/00877\,m/s)\left(\frac{\pi}{4}\right)(1/22\,m)^2 \approx 5600 \text{ بشکه / روز}$$

۶-۳ تصور کنید روغن $SAE\ 30W$، با دمای $20^\circ C$ و آهنگ ۳۰ میلیون گالن در روز، در خط لوله آلاسکا جریان دارد. این جریان لایه‌ای می‌باشد یا به صورت متلاطم؟ توضیح دهید.

پاسخ: برای روغن $SAE\ 30$ در دمای $20^\circ C$، از روی جدول (الف-۳) در کتاب درسی $\rho = 891\,kg/m^3$ و $\mu = 0/29\,kg/m.s$ می‌باشد و داریم:

$$Q = 30\times10^6 \frac{\text{گالن}}{\text{روز}} = 1/314\frac{m^3}{s} \Rightarrow \mathrm{Re}_D = \frac{4\rho Q}{\pi \mu D} = \frac{4(891)(1/314)}{\pi(0/29)(1/22\,m)} = 4200$$

در نتیجه خیلی واضح نمی‌باشد که جریان لایه‌ای می‌باشد یا متلاطم.

۶-۴ برای جریان روغن $SAE30$ در لوله‌ای به قطر $5\,cm$ از شکل (۱-الف)، در چه دبی جریانی برحسب m^3/h انتقال به شکل جریان متلاطم در (الف) $20^\circ C$ و (ب) $100^\circ C$ اتفاق می‌افتد؟

پاسخ: داده‌ها: قطر لوله، چگالی روغن $SAE30$، لزجت روغن $SAE30$ در $20^\circ C$ و لزجت روغن $SAE30$ در $100^\circ C$ برابرند با:

$d = ۵cm = ۰/۰۵m \quad , \quad \rho = ۸۹۱kg/m^۳ \quad , \quad \mu = ۰/۲۹kg/ms \quad , \quad \mu = ۰/۰۱kg/ms$

الف) باید دبی را برحسب $m^۳/h$ وقتی که در $۲۰^\circ C$ به حالت گذار به مغشوش می‌رسیم بدست آوریم. می‌دانیم که عدد رینولدز گذار برابر است با:

$$\mathrm{Re}_{crit} = ۲۳۰۰ \;\Rightarrow\; \frac{\rho V d}{\mu} = ۲۳۰۰ \;\Rightarrow\; V = \frac{۲۳۰۰ \times ۰/۲۹}{۸۹۱ \times ۰/۰۵} = ۱۴/۹۷ m/s$$

می‌دانیم که دبی حجمی برابر است با:

$$Q = AV \;\Rightarrow\; Q = \frac{\pi}{۴} d^۲ V = \frac{\pi}{۴} \times ۰/۰۵^۲ \times ۱۴/۹۷ = ۰/۰۲۹۴ m^۳/s$$

پس دبی حجمی قابل انتظار برای گذار به حالت مغشوش در $۲۰^\circ C$ برابر است با:

$$Q = ۰/۰۲۹۴ \times ۳۶۰۰ = ۱۰۵/۸۴ m^۳/h$$

ب) باید دبی را برحسب $m^۳/h$ وقتی که در $۱۰۰^\circ C$ به حالت گذار به مغشوش می‌رسیم بدست آوریم. می‌دانیم که عدد رینولدز گذار برابر است با:

$$\mathrm{Re}_{crit} = ۲۳۰۰ \;\Rightarrow\; \frac{\rho V d}{\mu} = ۲۳۰۰ \;\Rightarrow\; V = \frac{۲۳۰۰ \times ۰/۰۱}{۸۹۱ \times ۰/۰۵} = ۰/۵۲ m/s$$

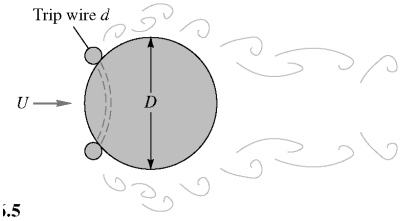
می‌دانیم که دبی حجمی برابر است با:

$$Q = AV \;\Rightarrow\; Q = \frac{\pi}{۴} d^۲ V = \frac{\pi}{۴} \times ۰/۰۵^۲ \times ۰/۵۲ = ۱/۰۲۱ \times ۱۰^{-۳} m^۳/s$$

پس دبی حجمی قابل انتظار برای گذار به حالت مغشوش در $۱۰۰^\circ C$ برابر است با:

$$Q = ۱/۰۲۱ \times ۱۰^{-۳} \times ۳۶۰۰ = ۳/۶۷ m^۳/h$$

۶-۵ مطابق شکل زیر، در جریان گذری از روی یک جسم یا دیواره، گذر اولیه به شکل درهم و متلاطم با قرار گرفتن سیمی روی دیواره در عرض جریان تشکیل می‌شود. اگر سیم شکل زیر در وضعیتی که سرعت موضعی U بوده قرار دهیم، هنگامی که $Ud/\nu = ۸۵۰$ باشد، تلاطم جریان پدید می‌آید. d قطر سیم می‌باشد [فصل سوم]. اگر قطر کره $۲۰cm$ و گذر در $\mathrm{Re}_D = ۹۰۰۰۰$ اتفاق افتد، قطر سیم برحسب mm را بدست آورید.



6.5

پاسخ: داده‌ها: عدد رینولدز و قطر کره برابرند با:

$$\mathrm{Re}_d = \frac{Ud}{\nu} = ۸۵۰ \;\Rightarrow\; \mathrm{Re}_D = ۹۰۰۰۰ \quad , \quad D = ۲۰cm = ۰/۲m$$

می‌دانیم که عدد رینولدز برابر است با:

$$\mathrm{Re}_D = \frac{UD}{\nu}$$

حال نسبت $\mathrm{Re}_D = \frac{UD}{\nu}$ به $\mathrm{Re}_d = \frac{Ud}{\nu}$ را حساب می‌کنیم. پس پس قطر سیم لغزشی برابراست با:

$$\frac{\mathrm{Re}_d}{\mathrm{Re}_D} = \frac{\left(\frac{Ud}{\nu}\right)}{\left(\frac{UD}{\nu}\right)} \;\Rightarrow\; \frac{\mathrm{Re}_d}{\mathrm{Re}_D} = \frac{d}{D} \;\Rightarrow\; \frac{۸۵۰}{۹۰۰۰۰} = \frac{d}{۰/۲} \;\Rightarrow\; d = ۱/۹ \times ۱۰^{-۳} m$$

جریان داخلی و جریان خارجی

۶-۶ برای جریان ثابت موازی با یک صفحه صاف تیز، گذر از وضعیت لایه‌ی مرزی درهم روی صفحه در

$\mathrm{Re}_x = \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱E۶$ می‌باشد که در آن U سرعت نزدیکی سیال و x فاصله در طول صفحه است. اگر $U = ۲/۵ m/s$ شود، فاصله x را برای سیالات زیر ارزیابی کنید: (الف) هیدروژن، (ب) هوا، (ج) بنزین، (د) آب، (ه) جیوه و (و) گلیسیرین.

پاسخ: داده‌ها: برای جریان لایه مرزی بر روی صفحه صاف تیز، گذار به حالت، را به مرزی مغشوش وقتی رخ می‌دهد که:

$$\mathrm{Re}_x = \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱\times ۱۰^۶$$

U سرعت جریان، x فاصله در طول صفحه است. در اینجا سرعت برابر $U = ۲/۵ m/s$ است.

الف) برای هیدروژن در $۲۰^\circ C$ و $۱atm$: چگالی برابر $\rho = ۰/۰۸۴ kg/m^۳$ و لزجت برابر $\mu = ۹/۰۵\times ۱۰^{-۶} kg/m.s$ است.

$$\text{از داده‌ها داریم:}\quad \mathrm{Re}_x = \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱E۶ \Rightarrow \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow \frac{۰/۰۸۴\times ۲/۵ x}{۹/۰۵\times ۱۰^{-۶}} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow x = ۴۳$$

ب) برای هوا در $۲۰^\circ C$ و $۱atm$: چگالی برابر $\rho = ۱/۲۰۳ kg/m^۳$ و لزجت برابر $\mu = ۱/۸\times ۱۰^{-۵} kg/m.s$ است.

$$\text{از داده‌ها داریم:}\quad \mathrm{Re}_x = \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱E۶ \Rightarrow \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow \frac{۱/۲۰۳\times ۲/۵ x}{۱/۸\times ۱۰^{-۵}} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow x = ۶$$

پس فاصله برابر $x = ۶m$ است.

ج) برای بنزین در $۲۰^\circ C$ و $۱atm$: چگالی برابر $\rho = ۶۸۰ kg/m^۳$ و لزجت برابر $\mu = ۲/۹۲\times ۱۰^{-۴} kg/m.s$ است.

$$\text{از داده‌ها داریم:}\quad \mathrm{Re}_x = \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱E۶ \Rightarrow \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow \frac{۶۸۰\times ۲/۵ x}{۲/۹۲\times ۱۰^{-۴}} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow x = ۰/۱۷۲$$

پس فاصله برابر $x = ۰/۱۷۲m$ است.

د) برای آب در $۲۰^\circ C$ و $۱atm$: چگالی برابر $\rho = ۹۹۸ kg/m^۳$ و لزجت برابر $\mu = ۱\times ۱۰^{-۳} kg/m.s$ است. از داده‌ها داریم:

$$\mathrm{Re}_x = \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱E۶ \Rightarrow \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow \frac{۹۹۸\times ۲/۵ x}{۱\times ۱۰^{-۳}} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow x = ۰/۴۰۱$$

پس فاصله برابر $x = ۰/۴۰۱m$ است.

ه) برای جیوه در $۲۰^\circ C$ و $۱atm$: چگالی برابر $\rho = ۱۳۵۵۰ kg/m^۳$ و لزجت برابر $\mu = ۱/۵۶\times ۱۰^{-۳} kg/(m.s)$ است.

$$\text{از داده‌ها داریم:}\quad \mathrm{Re}_x = \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱E۶ \Rightarrow \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow \frac{۱۳۵۵۰\times ۲/۵ x}{۱/۵۶\times ۱۰^{-۳}} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow x = ۰/۰۴۶$$

و) برای گلیسیرین در $۲۰^\circ C$ و $۱atm$: چگالی برابر $\rho = ۱۲۶۰ kg/m^۳$ و لزجت برابر $\mu = ۱/۴۹ kg/m.s$ است.

$$\text{از داده‌ها داریم:}\quad \mathrm{Re}_x = \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱E۶ \Rightarrow \frac{\rho U x}{\mu} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow \frac{۱۲۶۰\times ۲/۵ x}{۱/۴۹} \approx ۱۰^۶ \Rightarrow x = ۴۷۳$$

۶-۷ کولا که با آب خالص $۲۰^\circ C$ تقریب می‌گردد برای پر نمودن یک ظرف ۸ انسی ($۱ U.S.gal = ۱۲۸ floz$) بوسیله لوله‌ای به قطر $۵ mm$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. حداقل زمان پر شدن را اگر جریان لوله ثابت شود محاسبه کنید. برای چه درجه حرارتی از کولا (آب) حداقل این زمان $۱\min$ می‌باشد؟

پاسخ: داده‌ها: حجم مخزن، قطر لوله، چگالی آب و لزجت آب برابرند با:

$$V = ۸\times ۲/۹۶\times ۱۰^{-۵} = ۲/۳۷\times ۱۰^{-۴} m^۳ \quad , \quad d = ۵mm = ۰/۰۰۵m \quad ,$$

$$\rho = ۹۹۸ kg/m^۳ \quad , \quad \mu = ۱\times ۱۰^{-۳} kg/ms$$