فصل هفتم

سیستم راهگاهی

در این فصل هنرجویان با اصول علمی و عملی محاسبات سیستم‌های راهگاهی آشنا می‌شوند و می‌توانند توسط روابطی که از طریق قانون برنولی، تریچلی و پاسکال به‌دست می‌آورند سرعت خطی مذاب در تنگه، سطح مقطع لوله راهگاه و سطح مقطع تنگه را محاسبه کنند. و همچنین با توجه به ضریب ریختگی و محاسبه ارتفاع مؤثر قالب می‌توانند زمان بارریزی مذاب و سطح مقطع کانال فرعی را نیز محاسبه نمایند.

دانسته‌های قبلی

هنرجویان در درس فیزیک با مفهوم انرژی جنبشی، انرژی پتانسیل و سرعت خطی آشنا شده‌اند. در درس کارگاه ریخته‌گری (۱) سال دوم با مفهوم لوله راهگاه و کانال‌های اصلی و فرعی آشنا شده. در درس اصول متالورژی سال سوم شرایط یک راهگاه و کانال مناسب را آموخته است و در فصل پنجم محاسبات فنی تخصصی با قانون پاسکال آشنا شده‌است.

واژه‌ها و اصطلاحات اصلی درس

قانون برنولی: براساس این قانون در یک سیستم بسته (محیطی که کاملاً منفرد است و با محیط بیرون کار و گرما مبادله نمی‌کند) برای مایعات ایده‌آل جمع جبری انرژی‌ها همواره مقداری ثابت است.

مایعات ایده‌آل: سیالی است تراکم‌ناپذیر،بدون اصطکاک و بدون ویسکوزیته. سیال کامل سیالی فرضی است که وضع مایعات را با تقریب کافی مشخص می‌کند.

دبی (بده): مقدار حجم مذاب یا مایع جاری در هر مقطع در واحد زمان را دبی یا بده جریان گویند.

جدول زمان‌بندی پیشنهادی درس محاسبات فنی تخصصی رشته متالورژی فصل هفتم

شماره هفته	فصل	عنوان	صفحات	محل انجام فعالیت
بیست‌و هفتم	هفتم	معادله برنولی ـ قانون توریچلی ـ قانون تداوم و پیوستگی	۱۳۵ـ۱۴۲	کلاس

بیست‌و هشتم	هفتم	قانون پاسکال ـ جریان آرام و اغتشاشی مایع (مذاب) محاسبه سطح مقطع تنگه	۱۴۲ـ۱۴۸	کلاس
بیست‌و نهم	هفتم	تعیین سرعت خطی ـ محاسبه ارتفاع مؤثر ـ تعیین زمان باررِیزی	۱۴۸ـ۱۵۹	کلاس
سی‌ام	هفتم	حل تمرین‌های آخر فصل ـ رفع اشکال فصل هفتم و آزمون فصل هفتم	۱۵۹ـ۱۶۱	کلاس

هدف کلی فصل :محاسبات سیستم راهگاهی

هفته بیست‌و هفتم: معادله برنولی ـ قانون توریچلی ـ قانون تداوم یا پیوستگی

این جلسه به قسمت‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شود. (صفحات ۱۴۲ـ ۱۳۵)

۱ـ مقدمه سیستم راهگاهی و معادله برنولی

۲ـ قانون توریچلی

۳ـ قانون تداوم و پیوستگی

۴ـ جمع‌بندی و تعیین تکلیف منزل

قسمت اول درس: سیستم راهگاهی و معادله برنولی

تهیه قطعات ریخته‌گری مرغوب، بدون آگاهی از رفتار مذاب از زمانیکه وارد قالب می‌شود تا هنگامی‌که انجماد می‌یابد امکان‌پذیر نیست، چگونگی ورود مذاب به محفظه قالب و جریان آن در کانال‌هایی که به محفظه قالب منتهی می‌گردد از بخش‌های مهم ریخته‌گری هستند، مجموعه کانال‌ها و مجراهایی که می‌توانند فلز مذاب را به محفظه قالب هدایت کنند سیستم راهگاهی نامیده می‌شوند. یکی از شرایط لازم در تولید قطعات ریختگی سالم، طرح صحیح سیستم راهگاهی می‌باشد. در فصل پنجم درس اصول متالورژی ریخته‌گری هنرجویان اطلاعات کلی در رابطه با اهمیت سیستم راهگاهی، اجزای سیستم راهگاهی، انواع سیستم‌های راهگاهی و روش‌های راهگاه‌گذاری کسب کرده یا می‌کنند، لذا لازم است در این فصل جنبه‌های علمی در طراحی سیستم راهگاهی و به عبارت دیگر مبانی محاسبات سیستم‌های راهگاهی مورد مطالعه قرار گیرند، قابل ذکر است که هر چند در عمل در طی جریان بارریزی و نیز توقف فلز مذاب در قالب، سیالیت و گرانروی آن دائماً در حال تغییر است و به همین دلیل نیز از نظر فیزیکی نمی‌توان آن‌را یک سیال کامل (ایده‌آل) تلقی نمود. با این حال بسیاری از قوانین مربوط به مکانیک سیالات را می‌توان در مورد جریان مذاب در سیستم راهگاهی و نیز درون قالب مورد استفاده قرار داد، به همین دلیل درک بهتر اصول محاسبه سیستم راهگاهی مستلزم مطالعه بعضی از قوانین و اصول مهم علمی می‌باشد که به هر یک از این قوانین پرداخته می‌شود.

دانستنی‌های معلم

رفتار مایعات در علوم و نیز در صنعت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، علم مکانیک سیالات رفتار مایعات را در دو مقوله مورد بحث قرار می‌دهد الف) استاتیک مایعات که در رابطه مایعات ساکن و ب) دینامیک مایعات که در رابطه با مایعات جاری صحبت می‌کند.

دینامیک مایعات موضوعی پیچیده است و در واقع یکی از پیچیده‌ترین شاخه‌های مکانیک

به‌حساب می‌آید (مثل حرکت آب رودخانه) خوشبختانه در بسیاری از موارد مهم، مسائل را می‌توان با مدل‌های ایده‌آلی تطبیق داد که در این صورت تجزیه و تحلیل آنها به مراتب آسان‌تر می‌شود با این حال در این فصل فقط با موضوع‌های اساسی به‌صورتی مقدماتی و کلی آشنا خواهیم شد تا بتوانیم دینامیک مایعات را در مورد جریان مذاب در سیستم راهگاهی و نیز مذاب درون قالب مورد استفاده قرار دهیم.

تعریف سیال کامل (ایده‌آل): سیالی است تراکم‌ناپذیر، بدون اصطکاک و بدون ویسکوزیته. سیال کامل سیالی فرضی است که وضع مایعات را با تقریب کافی مشخص می‌کند.

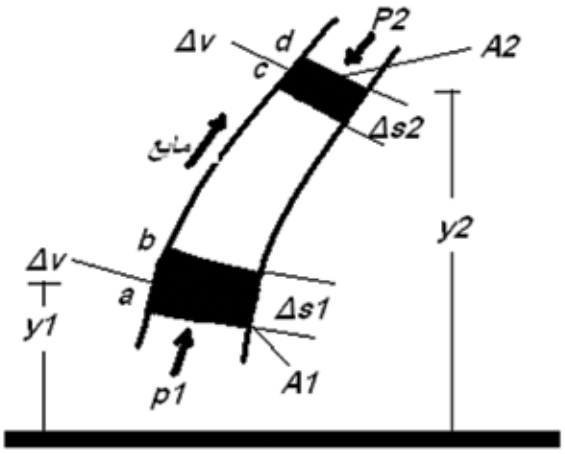
معادله برنولی: این رابطه، فشار، سرعت و ارتفاع را در حرکت یک مایع ایده‌آل بهم ربط می‌دهد.

ابتدا باید به این نکته توجه کرد که اگر مایعی تراکم‌ناپذیر درون یک لوله افقی با سطح مقطع متغیر در حرکت باشد سرعت آن تغییر می‌کند.

$$A_1V_1=A_2V_2$$

یعنی حاصلضرب AV در طول لوله مایع ثابت است، نتیجه می‌شود که هرجا سطح مقطع لوله کاهش یابد سرعت افزایش می‌یابد و بالعکس. هر جزء از مایع باید شتاب داشته باشد و نیروی لازم برای ایجاد این شتاب از طرف مایع همجوار با این جزء بر آن وارد می‌شود، پس فشار درون مایع باید از منطقه‌ای به منطقه دیگر تغییر کند. اگر مایع از منطقه‌ای با فشار زیاد به منطقه‌ای با فشار کم در حرکت باشد جهت برآیند نیروی وارد بر آن رو به جلو است و سرعت حرکت افزایش می‌یابد. پس اگر سطح مقطع لوله مایع تغییر کند حتی اگر ارتفاع نقاط مختلف آن یکسان باشد فشار باید تغییر کند، اگر ارتفاع نقاط مختلف لوله نیز متغیر باشد یک تغییر فشار اضافی مربوط به آن نیز بر تغییر فشار قبلی نیز افزوده می‌شود. معادله برنولی اختلاف فشار بین دو نقطه درون سیال را با اختلاف ارتفاع این دو نقطه و نیز اختلاف سرعت حرکت در آنها بهم ربط می‌دهد.

برای به‌دست آوردن معادله برنولی قضیه کار انرژی را در مورد جزیی از مایع که درون لوله در حرکت است به‌کار می‌بندیم. شکل صحفه بعد جزیی از مایع را که بین دو مقطع a و c قرار دارد درنظر می‌گیریم.



شکل ۱-۲۷

در زمان Δt مایعی که ابتدا در a بوده است فاصله $\Delta S_1=v_1\Delta t$ را پیموده و به b می‌رسد (V_1 سرعت مایع در این طرف لوله است) در همین مدت مایعی که ابتدا در c بوده است نیز $\Delta S_2=v_2\Delta t$ را پیموده و به d می‌رسد دو سطح مقطع در دو طرف لوله مذکور را به ترتیب A_1 و A_2 فرض کنید بنابر معادله پیوستگی Δv حجم مایعی که در زمان Δt از هر مقطع عبور می‌کند $\Delta v = A_1\Delta S_1 = A_2\Delta S_2$ است.

اکنون کار انجام شده بر روی مایع در زمان Δt را حساب می‌کنیم، اندازه نیروهای وارد بر سیال در a و c به ترتیب P_1A_1 و P_2A_2 هستند که در آنها P_1 و P_2 به ترتیب فشار در a و c هستند، پس قدر مطلق کار انجام شده بر روی مایع در این جابه‌جایی عبارت است از.

$$W=P_1A_1\Delta S_1-P_2A_2\Delta S_2=(P_1-P_2)\Delta V \qquad ۱$$

علامت منفی در جزء دوم رابطه بالا به این دلیل است که نیروی وارد بر جزء مایع در C در جهت مخالف حرکت آن است.

اکنون این کار را برای تغییر انرژی‌های جنبشی و پتانسیل جزء مایع قرار می‌دهیم. در فاصله b تا c انرژی جنبشی مایع تغییر نمی‌کند در لحظه شروع Δt، حجم، جرم و انرژی جنبشی مایع واقع بین a و b به ترتیب $\rho A_1\Delta S_1$ و $A_1\Delta S_1$ و $\frac{1}{2}\rho A_1\Delta S_1V_1^2$ هستند در انتهای Δt مایع واقع بین c و d انرژی جنبشی $\frac{1}{2}\rho A_2\Delta S_2V_2^2$ را دارد لذا قدر مطلق تغییر انرژی جنبشی عبارت‌است از:

$$\Delta k=\frac{1}{2}\rho\Delta V(V_2^2-V_1^2) \qquad ۲$$

تغییر انرژی پتانسیل را نیز به طریق مشابهی حساب می‌کنیم انرژی پتانسیل جرمی از مایع که در زمان Δt از مقطع b لوله وارد لوله می‌شود $\Delta mgy_1=\rho\Delta vgy_1$ و انرژی پتانسیل جرمی که در همین مدت از c خارج می‌شود $\Delta mgy_2=\rho\Delta vgy_2$ و قدر مطلق تغییر انرژی پتانسیل برابر است با

$$\Delta u=\rho\Delta vg(y_2-y_1) \qquad 3$$

با به‌کار گرفتن روابط ۱ و ۲ و ۳ در قضیه کار ـ انرژی $W=\Delta k+\Delta u$ رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$(P_1-P_2)\Delta V=\frac{1}{2}\rho\Delta V(V_2^2-V_1^2)+\rho\Delta Vg(y_2-y_1)$$

و یا

$$P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho(V_2^2-V_1^2)+\rho g(y_2-y_1) \qquad 4$$

معادله برنولی به‌صورتی که در بالا آمده است نشان می‌دهد که کار انجام شده بر روی یک واحد حجم از مایع (P_1-P_2) با تغییر انرژی‌های جنبشی و پتانسیل یک واحد حجم از مایع برابر هستند.

می‌توان رابطه ۴ را برحسب فشارها نیز مورد تفسیر قرار داد. عبارت دوم سمت راست این رابطه اختلاف فشار حاصل از وزن مایع به ازای اختلاف ارتفاع موجود بین ابتدا و انتهای لوله است، عبارت اول سمت راست نیز فشار حاصل از تغییر سرعت مایع است، می‌توان رابطه ۴ را به‌صورت زیر نوشت.

$$P_1+\rho gy_1+\frac{1}{2}\rho V_1^2=P_2+\rho gy_1+\frac{1}{2}V_2^2$$

و چون اندیس‌های ۱ و ۲ را می‌توان به هر دو نقطه دلخواه درون لوله جریان نسبت داد معادله برنولی را به‌صورت زیر نیز می‌نویسند.

$$P+\rho gy+\frac{1}{2}\rho V^2=\text{const}$$

اگر کل رابطه بالا را بر pg تقسیم کنیم آنگاه رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\frac{P}{\rho g}+y+\frac{n^2}{2g}=\text{const}$$ مقدار ثابت

دانستنی‌های معلم

مثال: از لوله‌ای که قطر داخلی آن ۲ سانتی‌متر است آب با فشار 4×10^5 پاسکال (در حدود ۴ اتمسفر) وارد خانه‌ای می‌شود، در حمام طبقه دوم ساختمان به ارتفاع ۵ متر قطر لوله آب ۱ سانتی‌متر است، اگر سرعت عبور آب در لوله ورودی ۴ متر بر ثانیه باشد سرعت آب و فشار در لوله آب حمام چقدر است؟

حل: نقطه یک را در لوله ورودی و نقطه دو را در حمام انتخاب می‌کنیم، سرعت v_2 در حمام از معادله $A_1V_1=A_2V_2$ معادله پیوستگی به‌دست می‌آید.

$$\frac{\pi D_1^2}{4}\times V_1=\frac{\pi D_2^2}{4}\times V_2\Rightarrow\frac{\pi\times 2^2}{4}\times 4=\frac{\pi\times 1^2}{4}\times V_2\Rightarrow V_2=16m/s$$

فرض کنید ارتفاع لوله ورودی $y_1=0$ باشد، ارتفاع لوله حمام $y_2=5m$ است فشار P_1 و سرعت v_1 معلوم است P_2 را از معادله برنولی به‌دست می‌آوریم.

$$\rho=1\times10^3\ kg/m^3$$

$$P_1-P_2=\frac{1}{2}\rho(V_2^2-V_1^2)+\rho g(y_2-y_1)$$

$$4\times10^5-P_2=\frac{1}{2}\times1\times10^3\times(16^2-4^2)+1\times10^3\times9/8\times(5-0)$$

$$\Rightarrow P_2=231000pa\Rightarrow P_2=2/3\times10^5 pa$$

قانون برنولی: براساس قانون برنولی در یک سیستم بسته (محیطی که کاملاً منفرد است و با محیط بیرون کار و گرما مبادله نمی‌کند) برای مایعات ایده‌آل جمع جبری انرژی همواره مقدار ثابتی است.

به‌طور کلی هر مایع در حال جریان، درون یک سیستم بسته دارای سه نوع انرژی می‌باشد که عبارت‌اند از:

الف) انرژی پتانسیل (u): عبارت‌است از انرژی وزن معینی از مایع $W=mg$ که در ارتفاع h از یک صفحه مبنا (مثلاً کف قالب) قرار گرفته است. مقدار این انرژی برابر است با وزن مایع ضربدر فاصله مرکز ثقل این حجم از مایعات سطح مبنا به عبارت ریاضی یعنی

$$u=m\times g\times h\Rightarrow u=W\times h$$

W= وزن مایع

g= شتاب ثقل

این مقدار انرژی به ازای واحد وزن مذاب برابر است با

$$u=1\times h\Rightarrow u=h$$

u= انرژی پتانسیل به ازای واحد وزن

h= ارتفاع (متر)

دانستنی‌های معلم

مفهوم عملی این موضوع آن است که هر قدر ارتفاع راهگاه بارریز بیشتر باشد، سطح مقطع کل کانال‌های فرعی را کوچک‌تر درنظر می‌گیرند. زیرا افزایش ارتفاع بارریز، باعث افزایش انرژی پتانسیل

مذاب شده و در نتیجه سرعت خطی مذاب نیز هنگام ورود به محفظه قالب در این مقاطع (یا مقطع) بیشتر می‌شود به‌عنوان مثال در مورد قطعات چدنی، مجموع سطوح مقاطع کانال‌های فرعی بستگی به ارتفاع راهگاه بارریز دارد. جدول زیر تأثیر آن را نشان می‌دهد.

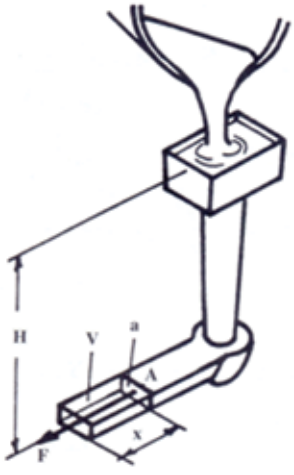
وزن قطعه ریختگی (کیلوگرم)	مجموع سطوح مقاطع فرعی (cm^2)	
	راهگاه بارریز بلند	راهگاه بارریز کوتاه
۱۰	۲/۵	۳/۲
۳۰	۳	۳/۸
۵۰	۳/۵	۴/۵
۱۰۰	۴	۶
۵۰۰	۶	۱۰
۱۰۰۰	۹	۱۵

ب) انرژی فشاری (Epr): این انرژی ناشی از نیروی فشار ستونی از مایع است که به سطح مقطع حجم معینی (مثلاً حجم قسمتی از مایع (مذاب) در داخل راهبار) وارد می‌شود و می‌تواند باعث جابه‌جایی و حرکت آن گردد. فشار در نقطه A که باعث حرکت مقداری از مایع به حجم V می‌گردد برابر است با:

$$P_A=\rho gh$$

ρ چگالی مذاب و h ارتفاع ستون مذاب می‌باشد این فشار می‌تواند نیروی F را بر سطح a (سطح مقطع عمود بر امتداد نیرو در نقطه A) اعمال کند.

$$\text{نیرو} = \text{فشار} \times \text{سطح} \quad \Rightarrow F = P_A.a$$



شکل ۲-۲۷

این نیرو می‌تواند حجم v را به اندازه x تغییر مکان دهد. انرژی حاصل از این جابه‌جایی همان انرژی فشاری است که مقدار آن برابر است با

$$E_{Pr}=F\times X\Rightarrow P_a.a.x$$

با توجه به اینکه $a.x=v$ (حجم مذاب جابه‌جا شده) است رابطه بالا را می‌توان به‌صورت زیر نوشت

$$E_{Pr}=P_A.V$$

از آنجا که $V=\frac{W}{\rho g}$ است رابطه اخیر را می‌توان به‌صورت

$$E_{Pr}=P_A.V\Rightarrow E_{Pr}=P_A.\frac{W}{\rho g}\Rightarrow E_{Pr}=W.\frac{P_A}{\rho g}$$

در نهایت مقدار این انرژی به ازای واحد وزن مایع جابه‌جا شده برابر است با

$$E_{Pr}=\frac{P_A}{\rho g}$$

E_{Pr} = انرژی فشاری به ازای واحد وزن (m)

P = فشار ($\frac{N}{m^2}$)

ρ= چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)

g = شتاب ثقل زمین ($\frac{N}{kg}$)

ج) انرژی جنبشی (K): این انرژی ناشی از سرعت خطی ذرات مایع است که به‌صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$K=\frac{1}{2}mV^2$$

با توجه به اینکه $m=\frac{W}{g}$ رابطه اخیر به‌صورت زیر در می‌آید

$$E_k=\frac{Wv^2}{2g}$$

به ازای واحد وزن مایع مقدار انرژی جنبشی برابر است با:

$$K=\frac{v^2}{2g}$$

K = انرژی جنبشی به ازای واحد وزن

v = سرعت خطی ($\frac{m}{s}$)

طبق قانون برنولی جمع جبری انرژی‌ها همواره مقداری ثابت است

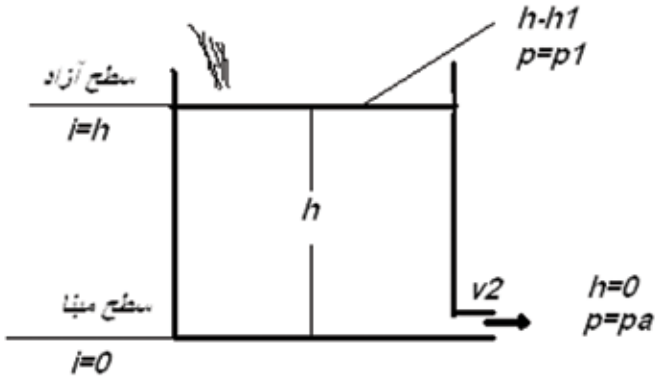
مقداری ثابت = انرژی جنبشی + انرژی فشاری + انرژی پتانسیل

$$u=E_{Pr}+K=\text{constant}$$

$$h+\frac{P_A}{\rho g}+\frac{v^2}{2g}=\text{const}\Rightarrow h_1+\frac{P_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}=h_2+\frac{P_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}$$

قسمت دوم درس: قانون تریچلی

این قانون که در حدود یک صد سال پیش از قانون برنولی ارائه گردید در حقیقت یکی از کاربردهای خاص قانون برنولیست.



شکل۳-۲۷

در ظرفی مطابق شکل مایعی به ارتفاع h_1 قرار دارد و ته ظرف سوراخی برای خروج مایع (در سطح h=۰) تعبیه شده است. براساس قانون برنولی (چنانچه مایع خروجی از ته ظرف به‌طور مداوم از بالا به این ظرف اضافه شود) می‌توان نوشت

$$h = h_1 \Rightarrow E = \frac{P_a}{\gamma} + h_1 \qquad V = 0$$

$$h = 0 \Rightarrow E = \frac{v^2}{\rho g} + \frac{P_a}{\gamma} \qquad V = V_2$$

P_a = فشار اتمسفر بر حسب $(\frac{N}{m^2})$

γ = وزن مخصوص مایع

با توجه به تساوی دو رابطه بالا نتیجه می‌شود

$$\frac{P_a}{\gamma} + h_1 = \frac{v^2}{\rho g} + \frac{P_a}{\gamma} \Rightarrow h_1 = \frac{v^2}{\rho g} \Rightarrow V_2^2 = 2gh_1 \Rightarrow V_2 = \sqrt{2gh_1}$$

v_2= سرعت خروج مایع از ته ظرف $(\frac{m}{s})$

h_1= ارتفاع مایع در ظرف m

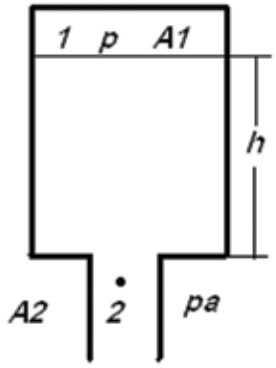
رابطه بالا بیان‌کننده قانون تریچلی است که نتیجه کاربرد قانون برنولی در شرایط خاص می‌باشد.

دانستنی‌های معلم

سرعت فوران: قضیه تریچلی

شکل زیر مخزنی را نشان می‌دهد که سطح مقطع آن A_1 است و تا ارتفاع h از مایعی به چگالی

ρ پر شده است.



شکل۴-۲۷

روی سطح بالایی مایع هوا با فشار P قرار دارد و مایع از مجرایی به سطح مقطع $A_۲$ بیرون می‌ریزد فرض کنید همه مایعی که به طرف خارج در حرکت است درون یک لوله منفرد حرکت می‌کند و $v_۱$ و $v_۲$ به ترتیب سرعت‌های حرکت مایع در نقاط ۱ و ۲ باشند $v_۲$ را سرعت فوران می‌نامند. فشار در نقطه ۲ فشار جو یعنی P_a است . اگر معادله برنولی را برای نقاط ۱ و ۲ بنویسیم و تراز مرجع را کف مخزن فرض کنیم خواهیم داشت.

انرژی پتانسیل + انرژی جنبشی + فشار

$$P + \rho gh + \frac{۱}{۲}\rho V_۱^۲ = P_a + \rho gh + \frac{۱}{۲}\rho V_۲^۲$$

از آنجایی که ارتفاع در کف ظرف صفر است بنابراین

$$P + \rho gh + \frac{۱}{۲}\rho V_۱^۲ = P_a + \frac{۱}{۲}\rho V_۲^۲$$

و یا

$$V_۲^۲ = V_۱^۲ + \frac{۲(P - P_a)}{\rho} ۲gh$$

اگر مخزن باز و به هوای جو مربوط باشد داریم

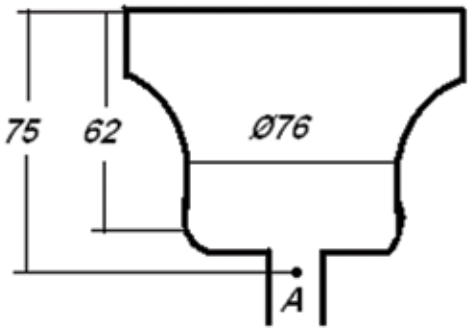
$$P=P_a \Rightarrow P-P_a = ۰$$

چنانچه در شکل بالا سطح $A_۲$ به مراتب از $A_۱$ کوچک‌تر باشد $V_۱^۲$ نیز به مراتب از $V_۲^۲$ کوچک‌تر و قابل چشم‌پوشی است در این صورت رابطه قبلی چنین می‌شود.

$$V_۲^۲ = ۲gh \Rightarrow V_۲ = \sqrt{۲gh}$$

یعنی سرعت مایعی با سرعت جسمی که از ارتفاع h آزادانه رها شده باشد برابر است. این قضیه را قضیه تریچلی می‌نامند. لازم نیست مجرای خروجی حتماً در کف مخزن باشد این رابطه برای هر وضع مجرا در عمق h صادق است.

مثال: مطلوب‌است سرعت جریان مذاب در کف حوضچه (نقطه A) به داخل راهگاه بارریز.



شکل۵-۲۷

حل: طبق رابطه تریچلی تنها اندازه‌ای که در سرعت جریان مذاب دخالت دارد ۷۵ میلی‌متر است که مساوی ۰/۰۷۵ متر می‌باشد.

$$V=\sqrt{2gh} \Rightarrow V=\sqrt{2\times 9/81\times 0/075} \Rightarrow V=\sqrt{1/4715} \Rightarrow V=1/213\frac{m}{s} \quad V=121/2\frac{cm}{s}$$

قسمت سوم درس: قانون تداوم یا پیوستگی

براساس این قانون، حجم مذاب یا مایع جاری در هر مقطع در واحد زمان مقداری ثابت است.

$$Q=\frac{V}{t}=\text{const} \quad \text{مقداری ثابت} = \frac{\text{حجم}}{\text{زمان}} = \text{دبی}$$

Q= دبی $(\frac{m^3}{s})$

v = حجم (m^3)

t = زمان عبور حجم مذکور از مذاب (s)

با توجه به اینکه حجم V را می‌توان به‌صورت حاصلضرب مساحت (A) در ارتفاع یا طول (L) بیان کرد از اینرو رابطه بالا را می‌توان به‌صورت زیر نوشت.

$$Q=\frac{V}{t} \Rightarrow Q=\frac{A\times L}{t} \Rightarrow Q=A\frac{L}{t} \Rightarrow Q=A\times V$$

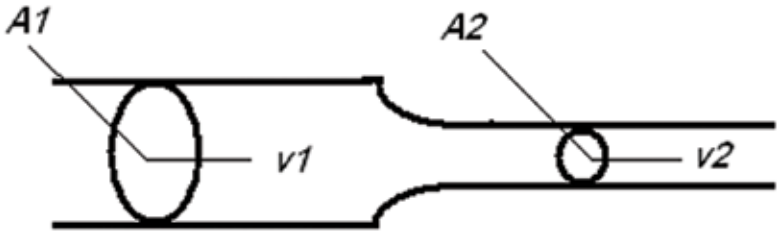
v= سرعت خطی مذاب (مایع) $(\frac{m}{s})$

A = مساحت مقطعی که مذاب با سرعت مذکور از آن عبور می‌کند (m^2)

بنابراین قانون تداوم برای دو نقطه مختلف از یک سیستم بسته به‌صورت رابطه زیر می‌باشد.

$$Q=A_1\times V_1 = A_2 \times V_2$$

براساس رابطه فوق در اثر کاهش سطح مقطع یک لوله سرعت سیال افزایش می‌یابد و حال آنکه افزایش سطح مقطع موجب کاهش سرعت سیال می‌گردد.



شکل۶-۲۷

به کمک قانون تریچلی و قانون تداوم می‌توان تأثیر ارتفاع ریختن مذاب را بر سرعت پر شدن قالب محاسبه کرد.

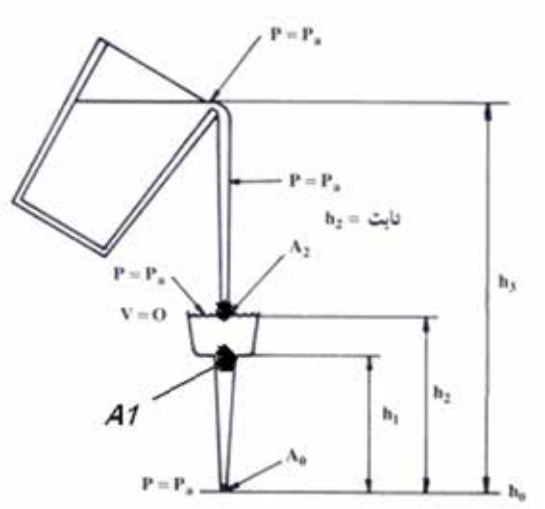
در شکل زیر مقدار بار خروجی از پاتیل بارریز باید معادل مقدار مذاب خروجی از انتهای راهگاه بارریز باشد.

براساس قانون تریچلی.

$$V_\circ = \sqrt{2gh_2} \Rightarrow V_\circ = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_2}$$

$v_\circ$ سرعت خروج مذاب از انتهای راهگاه بارریز می‌باشد و مقدار خروج مایع از سطح مقطع $A_\circ$ برابر است با

$$Q = A_\circ \times V_\circ \Rightarrow Q = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_2} \times A_\circ$$



شکل۷-۲۷

در نتیجه برای آنکه مقدار h_2 ثابت بماند لازم است همواره سیستم راهگاهی از مذاب پرنگه داشته شود در این حالت دبی در تمام سطوح مقاطع یکسان خواهد بود.

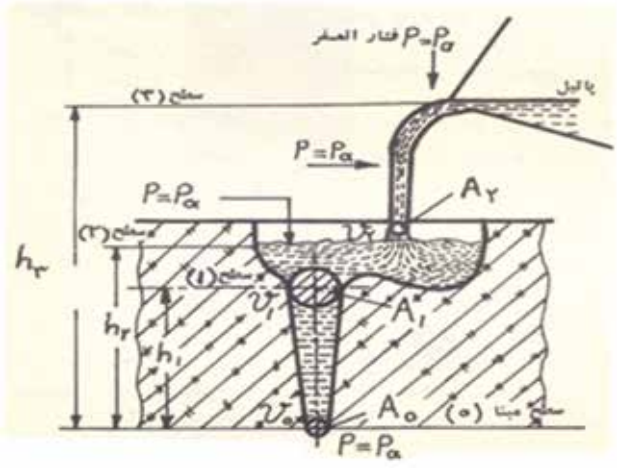
$$Q_1 = Q_2 = V_2 A_2 = \sqrt{2g} \times \sqrt{h_3 - h_2} \times A_2$$

Q_2 و v_2 به ترتیب دبی جریان و سرعت جریان ورودی به حوضچه هستند.

از رابطه اخیر می‌توان نتیجه گرفت

$$A_2 = A_0 \sqrt{\frac{h_2}{h_3 - h_2}}$$

که در آن مقدار $h_3 - h_2$ فاصله بین دهانه پاتیل تا سطح فوقانی حوضچه می‌باشد.



شکل۸-۲۷

دانستنی‌های معلم

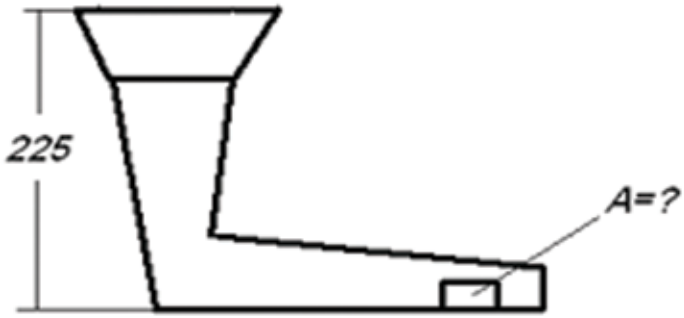
باید توجه کرد که فشار در تمام سطوح مساوی و برابر فشار اتمسفر است. ریختن مذاب از پاتیل به داخل حوضچه باعث افزایش موضعی فشار در حوضچه می‌گردد که به نوبه خود حرکت مذاب را به‌صورت اغتشاشی در می‌آورد (هرچه فاصله بین محل ریزش مذاب و سوراخ کف حوضچه بیشتر باشد این اغتشاش کمتر شده و مذاب آرامتر حرکت می‌کند) این حرکت ناآرام تلف کننده انرژی است و اتلاف انرژی را می‌توان با افزایش مقدار کمی به h_3 جبران کرد (با بالا بردن پاتیل مذاب).

افزایش موضعی فشار در حوضچه روی مقدار مذاب خروجی از قسمت تحتانی راهگاه (سطح مبنا) تأثیری ندارد. بنابراین شخص بارریز می‌تواند ریختن مذاب را به دلخواه به‌وسیله تغییر ارتفاع h_3 یا میزان خم کردن پاتیل کنترل کند.

از آنچه در فوق گفته شد چنین استنباط می‌گردد که سرعت پرکردن قالب از مذاب مستقل از ارتفاع لبه پاتیل حوضچه می‌باشد. لیکن در خارج از حدود تعادل، یا مذاب به بیرون از حوضچه

پاشیده می‌شود و یا راهگاه بارریز از مذاب پر نمی‌ماند.

مثال: در ریخته‌گری یک قطعه چدنی به وزن کل ۴/۵ kg (مجموع وزن قطعه و سیستم راهگاهی) فاصله کانال فرعی تا سطح آزاد مذاب (ارتفاع راهگاه بارریز و حوضچه) ۲۲/۵ cm است در صورتی‌که زمان ریختن مذاب در قالب ۸s باشد سطح مقطع راهگاهی فرعی آن را محاسبه کنید. وزن مخصوص چدن مذاب ۷/۲ و شتاب ثقل زمین ۹۸۰ cm/s فرض شود.



شکل۹-۲۷

حل: ابتدا باید حجم قطعه ریختگی تعیین شود

$$\text{حجم} = \frac{\text{وزن}}{\text{وزن مخصوص}} \quad \Rightarrow \quad V = \frac{W}{d} \Rightarrow V = \frac{۴/۵}{۷/۲} \Rightarrow V = ۰/۶۲۵ dm^۳$$

چون سرعت بارریزی یا دبی برابر است با حجم تقسیم بر زمان لذا می‌توان نوشت:

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = \frac{۰/۶۲۵}{۸} \Rightarrow Q = ۰/۰۷۸۱ \frac{dm^۳}{s} = ۷۸/۱ \frac{cm^۳}{s}$$

برای تعیین سطح مقطع کانال فرعی، سرعت خطی مذاب نیز باید در این مقطع حساب شود

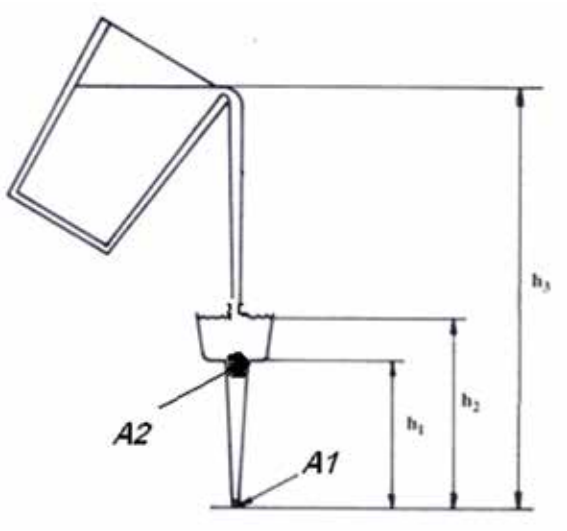
$$V = \sqrt{۲gh} \Rightarrow V = \sqrt{۲ \times ۹۸۰ \times ۲۲/۵} \Rightarrow V = ۲۱۰$$

با معلوم بودن مقادیر Q و V به سهولت می‌توان سطح مقطع کانال فرعی را تعیین کرد

$$Q = V \times A \Rightarrow ۷۸/۱ = ۲۱۰ \times A \Rightarrow A = ۰/۳۷ cm^۳$$

در عمل به‌دلیل اصطکاک مذاب با جداره قالب و افت سرعت در خم‌ها و همچنین افت درجه حرارت مذاب (که باعث کاهش سیالیت می‌شود) این مقطع تئوریک را حداقل در ضریب ۲ ضرب می‌نماییم.

$$A = ۰/۳۷ \times ۲ = ۰/۷۵ cm^۲$$



شکل ۱۰-۲۷

براساس قانون تریچلی داریم

$$Q = V_۲.A_۲$$

$$V_۲ = \sqrt{۲g} \times \sqrt{h_۳ - h_۲}$$

$h_۳ - h_۲$ ارتفاع مذاب از پاتیل سطح فوقانی حوضچه بارریز است.

در نتیجه خواهیم داشت

$$Q_۱ - Q_۲ = V_۲.A_۲ = \sqrt{۲g} \times \sqrt{h_۳ - h_۲} \times A_۲$$

$$Q_۱ = \sqrt{۲g} \times \sqrt{h_۲} \times A_۱ = Q_۲ = \sqrt{۲g} \times \sqrt{h_۳ - h_۲} \times A_۲$$

$$\sqrt{h_۲} \times A_۱ = \sqrt{h_۳ - h_۲} \times A_۲$$

طرفین رابطه بالا را بر $\sqrt{h_۳ - h_۲}$ تقسیم می‌کنیم

$$\frac{\sqrt{h_۲}}{\sqrt{h_۳ - h_۲}} \times A_۱ = \frac{\sqrt{h_۳ - h_۲}}{\sqrt{h_۳ - h_۲}} \times A_۲ \Rightarrow \frac{\sqrt{h_۲}}{\sqrt{h_۳ - h_۲}} \times A_۱ = A_۲$$

$$A_۲ = A_۱ \sqrt{\frac{h_۲}{h_۳ - h_۲}}$$

$h_۳ - h_۲$ فاصله بین دهانه پاتیل تا سطح فوقانی حوضچه بارریز است

قسمت چهارم درس: جمع‌بندی و تعیین تکلیف منزل

در این جلسه مطالب زیر را آموختیم:

۱ـ براساس قانون برنولی در یک سیستم بسته (محیطی که کاملاً منفرد است و با محیط بیرون کار و گرما

مبادله نمی‌کند) برای مایعات ایده‌آل جمع جبری انرژی‌ها همواره مقدار ثابتی است. یعنی:

$$h+\frac{P_A}{\rho g}+\frac{v^2}{2g}=const \Rightarrow h_1+\frac{P_1}{\rho g}+\frac{v_1^2}{2g}=h_2+\frac{P_2}{\rho g}+\frac{v_2^2}{2g}$$

۲ـ رابطه $V=\sqrt{2gh}$ بیان کننده قانون تریچلی است که نتیجه کاربرد قانون برنولی در شرایط خاص می‌باشد.

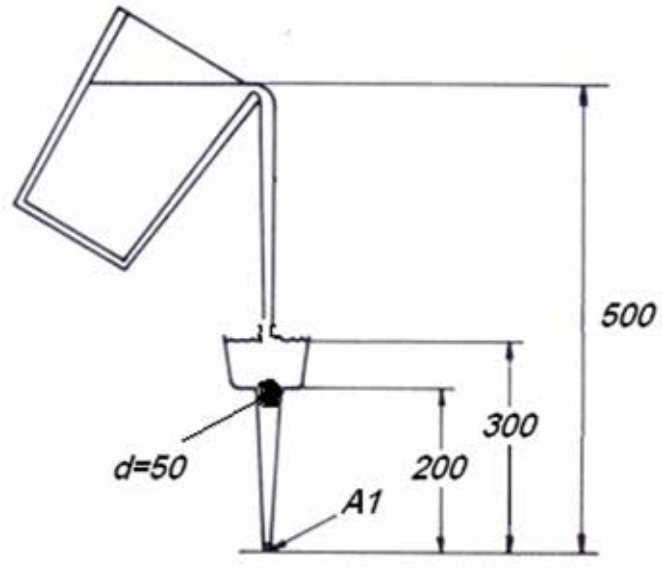
۳ـ براساس قانون تداوم یا پیوستگی، حجم مذاب یا مایع جاری در هر مقطع در واحد زمان مقداری ثابت است. یعنی:

$$Q=\frac{V}{t}=const \quad \text{یا} \quad \text{مقداری ثابت} = \frac{\text{حجم}}{\text{زمان}} = \text{دبی}$$

یا به‌عبارت دیگر دبی مذاب ($Q=A\times V$) ثابت است.

برای تکلیف مسئله زیر را در منزل حل کنید.

با توجه به شکل قطعه‌ای چدنی به وزن کل ۱۲ کیلوگرم باید ریخته‌گری شود در صورتی که زمان بارریزی ۱۰ ثانیه باشد مطلوب‌است سطح مقطع لوله راهگاه و قطر آن:



شکل ۱۱-۲۷

هفته بیست و هشتم: قانون پاسکال ـ جریان آرام و اغتشاشی ـ محاسبه سطح مقطع تنگه

این جلسه از قسمت‌های زیر تشکیل شده است. (صفحات ۱۴۸ـ۱۴۲)

۱ـ امتحان کلاسی و حل آن

۲ـ حل سؤال تکلیف منزل

۳ـ قانون پاسکال

۴ـ جریان آرام و اغتشاشی مایع

۵ـ محاسبه سطح مقطع تنگه

۶ـ جمع‌بندی و تعیین تکلیف منزل

قسمت اول درس

در ابتدای جلسه پس از استقرار هنرجویان، در برگه‌های A۵ تهیه شده آزمون کلاسی از مبحث قبلی گرفته می‌شود.

نام و نام خانوادگی ..... زمان ۱۵ دقیقه

قطعه‌ای آلومینیومی به وزن ۸۴ کیلوگرم باید توسط ریخته‌گری تولید شود در صورتی که قطر لوله راهگاه در قسمت پایین ۵ سانتی‌متر و ارتفاع راهگاه به همراه حوضچه بارریز ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع پاتیل برای ذوب ریزی ۵۰ سانتی متر از سطح قالب باشد

الف) سرعت خروج مذاب از لوله راهگاه

ب) قطر بالای لوله راهگاه

$g = ۱۰۰۰ cm/s^۲$

در حین امتحان حضور و غیاب نیز انجام می‌شود. پس از ۱۵ دقیقه برگه‌ها با نفرات جلویی جابه‌جا می‌شود و حل آن روی تخته نوشته می‌شود.

حل سؤال امتحانی:

الف) $V = \sqrt{۲gh} \Rightarrow V = \sqrt{۲\times۱۰۰۰\times۲۰} \Rightarrow V = ۱۰۰ cm/s$

ب) $A_۲ = A_۱\sqrt{\frac{h_۲}{h_۳ - h_۲}}$

$A_۱ = \frac{\pi d^۲}{۴} \Rightarrow A_۱ = \frac{۳/۱۴\times۰/۰۵^۲}{۴} \Rightarrow A_۱ = ۱/۹۶\times۱۰^{-۵}$

$A_۲ = A_۱\sqrt{\frac{h_۲}{h_۳ - h_۲}} \Rightarrow A_۲ = ۱/۹۶\times۱۰^{-۵}\times\sqrt{\frac{۰/۲}{۰/۵ - ۰/۲}} \Rightarrow A_۲ = ۱/۶\times۱۰^{-۵} m^۲$

$A_۲ = \frac{\pi d^۲}{۴} \Rightarrow ۱/۶\times۱۰^{-۵} = \frac{۳/۱۴\times d^۲}{۴} \Rightarrow d_۲ = ۴/۵\times۱۰^{-۳}$

قسمت دوم درس: حل تکلیف منزل

$$A_۲ = A_۱\sqrt{\frac{h_۲}{h_۳ - h_۲}}$$

$$A_۲ = \frac{\pi d^۲}{۴} \Rightarrow A_۲ = \frac{۳/۱۴ \times ۰/۰۵^۲}{۴} \Rightarrow A_۲ = ۱/۹۶ \times ۱۰^{-۵}$$

$$A_۲ = A_۱\sqrt{\frac{h_۲}{h_۳ - h_۲}} \Rightarrow ۱/۹۶ \times ۱۰^{-۵} = A_۱ \times \sqrt{\frac{۰/۳}{۰/۵ - ۰/۳}} \Rightarrow A_۱ = ۱/۵ \times ۱۰^{-۳}$$

$$A_۱ = \frac{\pi d^۲}{۴} \Rightarrow ۱/۵ \times ۱۰^{-۳} = \frac{۳/۱۴ \times d^۲}{۴} \Rightarrow d_۲ = ۰/۰۴\,m \Rightarrow d_۲ = ۴۰\,mm$$

قسمت سوم درس: قانون پاسکال

توجه معلم

در مورد قانون پاسکال در فصل پنجم کتاب توضیحات کاملی داده شد، بنابراین در این مبحث فقط اشاره کوتاهی در رابطه با قانون پاسکال و کاربرد آن آورده می‌شود.

براساس این قانون :

الف) در داخل ظروف مرتبطه (نظیر قالب پر شده از فلز مذاب) فشار در همه نقاط ظرف که در روی یک سطح افقی قرار دارند یکسان است.

ب) فشار هر نقطه از درون مایع برابر است با فاصله آن نقطه تا سطح آزاد مایع ضربدر وزن مخصوص مایع به اضافه فشار خارجی که بر مایع اعمال می‌شود.

$$P = P_a + \rho gh$$

P = فشار در هر نقطه از یک سطح افقی $(N/m^۲)$

P_a = فشار اتمسفر $(N/m^۲)$

ρ = چگالی مذاب $(kg/m^۳)$

h = فاصله عمودی نقطه تا سطح آزاد مایع (m)

با توجه به اینکه فشار خارجی روی مایع معمولاً فشار اتمسفر است و چون فشار هوای خارجی در تمام نقاط قالب معادل فشار اتمسفر است،بنابراین فشار مطلق که بر یک نقطه در درون مایع به تمام جهات وارد می‌شود برابر است با:

$$P = \rho gh$$

قسمت چهارم درس: جریان آرام و اغتشاشی مذاب

به‌طور کلی، جریان هر مایعی درون یک کانال می‌تواند به دو صورت آرام یا اغتشاشی انجام گیرد طبق تعریف، جریانی آرام نامیده می‌شود که سرعت آن در یک کانال، از دیواره کانال تا مرکز آن به‌تدریج افزایش یابد. از نظر تئوری براساس این قانون می‌توان سرعت جریان مذاب را در دیواره‌های راهگاه‌ها صفر درنظر گرفت درحالی‌که در مرکز سطح مقطع این سرعت در حداکثر مقدار خود می‌باشد به‌عبارت دیگر لایه‌های مایع در حال جریان باید با سرعت‌های متفاوتی روی یکدیگر حرکتی لغزشی داشته باشند. در حقیقت چنین جریانی از مایع با حداقل اصطکاک ممکن انجام می‌پذیرد. هنگامی که مقدار متوسط سرعت مایع افزایش یابد در حد معینی میزان لغزش لایه‌های آن روی یکدیگر از مقدار استحکام برشی مایع تجاوز می‌کند. در این حالت ادامه جریان آرام و یک جهتی مایع دیگر مقدور نیست و در نتیجه مایع به‌صورت چند جهتی یا اغتشاشی جریان خواهد یافت. تبدیل حرکت آرام مایع به جریان اغتشاشی توسط رینولدز مورد مطالعه قرار گرفت براساس مطالعات این شخص کیفیت جریان از نظر آرام یا ناآرام بودن با عدد بدون بعدی بنام عدد رینولدز R_e بیان می‌شود.

$$R_e = \rho.D_e.V.\frac{۱}{\eta}$$

R_e= عدد رینولدز (بدون بعد)

ρ = جرم مخصوص مایع ($kg/m^۳$)

D = قطر کانال (m)

V= سرعت جریان مذاب (m/s)

η = ویسکوزیته دینامیکی مذاب (kg/ms)

قابل ذکر است که برای مقاطع غیردایره‌ای D قطر معادل است که از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$D_e = \frac{۴ \times \text{مساحت مقطع}}{\text{محیط مقطع}} \Rightarrow D_e = \frac{۴ \times A}{c}$$

نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که چنانچه عدد رینولدز از ۳۰۰۰ کمتر باشد جریان مذاب کاملاً آرام و بدون حرکت است و در لایه‌های موازی انجام می‌گیرد. (شکل ۷ـ۷ صفحه ۱۴۶)

هرگاه عدد مذکور از مقدار یاد شده بیشتر باشد، تلاطم آغاز می‌گردد. در ریخته‌گری، چنانچه عدد رینولدز در حد آرام درنظر گرفته شود، سرعت خطی و قطر راهباره به اندازه‌ای کوچک خواهد بود که عملاً ریخته‌گری غیرممکن می‌شود. از نظر ریخته‌گری و با توجه به تفاوت فاحش دمای مذاب و قالب، مشخص شده است که چنانچه عدد رینولدز در مقادیر کمتر از ۳۰۰۰۰ باشد، یک لایه نسبتاً غیرآشفته و آرام در فصل مشترک مذاب ـ قالب پدید می‌آید که موجب کاهش عوامل فرسایشی دیواره و جذب سطحی هوا از قالب می‌شود، در حالی‌که در مرکز جریان،نوعی آشفتگی وجود دارد.

براساس مطالعات انجام شده توسط افراد دیگری، جریان فوق نسبتاً غیرمضر است و امکان داخل شدن هوا (به‌دلیل یکپارچگی سطحی) کاهش می‌یابد، در چنین حالتی با توجه به تغییرات حدود ۱۰ برابر در مقادیر یاد شده، شرایط عملی به‌طور نسبی برقرار شده از این نظر می‌توان آن‌را جریان آرام سطحی یا جریان نیمه آرام (آرام ریخته‌گری) نامید. در هر حال تجاوز از اعداد فوق، جریان را کاملاً آشفته و قطعات ناسالم با مک‌های گازی و آخال تولید می‌کند.

مثال: مطلوب‌است محاسبه سرعت چدن مذاب در راهگاه یک سیستم راهگاهی با مقطع مستطیل به ابعاد ۳×۵ سانتی‌متر عدد رینولدز ۲۳۰۰، جرم مخصوص چدن مذاب ۷ g/cm^3 و ویسکوزیته حدود ۰/۰۲۴ پواز $(gr/cm.s)$ است.

حل: چون مقطع مستطیلی است (غیر دایره‌ای) باید قطر مؤثر حساب شود

$$D_e = \frac{۴\times A}{c} \Rightarrow D_e = \frac{۴(۵\times ۳)}{۲(۵+۳)} \Rightarrow D_e = ۳/۷۵cm = ۰/۰۳۷۵m$$

برای تعیین سرعت خطی مذاب، باید توجه داشت که چنانچه در رابطه رینولدز، واحدها در سیستم بین‌المللی Si بیان شود در این‌صورت لازم است، واحد پواز $(kg/m.s)$ و واحد جرم مخصوص (gr/cm^3) به (kg/m^3) تبدیل شود.

بنابر آنچه در فصل اول آموخته‌اید

۰/۰۲۴ gr	۱ kg	۱۰۰cm	kg
cm.s	۱۰۰۰gr	۱m	m.s

$$\eta = \frac{۰/۰۲۴\times ۱۰۰\times ۱}{۱۰۰۰\times ۱} = ۰/۰۰۲۴kg/m.s$$

۷ gr	۱ kg		kg
cm^3	۱۰۰۰gr	$۱m^3$	m^3

$$\rho = \frac{۷\times ۱\times ۱۰۰۰۰۰۰}{۱۰۰۰\times ۱} = ۷۰۰۰kg/m^3$$

لذا سرعت خطی مذاب چنین خواهد بود.

$$R_e = r.D_e.V.\frac{۱}{h} \Rightarrow V = \frac{h\cdot R_e}{r\cdot D_e} \Rightarrow V = \frac{۰/۰۰۲۴\cdot ۲۳۰۰}{۷۰۰۰\cdot ۰/۰۳۷۵} \Rightarrow V = ۰/۰۲۱m/s \gg ۲cm/s$$

دانستنی‌های معلم

با تجربیات متعددی که رینولدز فیزیکدان انگلیسی انجام داده و یکی از مهمترین اصول هیدرولیک را بنیان‌گذاری نموده است، می‌توان نشان داد که به‌طور کلی حرکت هر مایع درون مجاری و کانال‌ها هنگامی در تمام مقاطع یکنواخت و کاملاً آرام است که عدد رینولدز مقدار ثابت و محدودی باشد.

$$N_R = \frac{v.\rho.D_e}{\mu} \leq ۲۳۰۰$$

v= سرعت خطی و متوسط الیاف‌های مذاب بر حسب m/s

ρ= جرم مخصوص مذاب برحسب $kg/m^۳$

μ = ویسکوزیته مذاب برحسب kg/m.s

D_e= قطر معادل (مؤثر) کانال برحسب متر که اندازه آن برای کانال‌های مدور، با قطردایره مقطع کانال برابر است ولی برای کانال‌های غیرمدور مقدار آن از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

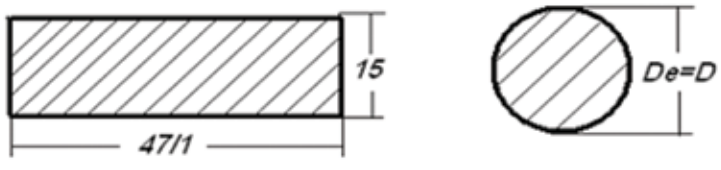
$$D_e = \frac{۴ \times A}{C}$$

در این رابطه A سطح مقطع کانال برحسب متر مربع و C محیط مقطع برحسب متر می‌باشد.

ثابت شده است که برای تمامی مقاطع با سطوح یکسان ولی با شکل‌های مختلف (مستطیل، مثلث، ذوزنقه، دایره، بیضی و ...) هنگامی قطر مؤثر D_e مینیمم و حداقل است که محیط مقطع ماکزیمم و حداکثر باشد. از میان شکل‌های موجود، در درجه اول دایره، سپس مقاطع نیمه مدور مانند بیضی دارای چنین خاصیتی هستند.

این قضیه اهمیت زیادی در طرح مقاطع یک سیستم راهگاهی دارد زیرا با تغییر قطر مؤثر D_e (با انتخاب شکل مناسب مقطع، به‌طوری‌که اندازه سطح آن تغییر نکرده و ثابت باشد) می‌توان سرعت مذاب را در مجاری سیستم راهگاهی کنترل کرد.

حل تمرین ۳ آخر فصل



شکل ۱-۲۸

چون باید سطح هر دو مقطع یکسان باشد، لذا ابتدا قطر دایره به طریق زیر تعیین می‌شود.

تذکر: از آنجایی که در رابطه رینولدز D_e باید برحسب متر باشد اما چون D_e مستطیل و D_e دایره به‌صورت مقایسه‌ای محاسبه می‌شود لذا واحدهای صورت و مخرج از هم حذف می‌شوند، بنابراین هر واحدی در نظر گرفته شود درست است.

$$A_{\square} = a \times b \Rightarrow A_{\square} = ۴۷/۱ \times ۱۵ \Rightarrow A_{\square} = ۷۰۶/۵$$ مساحت مستطیل

مساحت دایره = مساحت مستطیل $\Rightarrow A_{\square} = A_{\odot}$

$$A_{\odot} = \frac{\pi d^۲}{۴} \Rightarrow ۷۰۶/۵ = \frac{۳/۱۴ \times d^۲}{۴} \Rightarrow d = ۳۰$$

$$D_{e\odot} = ۳۰$$

$$D_{e\square} = \frac{۴A}{C} \Rightarrow D_{e\square} = \frac{۴(۴۷/۱ \times ۱۵)}{۲(۴۷/۱ + ۱۵)} \Rightarrow D_{e\square} = ۲۲/۷۵$$

$$R_e = \rho . D_e . V . \frac{۱}{\eta}$$

$$V = \frac{R_e . \eta}{\rho . D_e} \Rightarrow \frac{\nu^۲_{\square}}{\nu^۱_{\odot}} = \frac{\frac{R_e . \eta}{\rho . D_e}}{\frac{R_e . \eta}{\rho . D_e}} \Rightarrow \frac{\nu^۲_{\square}}{\nu^۱_{\odot}} = \frac{D_{e\odot}}{D_{e\square}} \Rightarrow \frac{\nu^۲_{\square}}{\nu^۱_{\odot}} = \frac{۳۰}{۲۲/۷} \Rightarrow \frac{\nu^۲_{\square}}{\nu^۱_{\odot}} = ۱/۳۱۸$$

دانستنی‌های معلم

چنانچه ملاحظه می‌شود نسبت سرعت‌ها متناسب با عکس نسبت قطرهای مؤثر است یعنی

$$\frac{V_۱}{V_۲} = \frac{D_{e۲}}{D_{e۱}}$$

در مورد مقاطع تخت و کم عرض این نسبت حتی به ۳ تا ۴ برابر نیز افزایش یافته و مذاب به‌صورت تیغه‌ای و آرام حرکت می‌کند، این مقاطع بیشتر برای کانال‌های اصلی و به‌خصوص برای کانال‌های فرعی مناسب است ولی در مورد راهگاه بارریز به هیچوجه مقطع مستطیل شکل به‌کار نمی‌رود زیرا امکان قطع جریان مذاب زیاد خواهد بود. از این رو در این راهگاه از مقطع دایره‌ای یا مربع شکل استفاده می‌شود و برای جلوگیری از حرکت سریع و اغتشاشی جریان مذاب (که باعث مکش و ورود حباب هوا و در نتیجه مواد اکسیدی به داخل مذاب می‌گردد) لازم است راهگاه بارریز با شیب معینی ساخته شود در این صورت باید دقت شود که ارتفاع راهگاه بارریز (بدون ارتفاع حوضچه) هیچگاه از ۲/۵ برابر قطر بزرگ آن کوچک‌تر نباشد در غیر اینصورت الیاف‌های مذاب در این لوله راهگاه از هم جدا شده و جریان مذاب اغتشاشی می‌شود.

در مورد حرکت چدن مذاب در کانالی به قطر مؤثر ۰/۸cm با ارتفاع استاتیکی ۱۰cm سرعت مذاب به ۱۳۰ cm/s برای ۱۰۰°C فوق ذوب با ویسکوزیته ۰/۰۸ پوآز در اینصورت عدد رینولدز برابر

۱۰۰۰۰ خواهد بود.

برای حرکت فولاد مذاب در کانال فوق با همان ارتفاع استاتیکی سرعت به‌دست آمده ۱۲۰ cm/s در ۱۰۰°C فوق ذوب با ویسکوزیته ۰/۰۶ پوآز عدد رینولدز برابر ۱۲۰۰۰ است.

برای مذاب آلیاژ سیلومین در همین شرایط سرعت به ۱۵۰cm/s می‌رسد که در این‌صورت عدد رینولدز ۲۰۰۰۰ با ویسکوزیته ۰/۰۱۴ پوآز خواهد بود.

برای مذاب آلیاژهای روی عدد رینولدز ۲۴۰۰۰ با ویسکوزیته ۰/۰۷ پوآز خواهد بود.

توضیح آخر اینکه:

پوآز و همچنین kg/cm.s واحدهای متداول در اندازه‌گیری ویسکوزیته دینامیکی هستند، با اینحال در بعضی از محاسبات یا جداول ممکن است از ویسکوزیته سینماتیک (ویسکوزیته دینامیکی تقسیم بر جرم مخصوص) نیز استفاده شود.

$$\text{ویسکوزیته سینماتیک} = \frac{\text{ویسکوزیته دینامیکی}}{\text{جرم مخصوص مذاب}} \Rightarrow \nu = \frac{\mu}{\rho}$$

واحد ویسکوزیته سینماتیک استوکس (stokes) می‌باشد که با توجه به رابطه فوق برابر است با

$$\text{۱ استوکس (stokes)} = \frac{\text{۱ g/cm.s (پوآز)}}{\text{۱ g/cm}^3} = \text{۱ cm}^2/\text{s}$$

به عنوان مثال چون ویسکوزیته دینامیکی آلومینیوم مذاب ۰/۰۳ پوآز است (در ۷۰۰°C با وزن مخصوص ۲/۴۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب) لذا ویسکوزیته سینماتیک آن، به‌صورت زیر تعیین می‌شود.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \Rightarrow \nu = \frac{۰/۰۳}{۲/۴۵} = ۰/۰۱۲ \text{ stokes}$$

قسمت پنجم درس: محاسبه سطح مقطع تنگه

وقتی مقداری مذاب با حجم V و با سرعت v از مقطع یک کانال به مساحت A عبور می‌کند بدیهی است که در مدت زمان t (زمان بارریزی) رابطه زیر برقرار است.

$$V = A.v.t$$

چنانچه جرم این مقدار مذاب با m و جرم مخصوص آن ρ باشد در اینصورت

$$\frac{m}{\rho} = A.V.t \Rightarrow A = \frac{m}{\rho.t.\nu}$$

چنانچه سطح مقطع مذکور به عنوان تنگه درنظر گرفته شود آنگاه

$$A_c = \frac{m}{\rho.t.v}$$

m = جرم بر حسب gr

ρ= چگالی برحسب gr/cm^3

t= زمان بر حسب s

v = سرعت برحسب cm/s

A_c = سطح مقطع تنگه cm^2

جمع‌بندی و تعیین تکلیف منزل:

۱ـ کیفیت جریان از نظر آرام یا ناآرام بودن با عدد بدون بعدی به‌نام عدد رینولدز R_e بیان می‌شود که عبارت است از:

$$R_e = \rho.D_e.V.—$$

برای جریان مذاب داخل سیستم راهگاهی عدد رینولدز تا ۳۰۰۰۰ قابل قبول است.

۲ـ سطح مقطع تنگه از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$A_c = \frac{m}{\rho.t.v}$$

ـ تمرین شماره ۱ آخر فصل را برای جلسه آینده حل کنید.

هفته بیست و نهم: تعیین سرعت خطی ـ محاسبه ارتفاع مؤثر ـ تعیین زمان بارریزی

این جلسه از قسمت‌های زیر تشکیل شده است (صفحات ۱۵۹ـ۱۴۸)

۱ـ امتحان کلاسی و حل آن

۲ـ حل تمرین تکلیف منزل

۳ـ تعیین سرعت خطی مذاب

۴ـ محاسبه ارتفاع مؤثر

۵ـ تعیین زمان بارریزی

۶ـ جمع‌بندی و تعیین تکلیف منزل

قسمت اول درس

در ابتدای جلسه پس از استقرار هنرجویان، در برگه‌های A۵ تهیه شده آزمون کلاسی از مبحث قبلی گرفته می‌شود.

نام و نام خانوادگی ..... زمان ۱۰ دقیقه

در ریخته‌گری یک قطعه چدنی به وزن کل ۸kg (مجموع وزن قطعه ریختگی و سیستم راهگاهی) فاصله کانال فرعی تا سطح آزاد مذاب (مجموع ارتفاع راهباره و حوضچه) ۲۵cm است چنانچه زمان کل بارریزی ۱۰ ثانیه باشد، سطح مقطع راهگاه فرعی (تئوریک) آن را حساب کنید.

ρ=۷/۱gr/cm^۳ g=۹۸۰cm/s^۲

در حین امتحان حضور و غیاب نیز انجام می‌شود. پس از ۱۰ دقیقه برگه‌ها با نفرات جلویی جابه‌جا می‌شود و حل آن روی تخته نوشته می‌شود.

حل سؤال امتحانی

$$A_c = \frac{m}{\rho.t.v}$$

$$V = \sqrt{2gh} \Rightarrow V = \sqrt{۲\times۹۸۰\times۲۵} \quad v=۲۲۱/۳۶$$

$$A_c = \frac{۸۰۰۰}{۷/۱\times۱۰\times۲۲۱/۳۶} \Rightarrow A_c = ۰/۵۰۹$$

راه حل دوم

$$\rho = \frac{m}{v} \Rightarrow V = \frac{۸۰۰۰}{۷/۱} \Rightarrow V = ۱۱۲۶/۷۶$$

$$Q = \frac{V}{t} \Rightarrow Q = \frac{۱۱۲۶/۷۶}{۱۰} \Rightarrow Q = ۱۱۲/۶۷$$

$$V=\sqrt{2gh} \Rightarrow V=\sqrt{2\times 980\times 25} \Rightarrow V=221/36$$

$$Q=V.A \Rightarrow 112/67=221/36\times A \Rightarrow A=0/5089$$

قسمت دوم درس: حل تکلیف منزل

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

$$h=H-\frac{h_c}{2} \Rightarrow h=0/18-\frac{0/12}{2} \Rightarrow h=0/12$$ فاصله سطح فوقانی قالب تا سطح آزاد مذاب

$$\rho=7gr/cm^3 \rightarrow kg/m3 \rightarrow 7000kg/m^3$$

$$P=\rho.g.h \Rightarrow P=7000\times 9/81\times 0/12 \Rightarrow P=8240/4\ N/m^2$$

قسمت سوم درس: تعیین سرعت خطی مذاب

نکته قابل توجه این است که در رابطه سرعت که در جلسه قبل عنوان شد سرعت مذاب (v) سرعتی که به‌طور تئوری از رابطه تریچلی به‌دست می‌آید با سرعت واقعی برابر نیست. این موضوع در حقیقت از عدم تطبیق کامل مشخصات و شرایط فلز مذاب با مایعات ایده‌آل ناشی می‌گردد، زیرا اصولاً در مورد مایعات واقعی (مانند آب و به‌ویژه مذاب فلزات و آلیاژها) بین ذرات مایع با یکدیگر و نیز ذرات مایع با جداره هر کانال و مجرا، اصطکاک وجود دارد. بنابراین مقداری از کار نیروهای خارجی مذاب متحرک صرف جریان کار ناشی از نیروهای اصطکاکی می‌شود. به‌علاوه به دلیل موانع متعدد دیگری (غیر از نیروهای اصطکاکی) که به شکل هندسی سیستم راهگاهی (نظیر طول، شکل، و مقطع مجراها و کانال‌ها، وجود تغذیه‌ها و صافی‌ها در سیستم راهگاهی، تعداد و تقاطع کانال‌ها، صاف و خشن بودن سطوح داخلی مجراهای راهگاهی) مربوط می‌شود و نیز دخالت عوامل مربوط به طبیعت فیزیکی مذاب و قالب، مانند وزن مخصوص سیالیت و گرانروی مذاب در درجه حرارت ریختن، وجود گازها و هوا در محفظه قالب و فشار ناشی از آنها بدیهی است که دبی واقعی مذاب و در نتیجه آن سرعت واقعی مذاب باید کمتر از مقدار تئوری آن از رابطه تریچلی باشد، به همین دلیل این سرعت در عمل به‌صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$V_{\text{واقعی}}=\mu.V_{\text{تئوری}}=\mu\sqrt{2gh} \Rightarrow \mu<1$$

در این رابطه μ ضریبی بدون واحد است و ضریب تلفات، ضریب تخلیه یا ضریب ریختگی نامیده می‌شود. این ضریب به‌طور تجربی به دست می‌آید، بدین صورت که ابتدا دبی (بده) واقعی را به کمک حجم محفظه قالب (v) و زمان بارریزی (t) تعیین کرده سپس مقدار دبی واقعی را بر دبی تئوری تقسیم می‌نماییم.

$$\left.\begin{array}{l}\text{(دبی واقعی)}\quad Q=\dfrac{V_{\text{(حجم محفظه قالب)}}}{t_{\text{(زمان بارریزی)}}}\\ \text{(دبی تئوری)}\quad Q=A\sqrt{2gh}\end{array}\right\} \mu=\frac{Q_{\text{(واقعی)}}}{Q_{\text{(تئوری)}}}=\frac{V}{A_t\sqrt{2gh}}$$

h= ارتفاع استاتیکی مذاب

A= اندازه سطح مقطع تنگه

انتخاب مقدار مناسب از این ضریب برای یک سیستم راهگاهی، در تهیه قطعات ریختگی سالم و عاری از عیب از اهمیت زیادی برخوردار است، زیرا افزایش آن از یک حد معین، موجب ایجاد جریانی ناآرام از مذاب در محفظه قالب می‌شود که این امر نیز به تولید قطعه‌ای معیوب و ناسالم منتهی می‌گردد. از طرف دیگر با کاهش مقدار این ضریب از حدی معین، زمان پرشدن قالب طولانی می‌شود و در نتیجه خطر انجام زود هنگام پیش می‌آید.

در جدول زیر حدود تقریبی ضریب ریختگی μ برای آلیاژهای مختلف درج شده است.

حدود تقریبی ضریب ریختگی برای آلیاژهای مختلف

ضریب ریختگی μ	آلیاژ
۰/۲۷_۰/۵۵	چدن‌ها
۰/۳_۰/۴۵	فولادها
۰/۶ _ ۰/۷	فلزات و آلیاژهای غیرآهنی

علاوه بر نوع آلیاژ، عوامل دیگری همچون شیوه ونوع ریختن مذاب و نیز درجه حرارت ریخته‌گری به‌طور مؤثری در تعیین ضریب ریختگی دخالت دارند.

ضریب ریختگی μ برای فولادهای ریختگی نسبت به نوع سیستم راهگاهی

ضریب ریختگی μ	نوع سیستم راهگاهی
۰/۴_۰/۵	ساده شامل یک یا دو کانال در سطح جدایش
۰/۳_۰/۴	معمولی و متوسط با راهگاه‌های پله‌ای یا انشعابی
۰/۲۵_۰/۳	درهم پیچیده شامل صافی‌ها ـ تغذیه‌ها ـ راهگاه‌های گردابی و غیره

دانستنی‌های معلم

تعیین سرعت مذاب هنگام ورود به قالب نیز در تولید قطعات سالم نقش مهمی دارد. در یک حرکت آرام و با حداقل اغتشاش (به‌طوریکه تراکم، انبساط، یا چرخش الیاف‌ها و لایه‌های مذاب جزئی و قابل صرفنظر کردن باشد) می‌توان سرعت واقعی مذاب (سرعت متوسط ذرات مذاب هنگام عبور از مقطع موردنظر) را از رابطه زیر به‌دست آورد:

$$V = \mu\sqrt{2gh}$$

به عبارت دیگر می‌توان گفت که ضریب ریختگی μ با توجه به شرایط ذکر شده می‌تواند ضریب تصحیح سرعت تئوری در رابطه تریچلی ($V_{th} = \sqrt{2gh}$) نیز باشد. چنانچه فرض شود مذاب دارای سرعت تئوری است در این‌صورت مفهوم آن این است که ذرات مذاب از ارتفاع h حرکت کرده و بدون هیچ مانعی (اعم از اصطکاک، غیراصطکاکی و حتی مقاومت هوا) وارد قالب می‌شوند (حرکت سقوط آزاد) بدیهی است با چنین فرضی μ=۱ خواهد بود در حالی‌که برای سرعت واقعی مذاب، ضریب ریختگی μ همواره کوچک‌تر از یک است.

عوامل مؤثر بر ضریب ریختگی

۱ـ دبی جریان: با کاهش دبی جریان در سیستم و یا افزایش زمان بارریزی، ضریب تخلیه افزایش می‌یابد و به یک نزدیک می‌شود. به‌طور کلی، هرگاه دبی وابسته به یک عامل متغیر (سطح مقطع یا سرعت) باشد، در صورت افزایش سطح مقطع، محیط و در نتیجه سطح تماس مذاب، دیواره افزایش یافته و ضریب تخلیه کاهش می‌یابد. اگر سرعت افزایش یابد، به علت اغتشاشی شدن جریان، اصطکاک زیاد می‌شود.

۲ـ هندسه راهگاه بارریز: هرچه مقطع راهگاه به سمت شکل دایره نزدیک شود به دلیل کاهش سطح تماس مذاب با دیواره، اصطکاک کم شده و در نتیجه ضریب تخلیه افزایش می‌یابد. از طرفی هرچه شیب راهگاه بارریز بیشتر شود، مقدار تلفات اصطکاکی کاهش می‌یابد و باعث افزایش ضریب تخلیه می‌شود. تحقیقات Runyoro (۱۹۹۲) نشان داده است که هرگاه نسبت شیب واقعی راهگاه به شیب تئوری ۲/۵ تا ۳ باشد ضریب تخلیه ثابت خواهد ماند.

۳ـ نسبت‌های راهگاهی: هرچه نسبت‌های راهگاهی افزایش یابد مقدار ضریب تخلیه به عدد یک نزدیک‌تر می‌شود. آزمایشات نشان داده که ضریب تخلیه نزدیک به یک، در نسبت‌های راهبار به راهگاه ($\frac{R}{S}$) و نسبت‌های راهباره به راهگاه ($\frac{G}{S}$) بالا حاصل می‌شود. برای طراحی یک سیستم راهگاهی خوب برای آلیاژهای سبک، نسبت ($\frac{R}{S}$) اغلب بزرگ‌تر از ۴ و نسبت ($\frac{G}{S}$) تقریباً بزرگ‌تر از ۵ پیشنهاد شده است.

۴ـ دما و آهنگ بارریزی: تحقیقات Runyoro (۱۹۹۲) نشان داده است که ضریب تخلیه تابعی از دما و زمان بارریزی است، وقتی آهنگ بارریزی کم باشد با افزایش دمای بارریزی، ضریب تخلیه نیز افزایش می‌یابد. علت آن است که در جریان آرام با افزایش درجه حرارت، سیالیت مذاب زیاد می‌شود و کاهش سطح تماس جبهه مذاب و قالب (یعنی کاهش اصطکاک) را به همراه دارد. اما هرگاه آهنگ بارریزی زیاد شود به‌صورتی که جریان از حالت آرام خارج گردد، با افزایش دمای

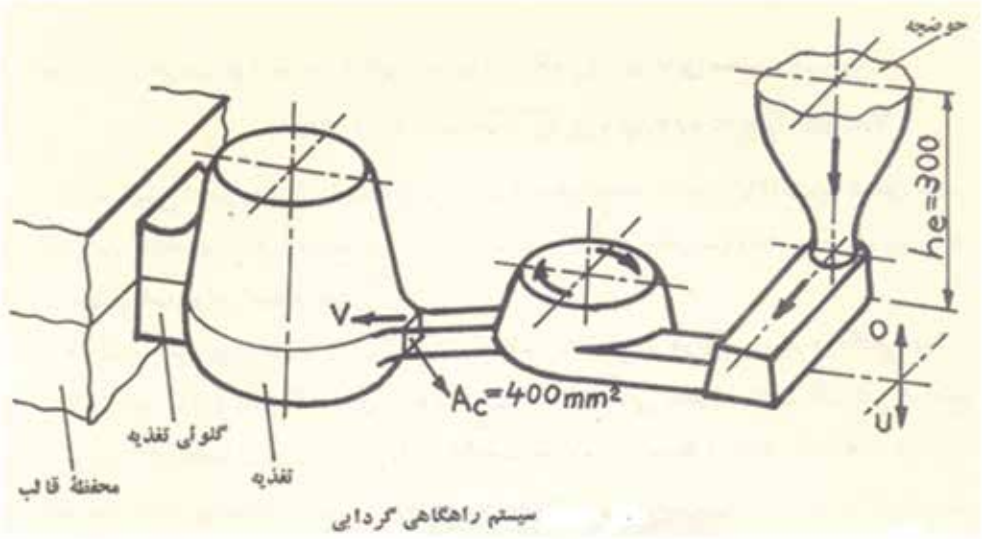
باررریزی، تلفات اصطکاکی نیز زیاد می‌شود یعنی ضریب تخلیه کمتر می‌شود.

مثال: شکل زیر یک سیستم راهگاهی گردابی را برای چدن ریزی نشان می‌دهد اگر سطح مقطع تنگه ۴ سانتی‌متر مربع و مجموع وزن تغذیه و محفظه قالب ۸۲ کیلوگرم باشد.

اولاً: ضریب ریختگی مناسب برای این سیستم راهگاهی چه اندازه باید انتخاب شود.

ثانیاً: سرعت واقعی مذاب در این مقطع (تنگه) را حساب کنید.

$\rho=۷gr/cm^۳$ $h=۳۰cm$ $t=۲۵s$ $g=۹۸۰cm/s^۲$



شکل ۱-۲۹

حل: ابتدا لازم است حجم محفظه قالب و تغذیه (مجموعاً) تعیین شود

$$\rho=\frac{m}{\nu}\Rightarrow V=\frac{۸۲۰۰۰}{۷}\Rightarrow V=۱۱۷۱۰cm^۳$$

اولاً $$\mu=\frac{\nu}{A_t\sqrt{۲gh}}\Rightarrow \mu=\frac{۱۱۷۱۰}{۴\times۲۵\times\sqrt{۲\times۹۸۰\times۳۰}}\Rightarrow \mu=۰/۴۸$$

ثانیاً $$V=\mu\sqrt{۲gh}\Rightarrow V=۰/۴۸\times\sqrt{۲\times۹۸۰\times۳۰}\Rightarrow V=۳۶/۸cm/s$$

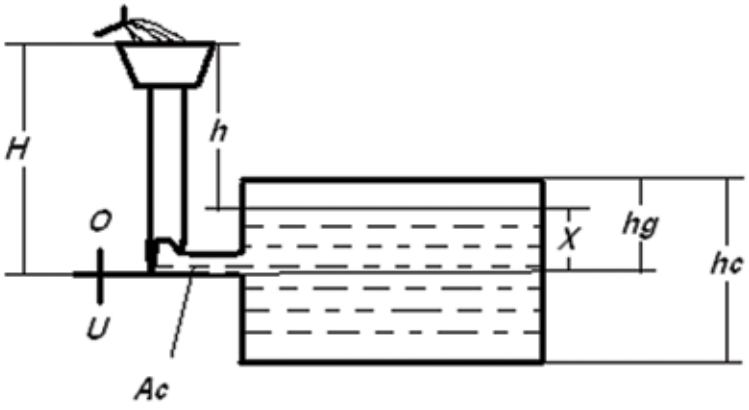
نکته مهمی که در این مثال باید به آن توجه شود، حجم محفظه قالب است که شامل حجم تغذیه نیز می‌شود، زیرا سطح مقطع موردنظر، تنگه Ac (کوچک‌ترین مقطع) بوده و باید سرعت مذاب در این مقطع تعیین گردد.

همچنین ذکر این نکته ضروری است که ارتفاع استاتیکی بار در این سیستم راهگاهی یعنی h (ارتفاع غیر مؤثر) ثابت نیست زیرا با پرشدن قسمت فوقانی محفظه قالب اثر این ارتفاع کاهش می‌یابد لذا مقدار $h_e=۳۰cm$ در حقیقت عبارت از متوسط اختلاف ارتفاعات مربوط به سطح مذاب در حوضچه و سطح مذاب در محفظه فوقانی قالب است. این تعریف شامل قسمت تحتانی قالب نمی‌شود چون پرشدن مذاب دراین قسمت اثری روی ارتفاع بار

نخواهد داشت. به هرحال این ارتفاع را ارتفاع مؤثر می‌گویند.

نحوه محاسبه آن برای قالب‌های مختلف در قسمت‌های بعدی تشریح و محاسبه می‌گردد.

محاسبه ارتفاع مؤثر بارریزی: براساس رابطه تریچلی، سرعت واقعی مذاب خروجی از سطح مقطع تنگه، به ارتفاع بار h (ارتفاع استاتیکی مذاب) نیز بستگی دارد.

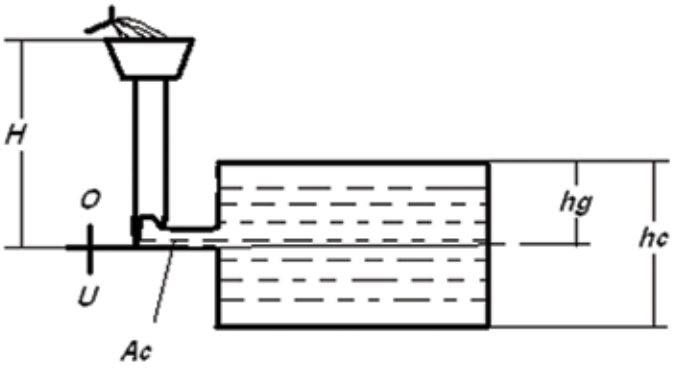


شکل۲-۲۹

با توجه به شکل مذکور، طبیعی است تا زمانی‌که قسمت پایینی محفظه قالب پرنشده است، مذاب با سرعتی ثابت تحت ارتفاع ثابت H از مقطع تنگه (Ac) عبور می‌کند. پس از آنکه سطح مذاب در محفظه قالب به بالای سطح جدایش رسید، به دلیل کاهش تدریجی اختلاف میان سطح مذاب در درون قالب و سطح مذاب در حوضچه بارریز، دیگر سرعت مذاب نیز در تنگه Ac ثابت نیست و به‌صورت لحظه‌ای تغییر می‌یابد (طبق قانون ظروف مرتبط) تحت چنین شرایطی، سرعت لحظه‌ای در نقطه‌ای به فاصله x از سطح جدایش را می‌توان به‌صورت رابطه زیر بیان نمود:

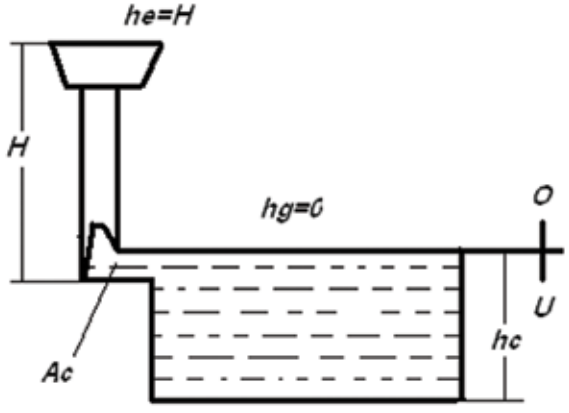
$$V = \mu\sqrt{2g(H-X)}$$

با توجه به اینکه (H-X) در حقیقت ارتفاع لحظه‌ای می‌باشد که در نتیجه آن سرعت مذاب نیز دیگر نمی‌تواند ثابت بماند از این رو لازم است با به منظور تحقق یافتن فرض ثابت بودن دبی متوسط ارتفاع‌های لحظه‌ای h که مقدار ثابتی است تعیین گردد. این ارتفاع متوسط ثابت ارتفاع مؤثر he نام دارد و با قرار دادن آن در رابطه تریچلی سرعت مؤثر و ثابتی حاصل می‌گردد. با توجه به مشخصات قطعات ریختگی و شرایط ریخته‌گری، ارتفاع مؤثر he برای قطعاتی با سطح مقطع یکنواخت مطابق شکل صفحه بعد می‌باشد.

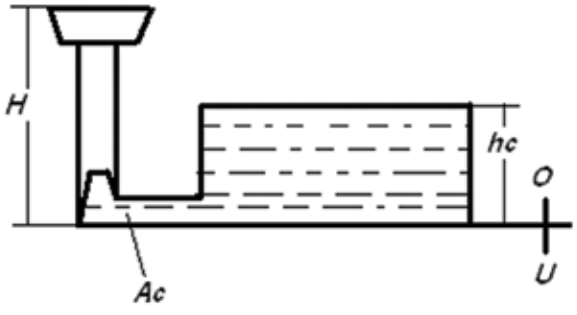


$$h_e = H - \frac{hg^2}{2h_c}$$

$$A_c = \frac{\nu}{t\mu\sqrt{2gh_e}}$$



$$A_c = \frac{\nu}{t\mu\sqrt{2gH}}$$

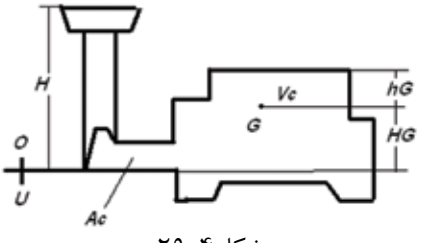


$$h_e = H - \frac{h_c}{2}$$

$$A_c = \frac{\nu}{t\mu\sqrt{2gh_e}}$$

شکل۳-۲۹

در صورتی که سطح مقطع افقی قطعات ریختگی یکنواخت نباشد، ارتفاع مؤثر به ارتفاع مرکز ثقل قسمت فوقانی قالب بستگی دارد. در چنین مواردی ارتفاع مؤثر در حالت کلی نشان داده شده.



شکل۴-۲۹

رابطه کلی زیر محاسبه ارتفاع مؤثر است.

$$H_e = H - \frac{V_c}{V} HG$$

V= حجم کل محفظه قالب

HG= فاصله مرکز ثقل حجم قسمت بالایی قالب تا سطح جدایش دو درجه

V_c= حجم قسمت بالایی قالب

مثال: قطعه‌ای استوانه‌ای شکل به قطر ۱۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر به‌طور عمودی قالب‌گیری شده است، در صورتی که ارتفاع استاتیکی مذاب ۴۰ سانتی‌متر و راهباره در قسمت پایین (کف استوانه) تعبیه شده باشد ارتفاع مؤثر را به‌دست آورید؟

حل: چون تمامی حجم قالب در قسمت فوقانی تعبیه شده است لذا $V_c=V$ و در نتیجه

$$h_e = H - \frac{V_c}{V} HG \Rightarrow h_e = H - HG$$

طبق اطلاعات قبلی HG فاصله مرکز ثقل قطعه تا سطح جدایش می‌باشد بنابراین:

$$HG = \frac{h_c}{۲} \Rightarrow HG = \frac{۳۲}{۲} \Rightarrow HG = ۱۶cm$$

$$h_e = H - HG \Rightarrow h_e = ۴۰ - ۱۶ \Rightarrow h_e = ۲۴cm$$

راه حل دوم: طبق جدول صفحه ۱۵۵ کتاب محاسبات استوانه‌ای که تماماً در درجه بالا قرار گیرد رابطه h_e برابر است با

$$h_e = H - \frac{h_c}{۲} \Rightarrow h_e = ۴۰ - \frac{۳۲}{۲} \Rightarrow h_e = ۲۴cm$$

قسمت پنجم درس: تعیین زمان بارریزی

پس از تعیین ضریب تخلیه (μ) و ارتفاع مؤثر (h_e) با تعیین زمان بارریزی، سطح مقطع تنگه به‌دست می‌آید.

جدول زیر زمان بارریزی در قالب‌های ماسه‌ای و برای آلیاژهای متداول در ریخته‌گری با کمک روابط تجربی مربوط داده شده است.

(جدول ۳ـ۷ صفحات ۱۵۷ و ۱۵۸)

مثال: زمان بارریزی قطعه‌ای از آلیاژ مس با سیالیت پایین $S=۱/۵$ به وزن ۵۰ کیلوگرم و به ضخامت متوسط ۲۰ میلی‌متر چقدر می‌باشد؟

حل: طبق جدول صفحه ۱۵۸ کتاب محاسبات برای محاسبه زمان بارریزی قطعه مذکور از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد.

$$t = S\sqrt[۲]{\delta G} \Rightarrow t = ۱/۵\sqrt[۲]{۲۰ \times ۵۰} \Rightarrow t = ۱۵s$$

پس از تعیین زمان بارریزی t با استفاده از روابط تجربی داده شده مساحت تنگه A_c با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$A_c = \frac{m}{\rho.t.\mu\sqrt{2gh_e}}$$

جدول ضریب S برای محاسبه زمان بارریزی

ضخامت دیواره برحسب میلی‌متر	ضریب S
۲/۵ ـ ۳/۵	۱/۶۸
۳/۵ ـ ۸	۱/۸۵
۸ـ۱۵	۲/۲

جدول ضریب S برای محاسبه زمان بارریزی آلیاژهای آهنی برحسب ضخامت متوسط قطعه

μ ضخامت بر حسب میلی‌متر	<۱۰	۲۰	۴۰	≥۸۰
S	۱	۱/۳۵	۱/۵	۱/۷

دانستنی‌های معلم

زمان بارریزی یا زمان پر شدن قالب مهم‌ترین عامل جهت طراحی سیستم راهگاهی و محاسبه سطح مقطع تنگه است که مستقیماً سلامت قطعه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، عواملی که در تعیین زمان بارریزی مؤثر هستند عبارت‌اند از: اندازه کوچک‌ترین ضخامت و پیچیدگی قطعه، خواص حرارتی قالب، شرایط بارریزی و ترکیب شیمیایی مذاب.

نکته مهم در تعیین زمان پرکردن قالب، کوتاه بودن آن برای جلوگیری از عیوبی مثل سرد جوشی، لب گردی، نیامد در قطعه است. اهمیت این امر به‌ویژه در مورد قطعاتی است که دارای ضخامت‌های نازک و گوشه‌های تیز هستند. از طرف دیگر زمان بارریزی باید به اندازه کافی زیاد باشد تا باعث تلاطم مذاب نشود، در غیر این صورت مذاب یا سرعت زیاد قالب را پر می‌کند و مشکل خروج گاز از محفظه قالب و عیوبی چون مک و تخلخل در قطعه و سایش قالب پدید می‌آید.

در هنگام ریخته‌گری قطعات کف ریز یا پهلوریز به دلیل کاهش ارتفاع مؤثر، آهنگ پر شدن قالب نیز کاهش می‌یابد. بنابراین زمانی‌که قالب پر می‌شود به آهنگ پرشدن متوسط بستگی دارد که کمتر از آهنگ پرشدن اولیه است، گروهی از محققین، آهنگ پر شدن متوسط را $\frac{۲}{۳}$ آهنگ پرشدن اولیه تخمین زده‌اند (ship Department ۱۹۷۵) در مورد ریخته‌گری قطعات پیچیده که دارای

ضخامت‌های نازک هستند آهنگ بارریزی اولیه باید بیشتر از آهنگ پرشدن مقطع نازک باشد تا پرشدن کامل آن تضمین شود.

آهنگ بارریزی در تعیین شیب دمایی از تغذیه به قطعه نقش مؤثری دارد، از آنجایی که همواره باید گرم‌ترین مذاب در تغذیه باشد، در صورت استفاده از تغذیه گرم (که مذاب قبل از قطعه وارد آن می‌شود) آهنگ بارریزی باید آرام باشد تا شیب دمایی و در نتیجه راندمان تغذیه افزایش یابد. درحالی که برای تغذیه سرد (که مذاب پس از قطعه وارد آن می‌شود) آهنگ بارریزی باید سریع باشد تا کاهش شیب دمایی با راندمان تغذیه را افزایش دهد.

روش‌های مختلفی را که در تعیین زمان بارریزی مناسب به‌کار رفته‌اند می‌توان به دو دسته تقسیم کرد:

الف) تعیین زمان بارریزی با استفاده از ارتفاع مؤثر و سطح مقطع تنگه (تئوری): در این روش محاسبه تئوری زمان بارریزی یک قطعه با سطح مقطع مفروض و ارتفاع مؤثر مشخص با استفاده از رابطه اساسی زیر که بیانی از قانون پیوستگی است انجام می‌شود.

$$A = \frac{m}{\rho.t.\mu\sqrt{2gh_e}} \Rightarrow t = \frac{m}{\rho.\mu.A\sqrt{2gh_e}}$$

عامل مهمی که در این رابطه وجود دارد، ارتفاع مؤثر است که بسته به موقعیت قطعه نسبت به تنگه تغییر می‌کند مقدار ارتفاع مؤثر (h_e) در قسمت‌های قبلی بیان گردید.

ب) تعیین زمان بارریزی به عنوان تابعی از وزن قطعه و ضخامت دیواره (تجربی): این روابط که برای آلیاژهای مختلف به‌صورت تجربی به‌دست آمده‌اند، فقط نقش عوامل محدودی را درنظر می‌گیرند و نمی‌توانند روابطی دقیق و همه‌جانبه باشند، به همین دلیل ممکن است برای گروهی از قطعات مناسب باشند در حالی‌که برای قطعاتی با شکل و پیچیدگی متفاوت، جواب‌های خوبی ندهند، استفاده از این روابط تنها به عنوان یک راهنمای اولیه می‌تواند مفید باشند و طراح باید با توجه به تجربیات خود و عوامل مؤثر دیگر آنها را تصحیح نماید.

برای تعیین زمان بارریزی قطعات نازک به‌وسیله این روابط باید توجه داشت که پرکردن کامل قالب قبل از انجماد مقاطع نازک صورت گیرد.

شماره	رابطه	توضیح	مرجع
(۱ـ۵)	$t=W^*/A_\circ V$	تئوری	Torricellis
(۱۲ـ۵)	$t = W_D^\circ / (A_C\sqrt{2gh})$	تئوری قطعه سرریز $W^* = \frac{W}{\rho}$ حجم قطعه	(۱۹۸۱) karsay
(۱۰ـ۵)	$t = W_C^* / \frac{2}{3}\frac{A\sqrt{2g}}{H_e}[H^{\frac{3}{2}} - (H-H_c)^{\frac{3}{2}}]$	تئوری قطعه کف ریز	(۱۹۸۱) karsay
(۱۱ـ۵)	$t = 2A_m[H^{\frac{1}{2}} - (H-H_c)^{\frac{1}{2}}] / A\sqrt{2g}$	تئوری قطعه کف‌ریز A_m سطح مقطع قطعه	Lips , Nipper
(۱۳ـ۵)	$t = K\sqrt{W}$	چدن	(۱۹۵۵) Dietert
(۱۴ـ۵)	$t = [0/95 + 0/01T) / 0/853]\sqrt{W}$	چدن T = ضخامت قطعه	(۱۹۶۲) Dietert
(۱۵ـ۵)	$t = [0/95 + 0/01T) / 0/853]KW^P$	چدن W<۵۰۰kg :P=۰/۵ W=۵۰۰ - ۵۰۰۰kg :P=۰/۳۳ W=۵۰۰۰-۱۵۰۰۰kg :P=۰/۳ k=۰/۵-۱/۲۰ (بسته به سیالیت)	(۱۹۷۹) Jain
(۱۶ـ۵)	$t = [0/83 + 4/03\times10^{-3}\times T)0/68\sqrt{W}$	چدن نشکن	دوامی (۱۹۸۲)
(۱۷ـ۵)	$t = (-0/2667\log W + 1/73)\sqrt{W}$	فولاد (W برحسب lb)	(۱۹۵۸) Lange
(۱۸ـ۵)	$t = K\sqrt{W}$	فولاد (W برحسب lb) k=۰/۴-۱/۲	(۱۹۵۵) Heine
(۱۹ـ۵)	$t = K\sqrt{W}$	آلیاژهای سبک (W برحسب lb) k=۰/۶-۱/۴	(۱۹۷۹) Jain

قسمت ششم درس: جمع‌بندی و تعیین تکلیف منزل

۱ـ سرعت واقعی با سرعت تئوری متفاوت است و از روابط زیر محاسبه می‌شود.

$$V_{\text{واقعی}} = \mu.V_{\text{تئوری}} = \mu\sqrt{2gh}$$

$$\mu = \frac{Q_{\text{(واقعی)}}}{Q_{\text{(تئوری)}}} = \frac{V}{A_t\sqrt{2gh}}$$

۲ـ از آنجاییکه تمام محفظه قالب زیر تنگه قرار ندارد، ارتفاعی که در معاملات بایستی مورد استفاده باشد، ارتفاع مؤثر است که از رابطه کلی زیر محاسبه می‌شود.

$$H_e = H - \frac{V_c}{V}HG$$

۳ـ با داشتن زمان لازم برای بارریزی t مساحت تنگه A_c با استفاده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد.

$$A_c = \frac{m}{\rho.t.\mu\sqrt{2gh_e}}$$

ـ تمرین‌های ۵ و ۶ آخر فصل را در منزل حل نمایید.

هفته سی‌ام: حل تمرین‌های آخر فصل ـ رفع اشکال فصل هفتم و آزمون فصل هفتم

در این جلسه ضمن حل مسایل باقیمانده از انتهای فصل و هنرجویان برای امتحان فصل آماده می‌شوند.

این جلسه از قسمت‌های زیر تشکیل شده است:

۱ـ امتحان کلاسی و حل آن

۲ـ حل تمرین تکلیف منزل

۳ـ حل باقیمانده تمرین‌های آخر فصل

۴ـ رفع اشکال فصل هفتم

۵ـ آزمون فصل هفتم

در ابتدای جلسه پس از استقرار هنرجویان، در برگه‌های تهیه شده آزمون کلاسی از مبحث قبلی گرفته می‌شود.

نام و نام‌خانوادگی:

قطعه‌ای استوانه‌ای به قطر ۱۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر را کاملاً در درجه بالایی قالب‌گیری کرده و راهگاه که ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر دارد را از قسمت پایین قطعه به آن متصل می‌کنیم. مطلوب است:

۱ـ تعیین ارتفاع مؤثر

۲ـ تعیین سرعت مؤثر مذاب با فرض $\mu=۰/۶$

پس از زمان کافی، برگه‌ها جمع شده و مسئله در کلاس حل می‌گردد.

حل مسئله آزمون

$$h_e = H - \frac{V_c}{V}.H_G$$

$$H_G = \frac{۱۵}{۲} = ۷/۵\,cm$$

به‌دلیل تقارن شکل قطعه

$$\frac{V_c}{V} = ۱ \quad \text{چون} \qquad h_e = ۲۵ - \frac{V_c}{V} \times ۷/۵ = ۱۷/۵\,cm \quad \text{پس:}$$

قسمت دوم

$$V = \mu\sqrt{۲gh_e}$$

$$h_e = ۱۷/۵\,cm = ۰/۱۷۵\,m$$

$$V = ۰/۶\sqrt{۲\times۱۰\times۰/۱۷۵} = ۱/۱۲ m/s = ۱۱۲ cm/s$$

حل تمرینات فصل هفتم و رفع اشکال انجام شده و برای آزمون جلسه آینده هنرجویان آماده می‌شوند.

مطابق فصول قبل سؤالات امتحانی براساس مباحث گفته شده و آزمون‌های سال‌های گذشته توسط هنرآموز تهیه و در این جلسه آزمون گرفته می‌شود. آزمون‌های ارائه شده در برخی از فصول گذشته فقط جنبه نمونه دارند و هنرآموز بایستی خود به طرح سؤالات مبادرت نماید.

بنابراین پس از استقرار هنرجویان در برگه‌های $A_۴$ تهیه شده از قبل آزمون کلاسی از فصل سوم گرفته می‌شود.

نام و نام خانوادگی ..... زمان ۵۰ دقیقه استفاده از ماشین حساب مجاز است

۱ـ قانون تداوم یا پیوستگی چیست؟ (۲ نمره)

۲ـ چدن مذاب در یک کانال با قطر مؤثر ۱۵ سانتی‌متر و ۱۵۰ cm/s حرکت می‌کند در صورتی‌که ویسکوزیته مذاب ۰/۰۶ پوآزوجرم مخصوص آن ۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد مطلوب است تعیین عدد رینولز و نوع جریان (آرام، نیمه آرام یا ناآرام). (۵ نمره)

۳ـ برای ریخته‌گری یک قطعه چدنی قالب‌گیری به‌نحوی است که ارتفاع مؤثر راهگاه در آن ۲۰ سانتی‌متر است، اگر ضریب ریختگی ۰/۶ باشد سرعت واقعی مذاب را محاسبه کنید. چنانچه جرم قطعه و سیستم راهگاهی در مجموع ۶۳ کیلوگرم باشد و بخواهیم زمان کل بارریزی ۱۵ ثانیه بیشتر طول نکشد، سطح مقطع تنگه چند سانتی‌متر مربع باید تعبیه شود. (۶ نمره)

$g=۱۰ m/s^۲$ $\rho=۷g/cm^۳$

۴ـ در یک سیستم راهگاهی براساس روابط تعیین دبی واقعی برای ریخته‌گری یک قطعه چدنی به جرم (به همراه تغذیه) ۹۸kg، سطح مقطع تنگه $۴cm^۲$ به‌دست آمده است. در صورتی‌که زمان بارریزی ۲۰ ثانیه و ضریب ریختگی ۰/۷ درنظر گرفته شده باشد، مطلوب‌است

الف) ارتفاع مؤثر (h_e) برحسب سانتی‌متر چقدر بوده است؟

ب) سرعت واقعی مذاب در تنگه برحسب cm/s چقدر خواهد بود؟ (۷ نمره)

($g = ۱۰ m/s^۲$ مذاب و $\rho=۷g/cm^۳$)

در ضمن پاسخ‌گویی به آزمون توسط هنرجویان، فرصت برای حضور و غیاب وجود دارد.

پس از ۵۰ دقیقه برای آزمون کلاسی برگه‌ها برای تصحیح با هنرجوی بغل دستی تعویض، و حل مسئله روی تخته با بارم مربوطه نوشته می‌شود. هنرجویانی که برگه‌ها را تصحیح می‌کنند نام خانوادگی خود را به همراه

امضای صحت تحصیح روی برگه‌ها بنویسند، به این طریق یک حضور و غیابی نیز از هنرجویان به‌عمل می‌آید.

پاسخ سؤال ۲:

$$R_e = \rho.D_e.V.\frac{۱}{\eta} \Rightarrow R_e = ۷ \times ۱/۵ \times ۱۵۰ \times \frac{۱}{۰/۰۶} = ۲۶۲۵۰$$

جریان نیمه آرام است

پاسخ سؤال ۳:

قسمت اول:

$$V_a = \mu\sqrt{۲gh_e} \Rightarrow V_a = ۰/۶ \times \sqrt{۲ \times ۱۰ \times ۰/۲} = ۰/۶ \times ۲ = ۱/۲ m/s$$

قسمت دوم:

$$A_c = \frac{m}{\rho t \mu \sqrt{۲gh_e}} \Rightarrow A_c = \frac{۶۳}{۷۰۰۰ \times ۱۵ \times ۰/۶\sqrt{۲ \times ۱۰ \times ۰/۲}} = ۰/۰۰۰۵ m^۲ = ۵ cm^۲$$

پاسخ سؤال ۴:

الف

$$A_c = \frac{m}{\rho t \mu \sqrt{۲gh_e}} \Rightarrow ۴ \times ۱۰^{-۴} = \frac{۹۸}{۷۰۰۰ \times ۲۰ \times ۰/۷\sqrt{۲ \times ۱۰h_e}} \Rightarrow ۴ \times ۱۰^{-۴} = \frac{۱}{۱۰۰۰ \times \sqrt{۲۰h_e}} \Rightarrow$$

$$\sqrt{۲۰h_e} = \frac{۱}{۰/۴} = ۲/۵ \Rightarrow (\sqrt{۲۰h_e})^۲ = ۲/۵^۲ \Rightarrow ۲۰h_e = ۶/۲۵ \Rightarrow h_e = ۰/۳۱۲۵ m = ۳۱۲/۵ mm$$

ب

$$V_a = \mu\sqrt{۲gh_e} \Rightarrow V_a = ۰/۷\sqrt{۲ \times ۱۰ \times ۰/۳۱۲۵} = ۱/۷۵ m/s = ۱۷۵ cm/s$$