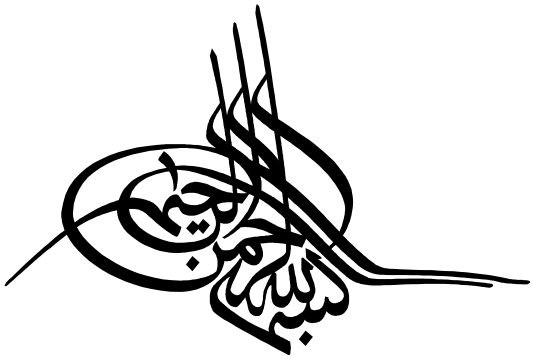


هیدرولیک

سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد

مجموعه مهندسی عمران

مؤلف: مرتضی عباس‌پور

سرشناسه	: عباس‌پور، مرتضی
عنوان	: هیدرولیک
مشخصات نشر	: تهران، مشاوران صعود ماهان، ۱۴۰۱
مشخصات ظاهری	: ۲۴۰ ص
فروست	: سری کتاب‌های کمک آموزشی کارشناسی ارشد
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۳۸۹-۱۵۶-۲
وضعیت فهرست نویسی	: فیپای مختصر
یادداشت	:این مدرک در آدرس http://opac.nlai.ir قابل دسترسی است.
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۱۲۶۷۷۶

نام کتاب: ..... هیدرولیک

ناشر:.....مشاوران صعود ماهان

مدیر مسئول: ..... دکتر مجید سیاری

مولف:..... مرتضی عباس‌پور

نوبت و تاریخ چاپ: .....اول / ۱۴۰۱

شمارندگان: ..... ۱۰۰۰ جلد

قیمت:..... ۲۳۹۰۰۰۰ ریال

شابک:..... ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۳۸۹-۱۵۶-۲

انتشـــارات مشاوران صعود ماهان: خیابان ولیعصر، بالاتر از تقـاطع مطهری،

روبروی قنادی هتل بزرگ تهـــران، جنب بانک ملی، پلاک ۲۰۵۰

تلفن: ۴- ۸۸۱۰۰۱۱۳

سخن ناشر

«ن والقلم و ما یسطرون»

کلمه نزد خدا بود و خدا آن را با قلم بر ما نازل کرد.

به پاس تشکر از چنین موهبت الهی، موسسه ماهان درصدد برآمده است تا در راستای انتقال دانش و مفاهیم با کمک اساتید مجرب و مجموعه کتب آموزشی خود برای شما داوطلبان ادامه تحصیل در مقطع کارشناسی ارشد گام موثری بردارد.

امید است تلاش‌های خدمتگزاران شما در این موسسه پایه‌گذار گام‌های بلند فردای شما باشد.

مجموعه کتاب‌های کمک آموزشی ماهان به‌منظور استفاده داوطلبان کنکور کارشناسی ارشد سراسری و آزاد تالیف شده‌اند. در این کتاب‌ها سعی کرده‌ایم با بهره‌گیری از تجربه اساتید بزرگ و کتب معتبر داوطلبان را از مطالعه کتاب‌های متعدد در هر درس بی‌نیاز کنیم.

دیگر تالیفات ماهان برای سایر دانشجویان به‌صورت زیر می‌باشد.

- **مجموعه کتاب‌های ۸ آزمون:** شامل ۵ مرحله کنکور کارشناسی ارشد ۵ سال اخیر به همراه ۳ مرحله آزمون تالیفی ماهان همراه با پاسخ تشریحی می‌باشد که برای آشنایی با نمونه سوالات کنکور طراحی شده است. این مجموعه کتاب‌ها با توجه به تحلیل ۳ ساله اخیر کنکور و بودجه‌بندی مباحث در هر یک از دروس، اطلاعات مناسبی جهت برنامه‌ریزی درسی در اختیار دانشجو قرار می‌دهد.
- **مجموعه کتاب‌های کوچک:** شامل کلیه نکات کاربردی در گرایش‌های مختلف کنکور کارشناسی ارشد می‌باشد که برای دانشجویان جهت جمع‌بندی مباحث در ۲ ماهه آخر قبل از کنکور مفید می‌باشد.

بدین‌وسیله از مجموعه اساتید، مولفان و همکاران محترم خانواده بزرگ ماهان که در تولید و به روزآوری تالیفات ماهان نقش موثری داشته‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌نماییم.

دانشجویان عزیز و اساتید محترم می‌توانند هرگونه انتقاد و پیشنهاد در خصوص تالیفات ماهان را از طریق سایت ماهان به آدرس mahan.ac.ir با ما در میان بگذارند.

موسسه آموزش عالی آزاد ماهان

سخن مؤلف

درس هیدرولیک، برخلاف تصور بیشتر داوطلبان کنکور ارشد، از جمله درس‌های بسیار مهم و تاثیرگذار است و هر سال ۸ سوال از ۲۰ سوال درس مکانیک سیالات به این درس اختصاص می‌یابد. از آنجایی‌که پاسخگویی به سوالات درس سیالات معمولا به مراتب دشوارتر از درس هیدرولیک است، این درس از سوی داوطلبان ساده انگاشته شده و مورد بی‌مهری واقع می‌شود؛ درصورتی‌که توفیق در پاسخگویی به سوالات این درس می‌تواند سهم بسزایی در موفقیت داوطلبان داشته باشد. از این رو استفاده از منبع مناسب برای فراگیری کامل این درس با صرف زمان مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است.

در راستای رسیدن به این مهم در تالیف این اثر سعی شده است پس از شرح مفهومی درس به زبان ساده، تکنیک‌ها و روش‌های کنکوری متنوع برای حل سوالات مباحث مختلف، در قالب نکته و مثال‌های حل شده، به‌صورت گام‌به‌گام به داوطلبان گرامی آموزش داده شود. این ویژگی بارز و کمیاب کتاب سبب شده است کتاب حاضر برای تمامی داوطلبان، با سطوح علمی مختلف، قابل پیگیری بوده و مفید واقع شود.

از ویژگی‌های مهم دیگر کتاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

۱) این کتاب شامل پنج فصل است.

۲) آموزش روش‌های جایگزین برای اجتناب از به خاطر سپردن فرمول‌ها و نکات غیرضروری

۳) جمع‌بندی مطالب در انتهای مباحثی که دارای حجم بالا هستند، در قالب شکل و جدول

۴) تمرین و تکمیل مطالب درسنامه با ارائه سوالات تالیفی متنوع به همراه حل گام‌به‌گام از تمامی مباحث

۵) انطباق کامل بودجه‌بندی کتاب با سرفصل‌های مطرح شده در کنکورهای ارشد سال‌های اخیر

۶) حل تمامی سوالات سراسری از سال ۷۲ تاکنون و بسیاری از سوالات آزاد از سال ۸۰ به بعد

در پایان از تمامی کسانی که مرا در تالیف این اثر یاری نمودند، به ویژه پدر و مادر عزیزم که پیوسته مشوق و پشتیبان بنده بودند و از هیچ کوشش و محبتی فروگذار نکرده‌اند، نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

با آرزوی توفیق و سربلندی داوطلبان ارجمند

مرتضی عباس‌پور

فهرست

عنوان	صفحه

فصل اول: جریان در کانال‌های باز ۷
کانال باز چیست؟ ۸
انواع کانال‌های باز ۹
مشخصات هندسی کانال‌های باز ۹
وضعیت جریان در کانال‌های باز ۱۳
انواع جریان در کانال‌های باز ۱۵
توزیع سرعت و فشار در کانال‌ها ۱۷
معادلات اساسی حاکم بر حرکت سیالات در کانال‌های باز ۲۱
سوالات چهارگزینه‌ای تالیفی و پاسخنامه تشریحی فصل اول ۲۴
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه تشریحی فصل اول ۲۹
سوالات چهارگزینه‌ای آزاد و پاسخنامه تشریحی فصل اول ۳۸
فصل دوم: اصل انرژی در کانال‌های باز ۴۳
معادله انرژی ۴۴
انرژی مخصوص ۴۴
تحلیل جریان با استفاده از معادله انرژی مخصوص ۴۸
منحنی $E-y$ در حالت کلی و برای هر مقطع دلخواه ۵۸
سوالات چهارگزینه‌ای تالیفی و پاسخنامه تشریحی فصل دوم ۶۱
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه تشریحی فصل دوم ۷۰
سوالات چهارگزینه‌ای آزاد و پاسخنامه تشریحی فصل دوم ۹۱
فصل سوم: اصل اندازه حرکت در کانال‌های باز ۱۰۱
رابطه اندازه حرکت در کانال‌های باز ـ معرفی نیروی مخصوص ۱۰۲
منحنی نیروی مخصوص و اعماق مزدوج ۱۰۴
تحلیل پدیده پرش هیدرولیکی در کانال‌های با شیب کم ۱۰۵
مقایسه بین منحنی‌های انرژی مخصوص و نیروی مخصوص ۱۰۷
پرش مستغرق ۱۰۹
عمق فشردگی ۱۱۰
سوالات چهارگزینه‌ای تالیفی و پاسخنامه تشریحی فصل سوم ۱۱۱
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه تشریحی فصل سوم ۱۱۷
سوالات چهارگزینه‌ای آزاد و پاسخنامه تشریحی فصل سوم ۱۲۹

فصل چهارم: جریان یکنواخت در کانال‌های باز ۱۳۵
تشکیل جریان یکنواخت ۱۳۶
سرعت متوسط در جریان‌های یکنواخت ۱۳۷
روابط شزی و مانینگ ۱۳۷
زبری معادل ۱۳۹
محاسبات جریان یکنواخت ۱۴۰
مقطع هیدرولیکی بهینه ۱۴۲
سوالات چهارگزینه‌ای تالیفی و پاسخنامه تشریحی فصل چهارم ۱۴۵
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه تشریحی فصل چهارم ۱۵۲
سوالات چهارگزینه‌ای آزاد و پاسخنامه تشریحی فصل چهارم ۱۶۷
فصل پنجم: جریان متغیر تدریجی (دائمی) در کانال‌های باز ۱۸۱
تشکیل جریان متغیر تدریجی ۱۸۲
طبقه‌بندی نیمرخ‌های طولی سطح آب ۱۸۳
معادله دینامیکی جریان‌های متغیر تدریجی ۱۹۰
بررسی کیفی انحنای سطح آب در نیمرخ‌های مختلف ۱۹۱
ترکیب نیمرخ‌های سطح آب ۱۹۳
محاسبات جریان متغیر تدریجی ۲۰۴
سوالات چهارگزینه‌ای تالیفی و پاسخنامه تشریحی فصل پنجم ۲۰۸
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری و پاسخنامه تشریحی فصل پنجم ۲۱۵
سوالات چهارگزینه‌ای آزاد و پاسخنامه تشریحی فصل پنجم ۲۳۳
منابع ۲۳۷

فصل اول

جریان در کانال‌های باز

- کانال باز چیست؟
- انواع کانال‌های باز
- مشخصات هندسی کانال‌های باز
- وضعیت جریان در کانال‌های باز
- انواع جریان در کانال‌های باز
- توزیع سرعت و فشار در کانال‌ها
- معادلات اساسی حاکم بر حرکت سیالات در کانال‌های باز

جریان در کانال‌های باز

کانال باز چیست؟

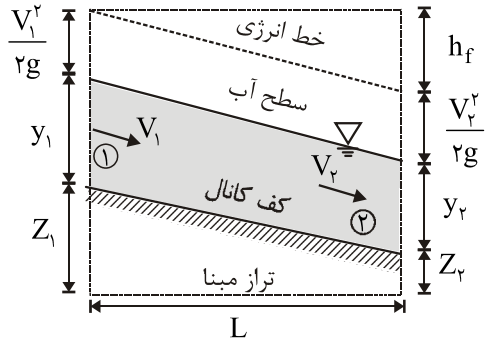
شارش ذرات در فضا را جریان می‌نامند. یک مایع مانند آب می‌تواند در یک مجرای بسته و یا در یک مجرای روباز جریان یابد. جریان در مجرای بسته را جریان تحت فشار می‌نامند که قوانین مربوط به آن در درس مکانیک سیالات مطرح می‌شود. اما جریان یک مایع در یک مجرای روباز را جریان در کانال باز می‌نامند که علم هیدرولیک آن را بررسی و تحلیل می‌کند. در مهندسی عمران جریان در کانال‌های باز شامل حرکت آب در رودخانه‌ها، کانال‌های آبرسانی و زهکشی و نیز جریان در آبروهای جاده‌ها می‌باشد.

تفاوت اساسی بین جریان در لوله‌ها و جریان در کانال‌های باز، فشار در سطح آزاد کانال‌های باز است که همان فشار معلوم اتمسفر است. درواقع اگر در محلی از یک لوله که جریان از کل سطح مقطع آن می‌گذرد، یک پیزومتر قرار داده شود، سطح آب در آن پیزومتر بالا (یا پایین) خواهد رفت، درحالی‌که سطح پیزومتری در کانال باز، منطبق بر سطح آزاد آب است.

می‌دانیم که انرژی مکانیکی در هر مقطع جریان برابر است با مجموع ارتفاع معادل سرعت $(\frac{v^2}{2g})$، ارتفاع معادل فشار $(\frac{P}{\gamma})$ و ارتفاع از تراز مبنا (z). بنابراین انرژی یک مقطع از جریان به‌صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + z$$

در شکل (۱-۱)، خط انرژی[1] مربوط به جریان در کانال باز نشان داده شده است. این خط به دلیل کاهش انرژی در مسیر حرکت دارای شیب منفی خواهد بود.



شکل ۱-۱: «مشخصات یک مقطع از یک کانال باز»

با توجه به شکل فوق بدیهی است که شیب خط انرژی برابر خواهد بود با:

$$S_f = \frac{h_f}{L} \qquad (۱-۱)$$

دقت کنید که با توجه به اصل پایستگی انرژی، مقدار انرژی کل در هر نقطه ثابت است و از جمع مقدار افت انرژی (h_f) با مقدار

۱. خط انرژی، خط پیوسته‌ای است که مقدار انرژی کل در هر مقطع را مشخص می‌کند.

خط انرژی در آن نقطه $(z+\frac{P}{\gamma}+\frac{v^2}{2g})$ به‌دست می‌آید. بنابراین می‌توان بین هر دو مقطع از جریان با نوشتن رابطه انرژی، یک معادله برقرار کرد:

$H_1 = H_2$

$$z_1+\frac{P_1}{\gamma}+\frac{v_1^2}{2g}=z_2+\frac{P_2}{\gamma}+\frac{v_2^2}{2g}+h_f \qquad (1-2)$$

انواع کانال‌های باز

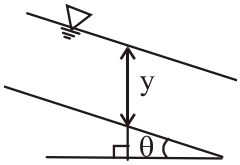
کانال‌ها را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگون تقسیم‌بندی کرد. تقسیم‌بندی مناسب و کاربردی کانال‌ها، بر مبنای تغییرات در سطح مقطع کانال‌هاست:

کانال‌های منشوری: کانال‌هایی هستند که سطح مقطع و شیب آنها در طول مسیر ثابت است.

کانال‌های غیرمنشوری: کانال‌هایی هستند که در آنها سطح مقطع یا شیب کانال تغییر می‌کند، مانند رودخانه‌ها.

مشخصات هندسی کانال‌های باز

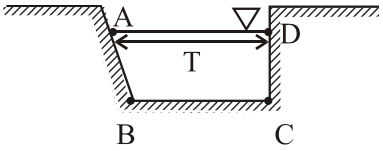
۱- عمق جریان (y): به فاصله قائم پایین‌ترین نقطه کف کانال تا سطح آزاد آب عمق جریان می‌گویند.



شکل ۲-۱

۲- سطح مقطع جریان (A): مساحت مقطع در صفحه قائم بر راستای جریان

۳- عرض سطح آزاد (T): طولی از مقطع که در تماس با هواست.



شکل ۳-۱

۴- پیرامون مرطوب (P): طولی از مقطع کانال که مرطوب است. در شکل بالا مقدار P برابر است با:

$P = \overline{AB}+\overline{BC}+\overline{CD}$

۵- شعاع هیدرولیکی (R): نسبت سطح مقطع جریان به پیرامون مرطوب، شعاع هیدرولیکی نامیده می‌شود.

$$R=\frac{A}{P}$$

۶- عمق هیدرولیکی (D): عمق هیدرولیکی (D) نسبت سطح مقطع به سطح آزاد آب است:

$$D=\frac{A}{T}$$

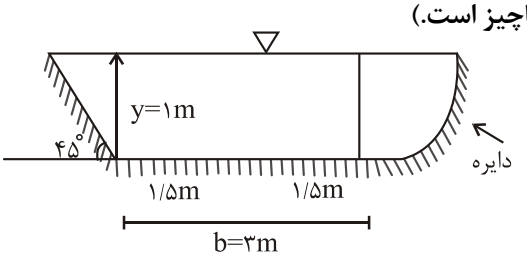
درواقع عمق هیدرولیکی، عمق مقطعی مستطیلی با سطح آزاد T و مساحت A است.

مثال: مقطعی از یک کانال در شکل داده شده است. مطلوبست:

الف) محاسبه شعاع هیدرولیکی و عمق هیدرولیکی.

ب) اگر پارامتر b نسبت به عمق جریان بسیار بزرگ باشد، شعاع هیدرولیکی و عمق هیدرولیکی به چه عددی میل می‌کنند؟

ج) اگر دیواره‌ای عمود بر کف کانال در نقطه درست وسط طول b قرار گیرد، مقدار عمق هیدرولیکی و شعاع هیدرولیکی چه تغییری می‌کند؟ (ضخامت دیواره ناچیز است.)



حل:

الف) ابتدا پارامترهای A و P و T را محاسبه می‌کنیم:

$$T = b + y + y = b + ۲y = ۳ + ۲ = ۵\ m$$

$$P = b + y\sqrt{۲} + \frac{۲\pi y}{۴} = b + y(\sqrt{۲} + \frac{\pi}{۲}) = ۳ + \sqrt{۲} + \frac{\pi}{۲}$$

$$A = by + \frac{y^۲}{۲} + \frac{\pi y^۲}{۴} = ۳\times ۱ + \frac{۱}{۲} + \frac{\pi}{۴} = ۳/۵ + \frac{\pi}{۴}$$

حال شعاع هیدرولیکی و عمق هیدرولیکی را محاسبه می‌کنیم:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{۳/۵ + \frac{\pi}{۴}}{\sqrt{۲} + ۳ + \frac{\pi}{۲}}\ m \quad , \quad D = \frac{A}{T} = \frac{۳/۵ + \frac{\pi}{۴}}{۵}\ m$$

با فرض $\pi \simeq ۳$ داریم:

$$R = \frac{۱۵ + ۳}{۴(\sqrt{۲} + ۴/۵)} = \frac{۹}{۲\sqrt{۲} + ۹}\ m \quad , \quad D = \frac{۳/۵\times ۴ + ۳}{۲۰} = \frac{۱۷}{۲۰} = ۰/۸۵\ m$$

ب) در این قسمت مقادیر R و D را بدون جایگذاری مقادیر b و y به‌صورت پارامتری می‌نویسیم:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{by + y^۲(\frac{۱}{۲} + \frac{\pi}{۴})}{b + y(\sqrt{۲} + \frac{\pi}{۲})} \quad , \quad D = \frac{A}{T} = \frac{by + y^۲(\frac{۱}{۲} + \frac{\pi}{۴})}{b + ۲y}$$

حال حاصل حدهای زیر را محاسبه می‌کنیم:

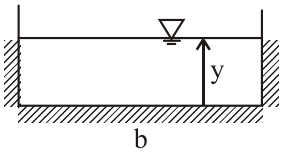
$$\lim_{b\to\infty} R = \frac{by}{b} = y = ۱\ m \quad , \quad \lim_{b\to\infty} D = \frac{by}{b} = y = ۱\ m$$

در محاسبه حدها مقادیر y و $y^۲$ در مقایسه با b بسیار کوچک هستند و برابر صفر درنظرگرفته می‌شوند. تعبیر فیزیکی این موضوع این است که وقتی b بسیار بزرگ می‌شود، قسمت دایره شکل و مثلثی دیده نمی‌شوند و مقطع به‌صورت مستطیلی تبدیل می‌شود.

نکته: در مورد مقطع مستطیلی عریض نیز داریم:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{by}{b + ۲y} = \frac{by}{b} = y$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{by}{b} = y$$

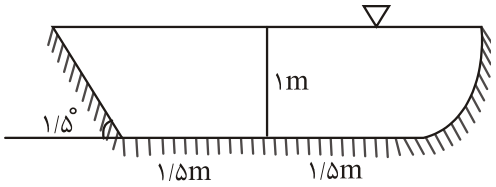


ج) با قرار دادن دیواره، به دلیل ناچیز بودن ضخامت آن، سطح مقطع کانال تغییری نمی‌کند و تنها پیرامون مرطوب تغییر نمود و ارتفاع صفحه قائم ۲ مرتبه محاسبه می‌شود:

$$P' = ۳ + \sqrt{۲} + ۲\times ۱ + \frac{\pi}{۲}$$

$$= ۵ + \sqrt{۲} + \frac{\pi}{۲}$$

$$A' = ۳/۵ + \frac{\pi}{۴} \quad , \quad T' = ۵\ m$$



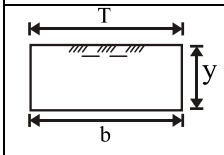
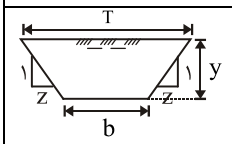
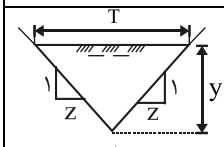
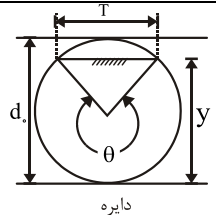
شکل ۴-۱

$$\rightarrow R' = \frac{۳/۵ + \frac{\pi}{۴}}{۵ + \sqrt{۲} + \frac{\pi}{۲}} = \frac{۱۵ + \pi}{۲۰ + ۴\sqrt{۲} + ۲\pi} = \frac{۱۸}{۲۶ + ۴\sqrt{۲}} = \frac{۹}{۱۳ + ۲\sqrt{۲}}\ m$$

$$D' = \frac{A}{T} = \frac{۳/۵ + \frac{\pi}{۴}}{۵} = ۰/۸۵ = D$$

در جدول زیر مشخصات هندسی انواع مقاطع متداول برای کانال‌های باز معرفی شده‌اند[۱]. در این جدول سطح مقطع جریان با A، عمق جریان با y، عرض سطح آزاد جریان با T، محیط خیس شده با P، شعاع هیدرولیکی با R $(R = \frac{A}{P})$ و عمق هیدرولیکی با D $(D = \frac{A}{T})$ نشان داده شده‌اند. فاکتور سطح (Z) که به‌صورت زیر تعریف می‌شود، در محاسبات عمق بحرانی مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$\mathbf{Z = A\sqrt{D}} \qquad \mathbf{(۱-۳)}$$

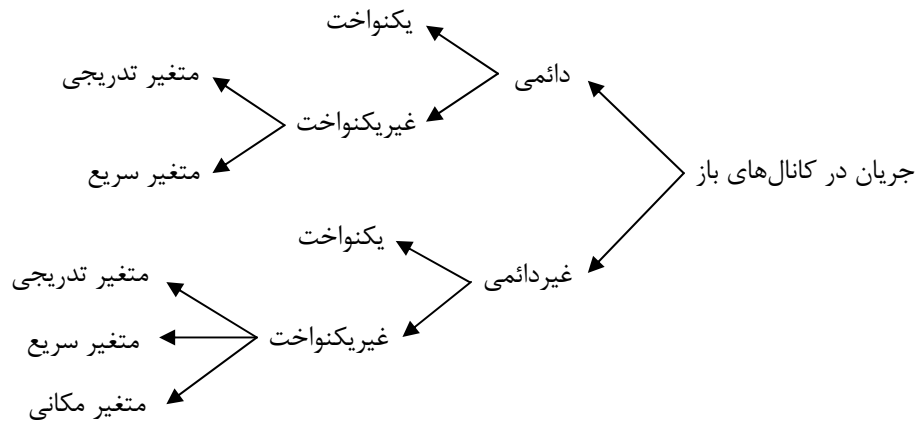
مقطع	مساحت A	پیرامون مرطوب P	شعاع هیدرولیکی R	عرض سطح T	عمق هیدرولیکی D	فاکتور سطح Z
 مستطیل	by	$b + ۲y$	$\frac{by}{b+۲y}$	b	y	$by^{۱/۵}$
 ذوزنقه	$(b+zy)y$	$b + ۲y\sqrt{۱+z^۲}$	$\frac{(b+zy)y}{b+۲y\sqrt{۱+z^۲}}$	$b + ۲zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+۲zy}$	$\frac{[(b+۲y)y]^{۱/۵}}{\sqrt{b+۲zy}}$
 مثلث	$zy^۲$	$۲y\sqrt{۱+z^۲}$	$\frac{۲y}{۲\sqrt{۱+z^۲}}$	$۲zy$	$\frac{۱}{۲}y$	$\frac{\sqrt{۲}}{۲}zy^{۲/۵}$
 دایره	$\frac{۱}{۸}(\theta - \sin\theta)d_۰^۲$	$\frac{۱}{۲}\theta d_۰$	$\frac{۱}{۴}\left(۱ - \frac{\sin\theta}{\theta}\right)d_۰$	$\left(\sin\frac{۱}{۲}\theta\right)d_۰$ or $۲\sqrt{y(d_۰ - y)}$	$\frac{۱}{۸}\left(\frac{\theta - \sin\theta}{\sin\frac{۱}{۲}\theta}\right)d_۰$	$\frac{\sqrt{۲}}{۳۲}\frac{(\theta-\sin\theta)^{۲/۵}}{(\sin\frac{۱}{۲}\theta)^{۰/۵}}d_۰^{۲/۵}$

جدول ۱-۱: «مشخصات هندسی مقاطع کانال‌ها»

۱. نیازی به حفظ کردن تمام مشخصات هیدرولیکی برای مقاطع مختلف نیست و تنها به خاطر سپردن این پارامترها برای مقاطع مستطیلی و مثلثی که بیشتر کاربرد دارند، توصیه می‌شود.

انواع جریان در کانال‌های باز

جریان آب داخل یک کانال باز، بسته به اینکه عمق آب (y) در یک مقطع مشخص و ثابت از کانال، نسبت به زمان ثابت بماند یا تغییر کند، به دو دسته کلی جریان دائمی (ماندگار) و جریان غیردائمی (غیرماندگار) تقسیم می‌شود.
از طرف دیگر، بسته به اینکه عمق آب (y) در فاصله معینی از مسیر کانال ثابت بماند یا تغییر کند، جریان به دو دسته یکنواخت و غیریکنواخت (متغیر) طبقه‌بندی می‌شود. نمودار درختی زیر، انواع جریان در کانال‌های باز را مشخص می‌کند که در ادامه به‌طور مفصل در مورد ویژگی‌های هر کدام از این جریان‌ها، بحث خواهیم کرد.



جریان دائمی و غیردائمی

در این طبقه‌بندی، تغییر در مشخصات جریان برحسب زمان معیار طبقه‌بندی است؛ بنابراین در یک مقطع ثابت از کانال، تغییرات عمق جریان بررسی می‌شود:

$$(t=\text{ثابت})\ \frac{\partial y}{\partial t}=0 \Rightarrow \text{جریان دائمی}$$

$$(t=\text{ثابت})\ \frac{\partial y}{\partial t}\neq 0 \Rightarrow \text{جریان غیردائمی}$$

نکته: در یک جریان دائمی، دبی و درنتیجه سرعت نیز در یک مقطع ثابت، با زمان تغییر نمی‌کنند.

$$\frac{\partial Q}{\partial t}=0\ ,\ \frac{\partial v}{\partial t}=0 \quad \text{(جریان دائمی)}$$

جریان یکنواخت و غیریکنواخت

در این طبقه‌بندی تغییر در مشخصات جریان برحسب مکان معیار طبقه‌بندی است. جریانی یکنواخت است که در هر زمان مشخص، عمق جریان در مقاطع مختلف تغییر نکند. اما چنانچه در یک زمان مشخص، عمق جریان در مقاطع مختلف تغییر کند، (سطح جریان دارای انحنا باشد) جریان غیریکنواخت است.

$$(t=\text{ثابت})\ \frac{\partial y}{\partial x}=0 \Rightarrow \text{جریان یکنواخت}$$

$$(t=\text{ثابت})\ \frac{\partial y}{\partial x}\neq 0 \Rightarrow \text{جریان غیریکنواخت}$$

نکته: در جریان یکنواخت دبی و سرعت در طول مسیر ثابت می‌مانند اما در جریان غیریکنواخت، سرعت در طول مسیر تغییر می‌کند ولی دبی می‌تواند ثابت بماند.

$$\frac{\partial Q}{\partial x}=0\ ,\ \frac{\partial v}{\partial x}=0 \quad \text{(جریان یکنواخت)}$$

مثال: اگر رابطه سرعت یک جریان به‌صورت $v = t^2 + 1/5$ باشد، وضعیت جریان چگونه است؟

حل: برای این جریان داریم:

$\frac{\partial v}{\partial s} = 0$ جریان یکنواخت

$\frac{\partial v}{\partial t} = 2t \neq 0$ جریان غیردائمی

وضعیت جریان در کانال‌های باز

وضعیت جریان در کانال‌های باز، تحت تاثیر نسبت نیروی لزجت و نیروی ثقل به نیروهای اینرسی است. با درنظر گرفتن اثر هریک از این نیروها، وضعیت‌های متفاوتی برای جریان وجود خواهد داشت.

الف) تاثیر نیروی لزجت

نسبت نیروی شتاب‌دهنده به نیروی لزجت عدد رینولدز نامیده می‌شود که در آن ρ جرم مخصوص آب، V سرعت متوسط جریان، L طول مشخصه جریان، μ لزجت دینامیکی آب و υ لزجت سینماتیکی آب است.

$$Re = \frac{VL}{\upsilon} = \frac{\rho VL}{\mu} \qquad (۱-۴)$$

عدد رینولدز یک پارامتر بدون بعد است که براساس مقدار آن، وضعیت جریان در یکی از سه حالت آرام (لایه‌ای)، آشفته (متلاطم) و یا انتقالی (بینابینی) خواهد بود. براساس مطالعات آزمایشگاهی، برای کانال‌های باز مرز بین این سه حالت به‌صورت زیر است:

$Re < 500$	جریان آرام
$500 < Re < 2000$	جریان انتقالی
$Re > 2000$	جریان آشفته

یادآوری: در جریان آرام، نیروی لزجت قوت بیشتری نسبت به نیروی اینرسی دارد و ذرات آب در راستای اصلی حرکت، به آرامی بر روی یکدیگر می‌لغزند. در جریان آشفته نیروی شتاب‌دهنده قوت بیشتری نسبت به نیروی لزجت دارد و بنابراین ذرات آب از مسیر اصلی خود خارج شده و دارای حرکات پراکنده و نامنظم در عرض جریان می‌شوند. یک حالت بینابینی نیز در جریان آب در کانال‌های باز مشاهده می‌شود که در آن جریان به‌راحتی از آرام به آشفته و بالعکس تبدیل می‌شود. این جریان را جریان انتقالی می‌گویند.

نکته: در کانال‌های باز، طول مشخصه جریان **(L)** همان شعاع هیدرولیکی است **(R)** و بنابراین عدد رینولدز برابر است با:

$$Re = \frac{\rho VR}{\mu}$$

ب) تأثیر نیروی ثقل

نسبت نیروی شتاب‌دهنده به نیروی ثقل عدد فرود نامیده می‌شود که V سرعت متوسط جریان، g شتاب ثقل و L طول مشخصه جریان است. در این رابطه، طول مشخصه جریان (L) همان عمق هیدرولیکی (D) است و بنابراین عدد فرود برابر است با:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} = \frac{V}{\sqrt{gD}} \qquad (۱-۵)$$

عدد فرود نیز یک پارامتر بی‌بعد است که براساس مقدار آن، وضعیت جریان در یکی از سه حالت زیر بحرانی، بحرانی و فوق بحرانی قرار خواهد گرفت. همان‌طورکه در رابطه (۵-۱) مشاهده می‌کنید، مخرج کسر برابر با سرعت انتقال یک موج سطحی است[۱]. اگر سرعت جریان (V) از سرعت انتقال یک موج سطحی کمتر باشد $(Fr<1)$، جریان را اصطلاحاً زیر بحرانی می‌نامند. در این حالت اثر نیروی ثقل بیشتر است و سرعت جریان کم است. اگر سرعت جریان (V) برابر با سرعت انتقال موج سطحی باشد $(Fr=1)$، جریان را بحرانی می‌نامند و بالاخره اگر سرعت جریان از سرعت انتقال موج سطحی بیشتر باشد $(Fr>1)$، جریان را فوق بحرانی می‌نامند. در این حالت اثر نیروی اینرسی بیشتر است و سرعت جریان زیاد است.

با توجه به توضیحات بالا، بدیهی است که به‌ازای یک دبی ثابت و معین، در یک جریان زیر بحرانی، عمق جریان زیاد و در یک جریان فوق بحرانی، عمق جریان کم می‌شود.

نکته: با محاسبه عدد فرود و عدد رینولدز، می‌توان رژیم جریان را مشخص کرد.

نکته: اگر جریانی با ضریب تصحیح انرژی α در کانالی که با افق زاویه θ می‌سازد جاری باشد، عدد فرود از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Fr=\frac{V\sqrt{\alpha}}{\sqrt{gD\cos\theta}}$$

مثال: سیالی به‌صورت یکنواخت و با دبی $۷/۳\frac{m^۳}{s}$ در یک کانال ذوزنقه‌ای با $z=۲$ و $b=۲/۵$ در جریان است. اگر عمق جریان ۱/۸m باشد، رژیم جریان چگونه است؟ $(\rho=۱۰^۳\frac{kg}{m^۳}\ ,\ \nu=۱۰^{-۶}\frac{m^۲}{s})$

حل: ابتدا مشخصات جریان را به‌دست می‌آوریم:

سطح مقطع کانال $A=\frac{(b+(b+۲zy))}{۲}\times y=(b+zy)y=۱۰/۹۸m^۲$

سرعت جریان $V=\frac{Q}{A}=\frac{۷/۳}{۱۰/۹۸}=۰/۶۶\frac{m}{s}$

$$R=\frac{(b+zy)y}{۲\sqrt{y^۲+(zy)^۲}+b}=\frac{(b+zy)y}{b+۲y\sqrt{۱+z^۲}}=\frac{۱۰/۹۸}{۱۰/۵۵}=۱/۰۴m$$

$$D=\frac{A}{T}=\frac{(b+zy)y}{b+۲zy}=\frac{۱۰/۹۸}{۹/۷}=۱/۱۳m$$

حال با محاسبه عدد فرود و عدد رینولدز، رژیم جریان را مشخص می‌کنیم:

$$Re=\frac{\rho VR}{\mu}=\frac{VR}{\nu}=۰/۷\times۱۰^{+۶}>>۲۰۰۰$$

$$Fr=\frac{V}{\sqrt{gD}}=\frac{۰/۶۶}{\sqrt{۹/۸۱\times۱/۱۳}}=۰/۲<۱$$

بنابراین جریان زیر بحرانی – آشفته است.

بررسی امواج سطحی

همان‌طورکه در بالا اشاره شد، سرعت پیشروی امواج سطحی ناشی از یک ارتعاش در سطح آب برابر است با:

$$C=\sqrt{gD}$$

---

۱. در قسمت بعد به بررسی امواج سطحی می‌پردازیم.

بسته به رژیم جریان، این امواج سطحی ایجاد شده ممکن است به بالادست نیز منتقل شوند. برای بررسی شکل امواج ایجاد شده ناشی از اغتشاش در سطح آب، (مثلاً پرتاب یک سنگ به درون کانال) سه رژیم مختلف جریان را بررسی می‌کنیم:

الف) رژیم فوق بحرانی: $(Fr > ۱)$

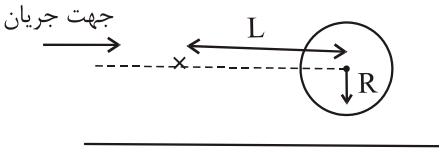
در این حالت عدد فرود بزرگ‌تر از ۱ است، $(Fr > ۱)$ پس داریم:

$$\frac{v}{\sqrt{gD}} > ۱ \quad \rightarrow \quad v > \sqrt{gD} = C$$

درنتیجه سرعت جریان از سرعت انتشار موج بیشتر است و موج به بالادست منتقل نمی‌شود.

در این حالت اگر سنگی در نقطه‌ای که با ضرب‌در نشان داده شده است، با سطح آب برخورد کند، Δt ثانیه پس از این برخورد موج ایجاد شده، به‌صورت شکل مقابل خواهد بود. که R و L برابرند با:

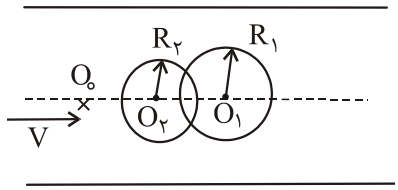
$$R = C\Delta t = C\sqrt{gD}$$
$$L = v\Delta t$$



شکل ۵-۱: «نمای بالای کانال»

چون $v > C$ است؛ نتیجه می‌شود $L > R$ ؛ پس نقطه برخورد هیچ‌گاه درون دایره قرار نمی‌گیرد.

حال اگر ۲ سنگ به فاصله زمانی $\Delta t_۱$ در یک نقطه پرتاب شوند، در مدت $\Delta t_۲$ ثانیه $(\Delta t_۲ > \Delta t_۱)$ پس از پرتاب سنگ اول شکل امواج ایجاد شده به‌صورت زیر خواهد بود:



شکل ۶-۱: «نمای بالای کانال»

$O_۰$ محل پرتاب سنگ، $O_۱$ مرکز موج ایجاد شده ناشی از برخورد سنگ اول و $O_۲$ مرکز موج سطحی ایجاد شده پس از برخورد سنگ دوم بوده و که روابط زیر برقرار است:

$$\left.\begin{aligned}\overline{O_۱O_۲} &= v\Delta t_۱ \\ \overline{O_۰O_۱} &= v\Delta t_۲\end{aligned}\right\} \rightarrow \overline{O_۰O_۲} = v(\Delta t_۲ - \Delta t_۱)$$

$$\left.\begin{aligned}R_۱ &= C\Delta t_۲ \\ R_۲ &= C(\Delta t_۲ - \Delta t_۱)\end{aligned}\right\} \rightarrow R_۱ - R_۲ = C\Delta t_۱$$

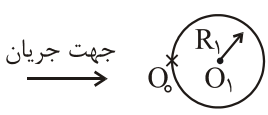
از آنجایی که در حالت فوق بحرانی $v > C$ است، داریم: $v\Delta t_۱ > C\Delta t_۱ \quad \rightarrow \quad \overline{O_۱O_۲} > R_۱ - R_۲$

این موضوع تأیید می‌کند که مطابق شکل، موج ایجاد شده ناشی از سنگ اول هیچ‌گاه به مرکز موج دوم نمی‌رسد.

ب)حالت بحرانی: $(Fr = ۱)$

در این حالت شکل ایجاد شده ناشی از پرتاب سنگ Δt ثانیه پس از برخورد به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\left.\begin{aligned}R_۱ &= C\Delta t_۱ \\ O_۱O_۲ &= v\Delta t_۱\end{aligned}\right\} \xrightarrow{v=C} R_۱ = O_۱O_۲$$



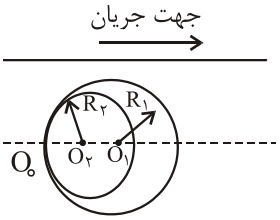
شکل ۷-۱

درنتیجه موج ایجاد شده در نقطه برخورد ساکن می‌ماند. به عبارت دیگر، با پیشرفت موج (گذر زمان) نقطه $O_{\circ}$ همواره بر روی موج قرار دارد و بالاتر از سطح آب باقی می‌ماند. (البته در اثر میرایی موج به تدریج محو می‌شود.)

حال اگر دو سنگ به فاصله زمانی Δt_1 در یک نقطه پرتاب شوند، (یا تصویر موج ایجاد شده را در دو زمان مختلف بگیریم و عکس‌ها را روی هم بگذاریم) Δt_2 ثانیه بعد $(\Delta t_2 > \Delta t_1)$ شکل ایجاد شده به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\left.\begin{array}{l} R_1 = C\Delta t_2 \\ R_2 = C(\Delta t_2 - \Delta t_1) \end{array}\right\} \rightarrow R_1 - R_2 = C\Delta t_1$$

$$\overline{O_1O_2} = V\Delta t_1 \xrightarrow{V=C} \overline{O_1O_2} = R_1 - R_2$$



شکل ۸-۱

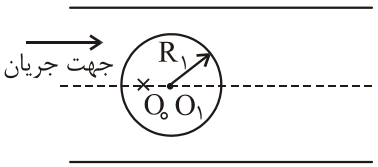
رابطه آخر نشان‌دهنده این موضوع است که دو موج در نقطه $O_{\circ}$ ثابتند و باهم تلاقی دارند.

ج ـ حالت تحت بحرانی: $(Fr < 1)$

در این حالت نیز با درنظرگرفتن فرضیات دو قسمت قبل نمای بالای حاصل از پرتاب یک سنگ به‌صورت زیر خواهد بود:

$$R_1 = C\Delta t_1$$

$$\overline{O_1O_2} = V\Delta t_1$$



شکل ۹-۱

طبق تعریف عدد فرود می‌دانیم:

$$v < \sqrt{gD}$$

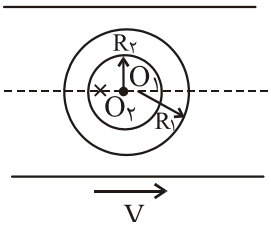
درنتیجه داریم:

$$\overline{O_{\circ}O_1} < R_1$$

که نشان‌دهنده این موضوع است که نقطه برخورد درون موج قرار می‌گیرد. درواقع موج به بالا دست جریان منتقل می‌شود.

شکل حاصل از برخورد دو سنگ با فاصله زمانی Δt_1، در Δt_2 ثانیه بعد از برخورد سنگ اول نیز به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\left.\begin{array}{l} R_1 = \Delta t_2 C \\ R_2 = (\Delta t_2 - \Delta t_1)C \\ \overline{O_1O_2} = v\Delta t_1 \end{array}\right\} \rightarrow R_1 - R_2 = C\Delta t_1$$



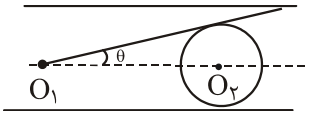
شکل ۱۰-۱

از آنجایی‌که $v < C$ است، داریم:

$$v\Delta t_1 < C\Delta t_1 \rightarrow \overline{O_1O_2} < R_1 - R_2$$

که نشان‌دهنده این موضوع است که مرکز موج اول درون موج دوم قرار می‌گیرد و نقطه برخورد سنگ با سطح آب نیز درون هر دو موج واقع می‌شود. (همان‌طورکه در شکل نشان داده شده است)

مثال: دراثر برخورد یک سنگ با سطح آب در یک کانال مستطیلی با عرض واحد، موجی سطحی ایجاد شده است. Δt ثانیه بعد شکل موج به‌صورت زیر است. اگر عدد فرود جریان برابر با Fr_1 و نقطه O_1 محل برخورد سنگ باشد، مطلوبست:



الف) تعیین نوع رژیم جریان

ب) زاویه θ

ج) اگر عمق جریان $1\ m$ و مقدار زاویه θ برابر با 30° باشد، دبی عبوری از کانال چقدر است؟

حل:

الف) باتوجه به شکل موج ایجاد شده، جریان فوق بحرانی است، زیرا:

$$\left.\begin{matrix}\overline{O_1O_2}=V\Delta t\\ R=C\Delta t\end{matrix}\right\}\xrightarrow{O_1O_2>R} V>C\rightarrow V>\sqrt{gD}\rightarrow Fr>1\rightarrow$$ جریان فوق بحرانی است

ب) باتوجه به هندسه شکل داریم:

$$\sin\theta=\frac{R}{\overline{O_1O_2}}=\frac{C\Delta t}{v\Delta t}=\frac{C}{v}=\frac{\sqrt{gD}}{v}=\frac{1}{Fr}\ \rightarrow\ \theta=Arc\sin(\frac{1}{Fr})\ (Rad)$$

ج) باتوجه به اینکه $y=1\ m$ و $\sin\theta=\frac{1}{2}$ داریم:

$$\frac{1}{2}=\frac{1}{Fr}\ \rightarrow\ Fr=2=\frac{v}{\sqrt{g\times 1}}\ \rightarrow\ v=2\sqrt{g}\frac{m}{s}\ \rightarrow\ q=vy=2\sqrt{g}\frac{m^2}{s}$$

توزیع سرعت و فشار در کانال‌ها

الف) توزیع سرعت

فرض ثابت‌بودن سرعت در مقطع جریان صحیح نیست و به دلیل تاثیر عواملی چون وجود جداره‌ها و زبری آنها، وجود سطح آزاد آب، وجود مقاطع مختلف و شیب‌های متفاوت در طول مسیر کانال و همچنین لزجت آب، توزیع سرعت در کانال‌ها پیچیده و سه بعدی است. در بیشتر موارد مهندسی هیدرولیک، تحلیل جریان براساس سرعت متوسط در مقطع صورت می‌گیرد. توزیع تقریبی سرعت در کانال‌ها، در شکلی که در ادامه در قسمت نکته خواهد آمد، نشان داده شده است.

براساس مطالعات آزمایشگاهی، می‌توان نکات زیر را در ارتباط با توزیع سرعت در کانال‌ها مطرح کرد:

۱- مقدار سرعت در جداره‌ها صفر است و با دور شدن از جداره‌ها افزایش می‌یابد.

۲- گرادیان سرعت در مجاورت مرزها شدیدتر است.

۳- سرعت بیشینه در هر مقطع، در نزدیکی سطح آب و در فاصله ۵ تا ۲۵ درصد عمق جریان از سطح آزاد اتفاق می‌افتد؛ زیرا در این ناحیه جریان‌های عرضی (جریان‌های ثانویه) ضعیف‌تر هستند.

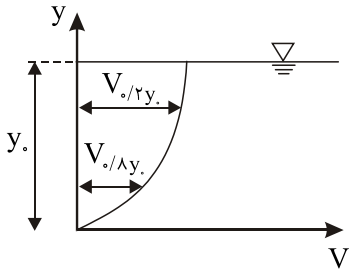
۴- چنانچه مقطع کانال به قطعات کوچک‌تر تقسیم شود و سرعت در امتداد خط مرکزی هر قطعه محاسبه گردد، می‌توان سرعت متوسط را از رابطه مقابل به‌دست آورد:

$$\overline{v}=\frac{\sum v_iA_i}{A}$$

۵- چنانچه در مقطعی از جریان عمق جریان برابر با $y_.$ باشد، با محاسبه میانگین سرعت در دو عمق $0/2y_.$ و $0/8y_.$ سرعت متوسط در آن مقطع به‌دست خواهد آمد:

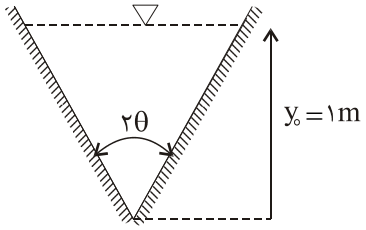
$$\overline{v}=\frac{v_{0/2y_.}+v_{0/8y_.}}{2}$$

نکته: چنانچه عمق جریان کم باشد، سرعت در عمق $۰/۶y_۰$ به‌عنوان سرعت متوسط در آن مقطع پذیرفته می‌شود.



توزیع سرعت در کانال‌ها

مثال: در مقطعی مثلثی با زاویه رأس ۲θ، آب با عمق $y = ۱\ m$ جریان دارد و توزیع سرعت از رابطه $v = Ky^۲$ پیروی می‌کند. مطلوبست:



الف) محاسبه سرعت متوسط

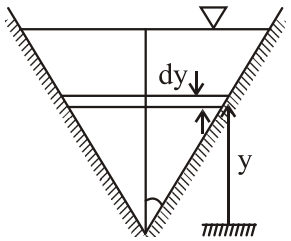
ب) دبی عبوری از مقطع

ج) مقایسه $\bar{v}$ با $\frac{v_{۰/۲y} + v_{۰/۸y}}{۲}$

د) قسمت (ج) را برای مقطعی مستطیلی با عمق $۱\ m$ و عرض b حل کنید.

حل:

الف) المانی به ضخامت dy و طول L در فاصله y از کف کانال درنظرمی‌گیریم و با انتگرال‌گیری سرعت متوسط را محاسبه می‌کنیم:



$$\left.\begin{array}{l}\frac{\frac{L}{۲}}{y} = \tan\theta \rightarrow L = ۲y\tan\theta \\ dA = (dy)(L)\end{array}\right\} \rightarrow dA = ۲y\tan\theta\, dy$$

$$\bar{v} = \frac{\int v dA}{\int dA} = \frac{\int_۰^۱ ky^۲(۲y\tan\theta)dy}{A_۰} = \frac{۲k\tan\theta\int_۰^۱ y^۳dy}{A_۰} = \frac{۲k\tan\theta\times\frac{۱}{۴}}{A_۰} \qquad (I)$$

طبق رابطه‌ای که برای L ذکر شد، داریم:

$$L@y = y_۰ = ۲y_۰\tan\theta = T \leftarrow \text{سطح آزاد}$$

$$A_۰ = \frac{Ty_۰}{۲} = \frac{۲\tan\theta\times۱}{۲} = \tan\theta\ (m^۲) \xrightarrow{(I)} \bar{v} = \frac{(k\tan\theta)/۲}{\tan\theta} = ۰/۵k$$

ب) حال مقدار دبی عبوری را محاسبه می‌کنیم:

$$Q = \bar{v}A_۰ \quad , \quad A_۰ = \tan\theta \rightarrow Q = ۰/۵k\tan\theta\ \frac{m^۳}{s}$$

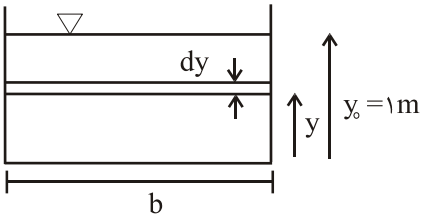
ج) ابتدا سرعت را در عمق‌های $۰/۲\ m$ و $۰/۸\ m$ محاسبه می‌کنیم. داریم:

$$\overline{V_۱} = \frac{k.(۰/۲)^۲ + k(۰/۸)^۲}{۲} = ۰/۳۴k$$

با مقایسه این عدد با مقداری که از رابطه تحلیلی به‌دست می‌آید و دقیق است؛ می‌بینیم اختلاف نسبتاً زیاد است.

د) همانند قسمت (الف) المانی به‌صورت نواری با ضخامت dy و در ارتفاع y درنظرمی‌گیریم، سرعت متوسط برابر است با:

$$\overline{V}=\frac{\int_{0}^{1} ky^{2}(bdy)}{by_{0}}=\frac{k\times\frac{1}{3}}{1}=\frac{k}{3}$$



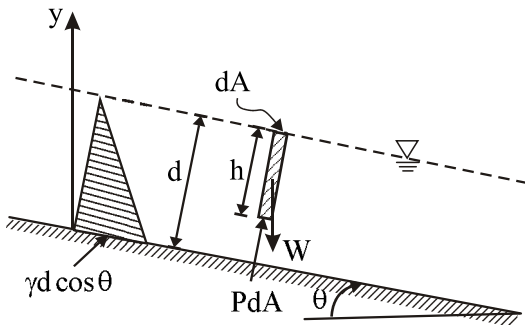
اگر این مقدار را با مقدار $\overline{V}_1$ که از رابطه $\overline{V}=\frac{V_{0/2y}+V_{0/8y}}{2}$ به‌دست آمده، مقایسه کنیم، می‌بینیم بسیار نزدیک به هم هستند.

نکته: رابطه $\overline{V}=\frac{V_{0/2y_0}+V_{0/8y_0}}{2}$ در مقاطع مستطیلی و با فرض توزیع سرعت به‌صورت سهمی مقادیر نسبتاً دقیقی ارائه می‌دهد. اما همان‌طورکه دیده شد در مقاطع دیگر (مثلاً مقطع مثلثی) تقریب خیلی خوبی از سرعت متوسط نیست؛ بنابراین در حالت کلی و به‌ویژه در کنکور ارشد اولویت با روش تحلیلی است و به ندرت از روش دوم سؤال طرح می‌شود.

ب) توزیع فشار

با تعیین توزیع فشار در کانال‌ها و انتگرال‌گیری از نیروهای جزء فشاری، می‌توان برآیند نیروهای فشاری وارد بر سازه‌ها و تاسیسات هیدرولیکی را تعیین کرد. علاوه‌براین می‌توان از معادلات انرژی و اندازه حرکت در کانال‌ها به نحو سودمندی استفاده نمود.

کانالی مطابق شکل (۱۱-۱) با سطح مقطع دلخواه درنظر می‌گیریم. با فرض اینکه در این کانال جریان یکنواخت برقرار است، ستونی از آب به عمق h و سطح مقطع dA را درنظرگرفته و تغییرات فشار در امتداد این ستون را مورد بررسی قرار می‌دهیم.



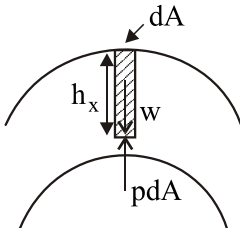
شکل ۱۱-۱: «توزیع فشار در کانال‌ها»

با نوشتن معادله حرکت در راستای عمود بر جریان برای ستون مشخص شده، به دلیل اینکه جریان یکنواخت است و بنابراین مولفه شتاب در راستای مذکور صفر است، خواهیم داشت:

$$\sum F_n=0\Rightarrow pdA=(\gamma hdA)\cos\theta\Rightarrow p=\gamma h\cos\theta \qquad (1-6)$$

در رابطه فوق γ وزن مخصوص آب و θ شیب طولی کانال است. در هر عمقی از کانال می‌توان با قرار دادن $h=y\cos\theta$، فشار در آن عمق را محاسبه نمود. بنابراین تغییرات فشار در راستای قائم به‌صورت $p=\gamma y\cos^{2}\theta$ است که بدیهی است این فشار، هیدرواستاتیک نیست؛ ولی در زوایای کوچک که بتوان $\cos^{2}\theta=1$ را درنظرگرفت، توزیع فشار هیدرواستاتیک خواهد بود و خط شیب هیدرولیکی، همان سطح آزاد آب خواهد بود. توزیع فشار در یک کانال باز در (شکل ۱۱-۱) نشان داده شده است.

در مقاطعی مانند تاج سرریزها یا جام‌های پرتابی سرریزها، که سطح آب دارای انحنا است، اثر این انحنا قابل ملاحظه است. مطابق شکل (۱۲-۱) ستونی از آب به عمق h و سطح مقطع dA درنظرگرفته و معادله حرکت در جهت عمود بر خطوط جریان را می‌نویسیم.



شکل ۱۲-۱: «جریان در کانالی با انحنای محدب»

$$\Sigma F_n = ma_n = PdA - \gamma hdA = P(hdA)\frac{v^2}{r}$$

$$p = \gamma h + \frac{\gamma v^2 h}{gr} \Rightarrow \frac{P}{\gamma} = h + \frac{v^2 h}{gr}$$

$$\frac{P}{\gamma} = h + \frac{v^2 h}{gr} \quad \text{یا} \quad h' = h_s + c \qquad (۱-۷)$$

در روابط فوق، r شعاع انحنا، a_n شتاب جانب به مرکز، v سرعت متوسط جریان در مقطع موردنظر، h_s ارتفاع معادل فشار هیدرواستاتیک و c یک عامل تصحیح می‌باشد که دربرگیرنده انحنای جریان است. بنابراین h' (ارتفاع معادل فشار در مقطع موردنظر) از جمع ارتفاع معادل فشار هیدرواستاتیک (h_s) و عامل تصحیح c که اثر انحنای جریان را دربر دارد، به‌دست می‌آید.

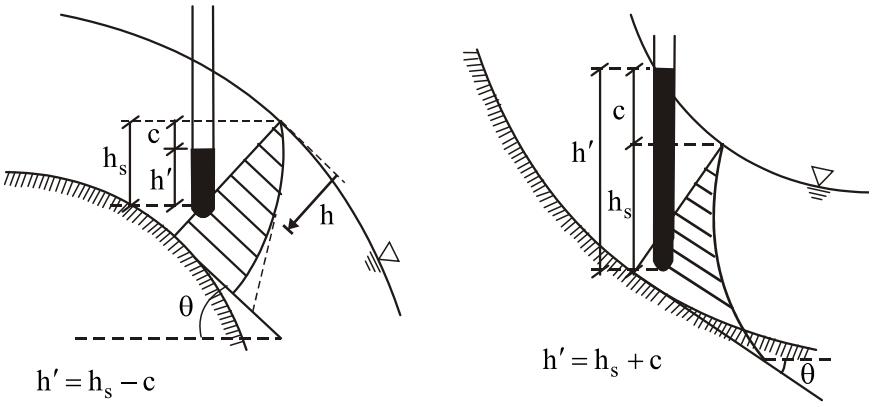
نکته ۱: در رابطه (۱-۷)، در هر عمق از جریان، شعاع انحنای مربوط به نصف آن عمق به‌عنوان شعاع انحنا در رابطه(۱-۷) قرار داده می‌شود.

نکته ۲: در جریان محدب، علامت c منفی (کاهش فشار) و در جریان مقعر، علامت c مثبت (افزایش فشار) درنظرگرفته می‌شود.

نکته ۳: اگر کف کانال دارای شیب θ باشد، داریم:

$$\frac{P}{\gamma} = h' = h\cos\theta + \frac{v^2 h}{gr}$$

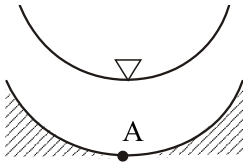
در شکل (۱-۱۳) هر دو حالت جریان با انحنای محدب و مقعر در کانالی با شیب θ نشان داده شده است. همچنین در هر یک از این حالت‌ها، ارتفاع صعود آب در یک پیزومتر فرضی نیز نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۱: «توزیع فشار در جریان درون کانال‌های دارای انحنا»

مثال: در کانال مستطیلی شکل زیر که در آن دبی در واحد عرض $۱۸\left(m^۳/s\right)/m$ برقرار است. اگر عمق جریان در محل تحدب ۱/۸ متر و شعاع انحنای سطح آب در کانال مذکور برابر ۲۴/۵ متر باشد، فشار در نقطه A چند پاسکال است؟

حل:



$$q = Vy \Rightarrow V = \frac{۱۸}{۱/۸} = ۱۰\frac{m}{s}$$

$$R = ۲۴/۵ + ۰/۹ = ۲۵/۴$$

$$\frac{P}{\gamma} = h + \frac{V^۲h}{gR} = ۱/۸ + \frac{\left(۱۰^۲\right)۱/۸}{۹/۸۱\left(۲۵/۴\right)} = ۲/۵۲m$$

$$P = ۹۸۱۰ \times ۲/۵۲ = ۲۴۷۲۱/۲Pa$$

معادلات اساسی حاکم بر حرکت سیالات در کانال‌های باز

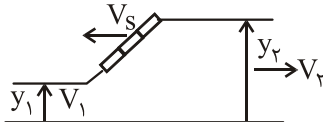
با توجه به اینکه در بررسی حرکت سیالات با جریان پیوسته‌ای از سیال در یک حوزه وسیع مواجه هستیم، لذا تحلیل مسائل سیالات در محدوده خاصی از حوزه جریان و با استفاده از حجم ثابتی در فضا صورت می‌گیرد که موقعیت این حجم در فضا ثابت درنظرگرفته می‌شود. این حجم، حجم کنترل نامیده می‌شود. با انتخاب مناسب حجم کنترل و استفاده از رابطه بین سیستم و حجم کنترل، می‌توان معادلات اساسی حاکم بر جریان سیالات را استخراج نمود.

الف) رابطه پیوستگی

این رابطه بیانگر قانون بقای جرم برای یک سیستم است. بدیهی است که مطابق با این قانون، دبی جریان در طول مسیر ثابت است.

$$Q_۱ = Q_۲ \Rightarrow A_۱v_۱ = A_۲v_۲ \qquad (۱-۸)$$

تست: در اثر بسته‌شدن کامل یک دریچه در مسیر یک کانال باز، یک پرش هیدرولیکی متحرک (یا surge) که با سرعت v_s به بالادست حرکت می‌کند، ایجاد می‌شود. اگر سرعت آب در مقاطع بالادست و پایین دست به‌ترتیب $v_۱$ و $v_۲$ و عمق‌های مربوطه $y_۱$ و $y_۲$ باشند، کدام‌یک از روابط زیر از رابطه پیوستگی به‌دست می‌آید؟ **(سراسری ۹۳ با اندکی تغییر)**



۱) $v_۱y_۱ = v_۲y_۲$

۲) $(v_۱ + v_s)y_۱ = (v_۲ + v_s)y_۲$

۳) $(v_۱ - v_s)y_۱ = v_۲y_۲$

۴) $(v_۱ + v_s)y_۱ = v_۲y_۲$

پاسخ: گزینه «۲»

سرعت جریان در مقاطع (۱) و (۲) به‌ترتیب برابر است با:

$$v_۱ = v_۱ + v_s$$

$$v_۲ = v_۲ + v_s$$

طبق رابطه پیوستگی داریم:

$$(v_۲ + v_s)y_۲ = (v_۱ + v_s)y_۱$$

ب) رابطه اندازه حرکت

این رابطه بیانگر آن است که برآیند نیروهای وارد بر یک حجم کنترل، برابر با تفاضل اندازه حرکت ورودی و خروجی از آن حجم کنترل است.

$$\sum \vec{F} = \vec{M}_{out} - \vec{M}_{min}$$

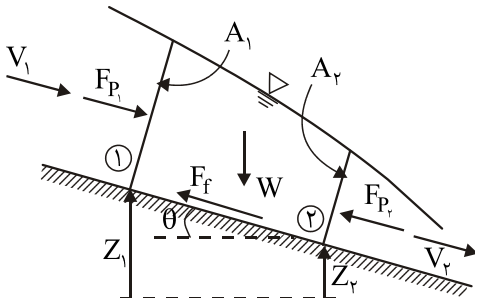
همان‌طورکه در شکل (۱۴-۱) می‌بینید، نیروهای خارجی موثر بر جرم قرار گرفته در داخل حجم کنترل عبارتند از:

W: وزن آب داخل حجم کنترل

Fp_1: نیروی فشاری در مقطع ۱

Fp_2: نیروی فشاری در مقطع ۲

F_f: نیروی اصطکاک کف کانال یا نیروی خارجی وارد بر حجم کنترل



شکل ۱۴-۱: «حجم کنترل جریان در کانال باز»

بنابراین رابطه اندازه حرکت درصورتی‌که در جهت حرکت نوشته شود، به‌صورت زیر خواهد بود:

$$Fp_1 - Fp_2 - F_f + W\sin\theta = \rho(V_2A_2)V_2 - \rho(A_1V_1)V_1$$

$$\mathbf{Fp_1 + W\sin\theta - Fp_2 - F_f = \rho Q(v_2 - v_1)} \qquad (۱-۹)$$

جهت تصحیح این رابطه و لحاظ سرعت حقیقی به جای سرعت متوسط، از ضریب تصحیح اندازه حرکت (β) استفاده می‌شود که نحوه محاسبه آن را در درس سیالات فرا گرفته‌اید:

$$\sum\vec{F} = \rho Q(\beta_2 v_2 - \beta_1 v_1)$$

$$\beta = \frac{\sum v_i^2 \Delta A_i}{\bar{v}^2 A} = \frac{\int v^2 dA}{\bar{v}A}$$

در فصل سوم رابطه اندازه حرکت (مومنتوم) به‌صورت دقیق‌تر بررسی خواهد شد. برای بررسی پدیده برشی هیدرولیکی و استخراج روابط حاکم بر آن، از این قانون استفاده می‌کنیم و با شیوه نوشتن و کاربرد آن بیشتر آشنا خواهیم شد.

ج) رابطه انرژی

رابطه انرژی (که در درس سیالات به‌طور کامل با آن آشنا شدید) در جریان دائمی در یک کانال باز با توجه به شکل (۱۴-۱) به‌صورت زیر خواهد بود:

$$H_1 - h_f = H_2$$

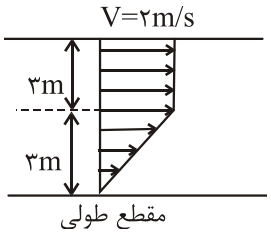
$$\mathbf{\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + z_1 - h_r = \frac{v_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + z_2} \qquad (۱-۱۰)$$

رابطه فوق برای هر حجم کنترل انتخابی صادق خواهد بود. در رابطه فوق، $\frac{v^2}{2g}$ معرف انرژی جنبشی است و بنابراین باید ضریب تصحیح انرژی جنبشی در آن لحاظ شود. در درس سیالات یاد گرفتید که این ضریب تصحیح انرژی جنبشی برابر $\alpha = \frac{\int v^3 dA}{\bar{v}^3 A}$ است و بنابراین رابطه (۱-۱۰) به‌صورت زیر اصلاح می‌شود:

$$\alpha_1\frac{v_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 - hf = \alpha_2\frac{v_2^2}{2g} = \frac{p_2}{\gamma} + z_2$$

β,α تابع توزیع سرعت در مقطع جریان هستند. مقدار α همواره از β بیشتر است و هر دو بزرگ‌تر از واحد هستند. $(\alpha>\beta>1)$ در کانال‌هایی با سطح مقطع منظم $\alpha=\beta=1$ فرض می‌شود. از طرف دیگر چون در جریان آشفته، توزیع سرعت نسبت به جریان آرام یکنواخت‌تر است، مقدار α در جریان آرام بیش از جریان آشفته است.[1]

مثال: مقطع طولی یک کانال مستطیلی در شکل نشان داده شده است. هد سرعت چقدر است؟ اگر سرعت ماکسیمم ۲ برابر شود، هد سرعت چند برابر می‌شود؟



حل:

ابتدا باید سرعت متوسط را محاسبه کنیم:

فرض می‌کنیم عرض کانال b باشد، در این‌صورت داریم:

$$\overline{V}=\frac{\sum A_i\overline{V}_i}{\sum A_i}$$

$$=\frac{(۳b)\times V+(۳b)\frac{V}{۲}}{۶b}=\frac{(۳+۱/۵)V}{۶}=\frac{۳V}{۴}=\frac{۳\times ۲}{۴}=۱/۵\ \frac{m}{s}$$

حال براساس رابطه $h_v=\alpha\frac{\overline{v}^2}{۲g}$ هد سرعت را محاسبه می‌کنیم. ابتدا باید α محاسبه شود:

$$\alpha=\frac{\sum A_i(\frac{\overline{V}_i}{\overline{V}})^۳}{(\sum A_i)}=\frac{۳b\times(\frac{V}{۳V})^۳+۳b\times(\frac{V/۲}{۳V})^۳}{۶b}=\frac{(\frac{۴}{۳})^۳\times ۳+(\frac{۲}{۳})^۳\times ۳}{۶}$$

$$\rightarrow\quad \alpha=\frac{(\frac{۲}{۳})^۳\times ۳(۲^۳+۱)}{۶}=\frac{\frac{۸}{۹}(۹)}{۶}=\frac{۴}{۳}$$

$$\rightarrow\quad h_v=\frac{۴}{۳}\times\frac{(۱/۵)^۲}{۲g}=\frac{۴}{۳}\times\frac{۹}{۴\times ۲۰}=\frac{۳}{۲۰}=۰/۱۵\ \ m$$

همان‌طورکه دیده شد، روابط براساس V_{max} که ۲ $\frac{m}{s}$ بود، نوشته شدند و α مستقل از بیشینه سرعت است و تنها به پروفیل توزیع سرعت بستگی دارد. در رابطه سرعت متوسط نیز دیده می‌شود که:

$$\overline{V}=\frac{۳V}{۴}\quad\rightarrow\quad \overline{V}\propto V$$

پس با دو برابر کردن سرعت بیشینه هد سرعت ۴ برابر می‌شود:

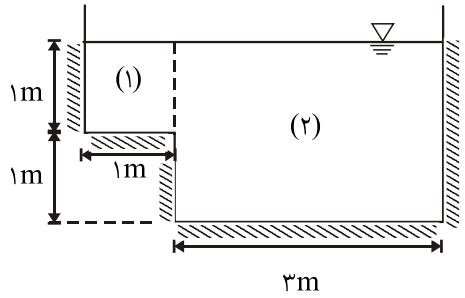
$$h'_v=۰/۶\ \ m$$

---

۱. در فصل آینده رابطه انرژی بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت و با تعریف انرژی مخصوص به بررسی برخی از مسائل هیدرولیک کانال‌های باز از جمله برآمدگی کف کانال و تنگ‌شدگی می‌پردازیم.

سوالات تالیفی چهارگزینه‌ای فصل اول

۱- اگر سرعت جریان در ناحیه (۱) شکل داده شده، ۲ متر بر ثانیه و در ناحیه (۲)، معادل ۵ متر بر ثانیه باشد، سرعت متوسط کانال چند متر بر ثانیه است؟



۱) ۱/۳۲
۲) ۳/۸۸
۳) ۴/۵۷
۴) ۶/۵۲

۲- از نظر هیدرولیکی، مقطع کنترل در کانال به جایی گفته می‌شود که:

۱) در آنجا رابطه مشخصی بین عمق و دبی وجود داشته باشد.
۲) سرعت جریان در تمام قسمت‌های کانال توسط آن نقطه کنترل می‌شود.
۳) بتوانیم به راحتی در آنجا جریان را کنترل کنیم.
۴) جریان در آنجا همواره مقداری ثابت باشد.

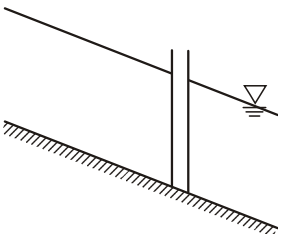
۳- آبی به‌صورت یکنواخت و با دبی ۸/۵ مترمکعب بر ثانیه در یک کانال با مشخصات زیر در جریان است. رژیم جریان کدام است؟ ($A = ۸/۵ \text{m}^۲$ سطح مقطع، $R = ۰/۵ \text{m}$ شعاع هیدرولیکی، $D = ۱ \text{m}$ عمیق هیدرولیکی و $\nu = ۱۰^{-۶} \frac{\text{m}^۲}{\text{s}}$ لزجت سینماتیکی)

۱) جریان بحرانی – آشفته
۲) جریان فوق بحرانی – آرام
۳) جریان زیر بحرانی – آشفته
۴) جریان بحرانی – آرام

۴- کدام‌یک از جملات زیر صحیح نیست؟

۱) جریان دائمی و یکنواخت در طبیعت یافت نمی‌شود.
۲) جریان غیردائمی یکنواخت در طبیعت یافت نمی‌شود.
۳) در جریان دائمی یکنواخت، عمق آب نسبت به زمان و مسافت تغییر نمی‌کند.
۴) در جریان غیردائمی غیریکنواخت، عمق آب نسبت به زمان و مسافت تغییر می‌کند.

۵- در کانال مقابل با شیب تند، سطح آب در پیزومتر چگونه قرار می‌گیرد؟



۱) هم‌سطح آب در کانال
۲) پایین‌تر از سطح آب در کانال
۳) بالاتر از سطح آب در کانال
۴) بسیار بالاتر از سطح آب در کانال

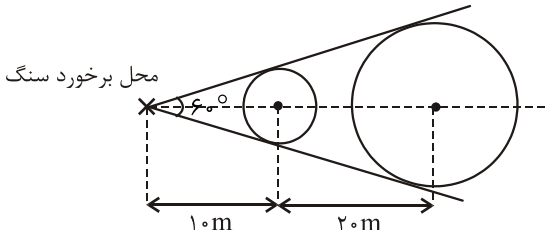
۶- در یک کانال مثلثی با شیب کناره‌های (قائم) ۲:۱ (افقی)، نسبت عمق هیدرولیکی به شعاع هیدرولیکی کدام است؟

۱) $\sqrt{۵}$
۲) $\frac{۴}{\sqrt{۵}}$
۳) $\frac{\sqrt{۵}}{۴}$
۴) $\frac{۱}{\sqrt{۵}}$

۷- در جریان دائمی غیریکنواخت:

۱) $\frac{\partial V}{\partial t} = \text{ثابت}$ و $\frac{\partial V}{\partial S} \neq ۰$
۲) $\frac{\partial V}{\partial S} = ۰$ و $\frac{\partial V}{\partial t} = ۰$
۳) $\frac{\partial V}{\partial S} = \text{ثابت}$ و $\frac{\partial V}{\partial t} \neq ۰$
۴) $\frac{\partial V}{\partial S} \neq ۰$ و $\frac{\partial V}{\partial t} = ۰$

۸- دو سنگ را به فاصله زمانی Δt ثانیه از هم، در یک نقطه از کانال مستطیلی عمیقی می‌اندازیم. امواج شکل گرفته در سطح آب به‌صورت شکل زیر است. اگر دبی عبوری از واحد عرض کانال $q = ۴\sqrt{۱۰}\ \frac{m^۳}{m.s}$ باشد، Δt چند ثانیه است؟ شعاع موج ایجاد شده ناشی از برخورد سنگ اول چند متر است؟

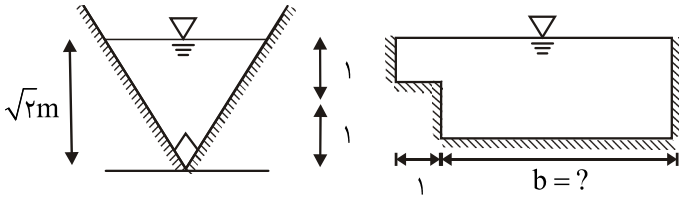


۱) $۵\sqrt{۲} - \sqrt{۱۰}$
۲) $۱۵\sqrt{۲} - \sqrt{۱۰}$
۳) $۵\sqrt{۲} - ۰/۵\sqrt{۱۰}$
۴) $۱۵\sqrt{۲} - ۰/۵\sqrt{۱۰}$

۹- از یک کانال مستطیلی با عرض ۲m و شیب طولی ۶۰°، دبی $\sqrt{g}\frac{m^۳}{s}$ عبور می‌کند. در صورتی‌که ضریب تصحیح انرژی جنبشی برابر با ۱/۲۱ باشد، عدد فرود جریان در مقطعی که عمق جریان برابر با ۰/۵m است، چقدر است؟

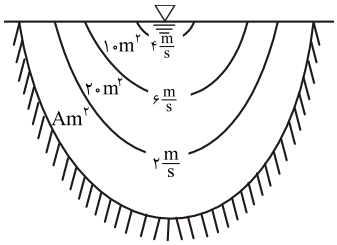
۱) ۴/۴ ۲) ۲/۲ ۳) ۴/۸۴ ۴) ۲/۴۲

۱۰- اگر شعاع هیدرولیکی دو مقطع مقابل برابر باشد، مقدار b برابر است با:



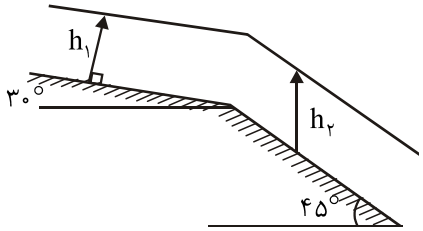
۱) ۲m
۲) ۴m
۳) ۱m
۴) ۳m

۱۱- شکل مقابل مقطع عرض یک رودخانه را نشان می‌دهد که خطوط هم سرعت مقطع بین این خطوط بر روی آن نمایش داده شده‌اند. اگر سرعت متوسط $۲/۶۶\frac{m}{s}$ باشد و مقدار A و حاصلضرب ضریب تصحیح اندازه حرکت و مجذور سرعت متوسط چقدر است؟



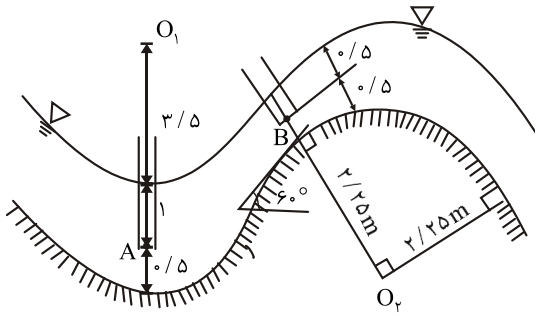
۱) $۱۰ - ۳۰m^۲$
۲) $۹ - ۱۲۰m^۲$
۳) $۹ - ۳۰m^۲$
۴) $۱۰ - ۱۲۰m^۲$

۱۲- شکل مقابل نیمرخ طولی یک کانال را نشان می‌دهد. درصورتی‌که فشار در دو مقطع ۱و ۲ برابر باشد، چه رابطه‌ای بین $h_۱$ و $h_۲$ برقرار است؟



۱) $\frac{h_۲}{h_۱} = ۳$
۲) $\frac{h_۲}{h_۱} = \frac{\sqrt{۳}}{۳}$
۳) $\frac{h_۲}{h_۱} = \frac{۱}{۳}$
۴) $\frac{h_۲}{h_۱} = \sqrt{۳}$

۱۳- شکل زیر نیمرخ طول مقطعی مستطیلی به عرض ۲m را نشان می‌دهد. درصورتی‌که فشار در نقطه A، ۸ برابر نقطه B باشد، دبی عبوری از کانال چقدر است؟



۱) $۴/۵\sqrt{g}$
۲) $۳\sqrt{g}$
۳) $۱/۵\sqrt{g}$
۴) $\frac{۲}{۳}\sqrt{g}$

پاسخنامه سوالات چهارگزینه‌ای تالیفی فصل اول

۱- گزینه «۳»

با استفاده از روابط متوسط‌گیری داریم:

$$\bar{V}=\frac{V_1A_1+V_2A_2}{A_1+A_2}=\frac{2\times1+5\times6}{6+1}=4/57\frac{m}{s}$$

۲- گزینه «۱»

شرط بحرانی بودن جریان را می‌نویسیم:

$$Fr=1\Rightarrow\frac{v}{\sqrt{gD}}=1\Rightarrow\frac{Q}{A}=\sqrt{g(\frac{A}{T})}$$

$$Q^2=g\frac{A^3}{T}$$

با توجه به اینکه A و T مستقیماً به مقدار y (عمق آب) وابسته هستند، بدیهی است که رابطه فوق، رابطه‌ای مشخص بین دبی و عمق جریان است که در مقطع بحرانی وجود دارد.

۳- گزینه «۳»

ابتدا عدد فرود را به‌دست می‌آوریم:

$$Fr=\frac{V}{\sqrt{gD}}$$

برای به‌دست آوردن سرعت جریان، از رابطه دبی استفاده می‌کنیم:

$$Q=VA\Rightarrow V=\frac{8/5}{8/5}=1\frac{m}{s}$$

بنابراین عدد فرود برابر است با:

$$Fr=\frac{1}{\sqrt{9/81\times1}}<1$$

بنابراین بدون نیاز به مقدار عدد فرود، می‌توانیم تشخیص دهیم که جریان زیر بحرانی است. حال باید عدد رینولدز را بیابیم:

$$Re=\frac{V.R}{\gamma}=\frac{10/5}{10^{-6}}>2000$$

بنابراین جریان آشفته است.

۴- گزینه «۱»

جریان یکنواخت غیردائم در طبیعت یافت نمی‌شود. معمولاً هنگامی‌که از جریان یکنواخت صحبت می‌شود، منظور جریان یکنواخت دائم است.

۵- گزینه «۲»

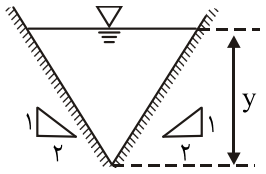
در یک کانال با شیب تند، فشار در کف کانال از رابطه مقابل به‌دست می‌آید:

$$p=\gamma y\cos^2\theta<\gamma y$$

بنابراین سطح آب در پیزومتر مذکور، پایین‌تر از سطح آزاد آب خواهد بود.

۶- گزینه «۳»

با توجه به شکل زیر داریم:



$$D=\frac{A}{T}=\frac{\frac{1}{2}yT}{T}=\frac{1}{2}y$$

$$P=2\sqrt{y^2+(\frac{1}{2}y)^2}=\sqrt{5}y$$

$$R=\frac{A}{P}=\frac{\frac{1}{2}yT}{\sqrt{5}y}=\frac{1}{2\sqrt{5}T}$$

$$\frac{D}{R}=\frac{\frac{1}{2}y}{\frac{1}{2\sqrt{5}}T}=\sqrt{5}\frac{y}{T}$$

از طرفی با توجه به شیب کناره، بین y و T رابطه زیر برقرار است:

$$\frac{(\frac{T}{۲})}{y}=\frac{۲}{۱}\Rightarrow T=۴y$$

بنابراین نسبت عمق هیدرولیکی به شعاع هیدرولیکی برابر است با:

$$\frac{D}{R}=\sqrt{۵}\times\frac{y}{۴y}=\frac{\sqrt{۵}}{۴}$$

۷- گزینه «۴»

گزینه ۱ به این دلیل اشتباه است که در جریان دائمی، نرخ تغییرات زمانی سرعت باید برابر صفر باشد نه یک عدد ثابت!

۸- گزینه «۲»

داریم:

$$\left.\begin{array}{l}\sin(۳۰^\circ)=\frac{۱}{Fr}\rightarrow Fr=۲\\ Fr=\frac{q^۲}{gy^۳}\end{array}\right\}\rightarrow ۲=\frac{۲^۴\times۱۰}{۱۰\times y^۳}\rightarrow y^۳=۲^۳\rightarrow y=۲m$$

فاصله مرکز دو موج در اثر سرعت جریان به‌وجود آمده است:

$$\left.\begin{array}{l}۲۰=V\Delta t\\ q=۴\sqrt{۱۰}\\ y=۲\end{array}\right\}\rightarrow V=۲\sqrt{۱۰}\ \frac{m}{s}\rightarrow ۲۰=۲\sqrt{۱۰}\ \Delta t\rightarrow \Delta t=\sqrt{۱۰}\ sec$$

شعاع موج ایجاد شده ناشی از برخورد سنگ اول نیز برابر است با:

$$R=ct$$

که در آن c، سرعت موج سطحی و t مدت زمان گذشته از پرتاب سنگ اول است.

$$\left.\begin{array}{l}t=\frac{۳۰}{V}=\frac{۳۰}{۲\sqrt{۱۰}}=۱/۵\sqrt{۱۰}\ s\\ c=\sqrt{gy}=\sqrt{۱۰\times۲}=\sqrt{۲۰}\ \frac{m}{s}\end{array}\right\}\rightarrow R=۱۵\sqrt{۲}\ m$$

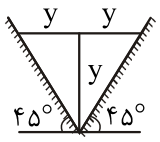
۹- گزینه «۲»

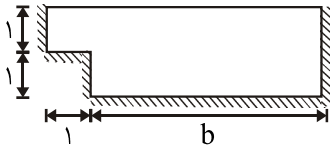
با توجه به رابطه ارائه شده برای عدد فرود داریم:

$$\left.\begin{array}{l}Fr^۲=\frac{v^۲\alpha}{gD\cos\theta}=\frac{q^۲\alpha}{gy^۳\cos\theta}\\ Q=qb\rightarrow q=\frac{\sqrt{g}}{۲}\frac{m^۳}{\frac{s}{m}}\\ \alpha=۱/۲۱, y=۱m, \cos\theta=\frac{۱}{۲}\end{array}\right\}\rightarrow Fr^۲=\frac{\frac{g}{۴}\times۱/۲۱}{g\times\frac{۱}{۸}\times\frac{۱}{۲}}=۱/۲۱\times۴\rightarrow Fr=\sqrt{۱/۲۱\times۴}=۲\times۱/۱=۲/۲$$

۱۰- گزینه «۳»

ابتدا روابط مربوط به شعاع هیدرولیکی در دو مقطع را می‌نویسیم:





$$\left.\begin{matrix} A=\frac{y\times 2y}{2}=y^2 \\ P=2\sqrt{2}y \end{matrix}\right\}\rightarrow R=\frac{A}{P}=\frac{y}{2\sqrt{2}}=\frac{\sqrt{2}}{2\sqrt{2}}=0/5m \quad (I)$$

$$\left.\begin{matrix} A=2b+1 \\ P=2+b+1+1+1=b+5 \end{matrix}\right\}\rightarrow R=\frac{2b+1}{b+5} \quad (II)$$

$$\xrightarrow{(II),(I)} 0/5=\frac{2b+1}{b+5}\rightarrow 4b+2=b+5\rightarrow 3b=3\rightarrow b=1m$$

۱۱- گزینه «۱»

ابتدا باید سرعت متوسط جریان را محاسبه کنیم. طبق رابطه روبه‌رو داریم:

$$\overline{V}=\frac{\sum_{i=1}^{3}\overline{V}_iA_i}{\sum_{i=1}^{3}A_i}$$

$$2/66=\frac{\frac{(6+4)}{2}\times 10+\frac{(6+2)}{2}\times 20+\frac{(2+0)}{2}\times A}{A+20+10}\rightarrow\frac{8}{3}=\frac{A+130}{A+30}\rightarrow 8A+240=3A+390\rightarrow 5A=150\rightarrow A=30m^2$$

مقدار $\beta\overline{V}^2$ طبق رابطه β برابر است با:

$$\beta=\frac{\sum_{i=1}^{3}\overline{V}_i^{\,2}A_i}{(\sum_{i=1}^{3}A_i)\overline{V}^2}\rightarrow\beta\overline{V}^2=\frac{\sum V_i^2A_i}{\sum A_i}=\frac{25\times 10+16\times 20+30}{10+20+30}=10$$

۱۲- گزینه «۴»

با توجه به تساوی فشارها داریم:

$$\left.\begin{matrix} P_1=h_1\cos(30^\circ) \\ P_2=h_2\cos^2(45^\circ) \end{matrix}\right\}\xrightarrow{P_1=P_2} h_1\frac{\sqrt{3}}{2}=\frac{h_2}{2}\rightarrow\frac{h_2}{h_1}=\sqrt{3}$$

۱۳- گزینه «۲»

مقدار فشار هیدرواستاتیک از نقاط A و B به ترتیب برابر است با:

$$\left.\begin{matrix} h_A=h+\frac{V^2d_1}{gr_1}=1+\frac{q^2d_A}{gr_Ay_A^2} \\ y_A=1+0/5=1/5m, r_A=3/5+\frac{1}{2}=4m, d=1m \end{matrix}\right\}\rightarrow P_A=h_A\gamma=\gamma(1+\frac{q^2\times 1}{g\times 4\times(1/5)^2})$$

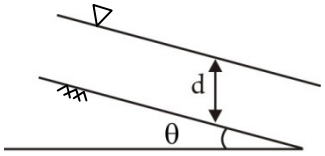
$$\left.\begin{matrix} h_B=h-\frac{v^2d_2}{gr_2}=\frac{1}{2}\times\cos(60^\circ)\frac{q^2d_B}{gr_By_B^2} \\ y_B=\frac{1}{\cos 60^\circ}=2m, r_B=(2/25+0/5+\frac{0/5}{2})=3m, d_B=0/5m \end{matrix}\right\}\rightarrow P_B=\gamma_{h_B}=\gamma\left(\frac{1}{4}-\frac{q^2\times\frac{1}{2}}{g\times 4\times 3}\right)$$

$$P_A=8P_B\rightarrow h_A=8h_B\rightarrow 1+\frac{q^2}{g\times 9}=(8)(\frac{1}{4}-\frac{q^2}{g\times 24})\rightarrow 1+\frac{q^2}{9g}=2-\frac{q^2}{3g}$$

$$(\frac{q^2}{g})(\frac{1}{9}+\frac{1}{3})=1\rightarrow\frac{q^2}{g}=\frac{9}{4}\rightarrow q=\frac{3}{2}\sqrt{g}\frac{m^2}{s}\rightarrow Q=3\sqrt{g}\frac{m^3}{s}$$

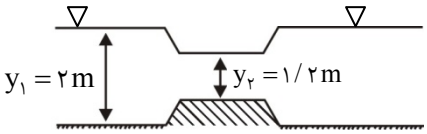
سوالات چهارگزینه‌ای سراسری فصل اول

۱- کف کانال با افق چه زاویه‌ای بسازد که فشار در کف برابر با نصف d (عمق) گردد؟ (فشار برحسب ارتفاع ستون آب درنظر گرفته می‌شود.) **(سال ۷۳)**



۱) 60°
۲) 30°
۳) 45°
۴) 20°

۲- در کانال روبه‌رو مقطع مستطیلی بوده و عرض آن در طول کانال ثابت است. اگر سرعت حرکت آب در بالا دست برآمدگی $1/5\frac{m}{s}$ باشد، سرعت حرکت آب در محل برآمدگی چقدر است؟ **(سال ۷۳)**



۱) $1/5\frac{m}{s}$
۲) $2\frac{m}{s}$
۳) $2/5\frac{m}{s}$
۴) $1/65\frac{m}{s}$

۳- در مجرایی با پروفیل طولی خمیده، اگر شعاع خمیدگی (r) باشد، فشار گریز از مرکز با کدام رابطه زیر محاسبه می‌شود؟ **(سال ۷۸)**

۱) $p = \frac{\omega d}{r}.\frac{v^2}{2g}$
۲) $p = \frac{\omega d}{r}.\frac{v^2}{g}$
۳) $p = \frac{\omega d}{4r}.\frac{v^2}{2g}$
۴) $p = \frac{\omega d}{4r}.\frac{v^2}{g}$

۴- ضریب تصحیح انرژی (α) واقعی در کدام جریان‌ها بزرگ‌تر بوده و حتی تا $\alpha = 7/4$ هم گزارش شده است؟ **(سال ۷۸)**

۱) حلزونی (spiral)
۲) لایه‌ای (Laminar)
۳) موازی (parallel)
۴) مطبق (stratified)

۵- برای تحلیل دیواره‌های طرفین یک شوت که کف آن با افق زاویه‌ای θ می‌سازد، لنگر واژگونی با کدام رابطه زیر قابل محاسبه است؟ (وزن واحد حجم آب $= w$) **(سال ۷۸)**

۱) $M_0 = \frac{1}{6}(\omega y^4 \cos^3\theta)$
۲) $M_0 = \frac{1}{6}(\omega y^2 \cos^3\theta)$
۳) $M_0 = \frac{1}{6}(\omega y^3 \cos^4\theta)$
۴) $M_0 = \frac{1}{4}(\omega y^2 \cos^2\theta)$

۶- در مورد جریان پایدار و غیریکنواخت تدریجی در یک کانال روباز، کدام مورد درست است؟ **(سال ۷۸)**

۱) دبی و عمق جریان در هر مقطع متغیر بوده و در طول کانال هر دو ثابتند.
۲) دبی و عمق جریان در هر مقطع ثابت و در طول کانال دبی جریان ثابت و عمق آن متغیر است.
۳) دبی و عمق جریان در هر مقطع و در طول کانال ثابت است.
۴) دبی و عمق جریان در هر مقطع ثابت بوده و در طول کانال هر دو متغیرند.

۷- در یک کانال مستطیلی، برای مقایسه شعاع هیدرولیکی مقطع جریان با عمق جریان کدام عبارت زیر صحیح می‌باشد؟ **(سال ۷۹ و ۸۳)**

۱) شعاع هیدرولیکی برابر عمق می‌باشد.
۲) شعاع هیدرولیکی همواره بزرگتر از عمق می‌باشد.
۳) شعاع هیدرولیکی همواره کوچکتر از عمق می‌باشد.
۴) بزرگ‌تر یا کوچک‌تر بودن شعاع هیدرولیکی از عمق جریان تابع ابعاد مقطع می‌باشد.

۸- شرط ایجاد جریان بین دو مقطع بالادست و پایین‌دست کدام است؟ **(سال ۷۹)**

۱) کانال دارای شیبی از بالادست به سمت پایین‌دست باشد.
۲) سرعت جریان در بالادست بیش از سرعت در پایین‌دست باشد.
۳) عمق آب در بالادست بیش از عمق آب در پایین‌دست باشد.
۴) انرژی کل مقطع بالادست، بیش از انرژی کل مقطع پایین‌دست باشد.

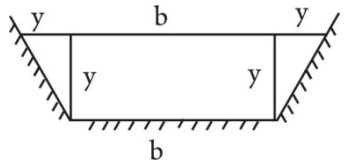
۹- فشار آب در کف یک کانال با شیب طولی ۰/۱ و با عمق جریان (عمق در امتداد قائم) برابر با ۲/۵ متر، چند کیلو پاسکال است؟ $(\gamma = ۹۸۱۰ \frac{N}{m^۳})$ **(سال ۸۰)**

۱) ۲۳/۸ ۲) ۲۴/۳ ۳) ۲۴/۵ ۴) ۳۲/۸

۱۰- در کانالی دایره‌ای شکل به قطر ۳۰cm که نیمی از آن پر است، شعاع هیدرولیکی چقدر است؟ **(سال ۸۰)**

۱) ۰/۰۴m ۲) ۰/۰۸m ۳) ۰/۱۶m ۴) ۰/۲m

۱۱- در یک کانال ذوزنقه‌ای با شیب کناره‌های ۱:۱ که در آن عمق جریان خیلی بزرگ‌تر از عرض کف می‌باشد، نسبت عمق هیدرولیکی به شعاع هیدرولیکی تقریبا چقدر است؟ **(سال ۸۱)**

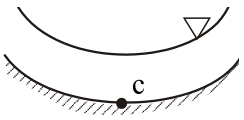


۱) ۱ ۲) $\sqrt{۲}$
۳) $\frac{۱}{\sqrt{۲}}$ ۴) $۲\sqrt{۲}$

۱۲- در یک کانال ذوزنقه‌ای شکل با قاعده ۲ متر زاویه شیب طرفین ۴۵°، آب با عمق ۱ متر جریان دارد. شعاع هیدرولیکی جریان در این کانال چقدر است؟ **(سال ۸۲)**

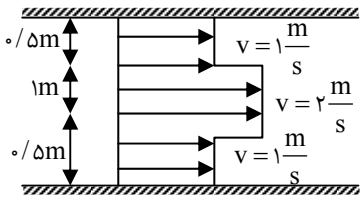
۱) ۰/۸ m ۲) ۰/۶۲۵ m ۳) ۴۲/۵ cm ۴) ۹۶ cm

۱۳- در یک کانال مستطیلی مطابق شکل، عمق آب ۲ متر و شعاع انحنای تقعر کف ۲۰ متر است، درصورتی‌که دبی واحد عرض جریان $۲۰ \frac{m^۲}{s}$ باشد، مقدار فشار در نقطه c چند متر است؟ $(g = ۱۰ \frac{m}{s^۲})$ **(سال ۸۲)**



۱) ۲/۲۵
۲) ۲/۵
۳) ۲/۷۵
۴) ۳

۱۴- توزیع سرعت در عرض یک کانال مطابق شکل داده شده است. ضریب تصحیح انرژی جنبشی چقدر است؟ (عمق کانال ۲ متر است.) **(سال ۸۳)**



۱) ۱/۳۳
۲) ۱/۱۳
۳) ۱/۰۸
۴) ۱/۵۴

۱۵- در مسیر یک کانال مستطیل شکل با عمق یک متر، موجی ایجاد شده است. سرعت موج چند متر بر ثانیه است؟ **(سال ۸۳)**

۱) ۳/۱۳ ۲) ۳/۳۱ ۳) ۱۳/۳ ۴) ۳۳/۱