به‌نام یکتا مهندس هستی...

سری عمران

در رابطه با کلاس‌های مؤسسه سری عمران بیشتر بدانیم

«عمران در تخصص ماست»

مؤسسه سری عمران طی پنج سال گذشته با نشر کتب متفاوت در زمینهٔ آزمون کارشناسی ارشد و نیز آزمون نظام مهندسی، خود را به عنوان برترین ناشر در این مجموعه از کتاب‌ها مطرح کرده است. عنوان ناشر نمونهٔ سال ۹۱ و ناشر تخصصی تقدیر شدهٔ سال ۹۲ باعث شد تا مؤسسه تلاش بیشتری در جهت به‌روز رسانی و ارتقاء سطح کیفی کتاب‌ها انجام دهد.

به دنبال استقبال بی‌نظیر دانشجویان و مهندسان عزیز از کتاب‌های سری عمران و همچنین تقاضای بی‌شمار دانشجویان، کلاس‌های آموزشی سری عمران شکل گرفت که ماحصل آن برگزاری دوره‌های آمادگی آزمون کارشناسی ارشد در سه سال گذشته بود. نتیجهٔ این تلاش جذب بیش از ۲۵۰۰ دانشجو (در سه سال) و ارائه خدمات متفاوت و هدفمند به آنها بود که از دید دانشجویان، با توجه به نگاه دلسوزانه و پیگیرانهٔ مؤسسه، بیانگر تخصص مؤسسه در زمینهٔ برگزاری کلاس‌های ویژهٔ آزمون کارشناسی ارشد مهندسی عمران است.

در پی نتایج درخشان دانشجویان مؤسسه در آزمون کارشناسی ارشد سال‌های ۹۱ و ۹۲ (کسب ۵ رتبهٔ تک رقمی و ۴۳ رتبهٔ دو رقمی)، امسال نیز این مجموعه قصد دارد تا با برگزاری دوره‌های آمادگی کنکور کارشناسی ارشد عمران به اعتماد دانشجویان عزیز پاسخ درخور و شایسته‌ای دهد.

این کلاس‌ها در دو دورهٔ تابستان (شروع کلاس‌ها در تیرماه) و پاییز (شروع کلاس‌ها در مهرماه) توسط اساتید زیر که اکثر آنها بطور انحصاری با مؤسسه همکاری می‌کنند، ارائه می‌گردد:

- **زبان عمومی و تخصصی**: مهندس محمد اصفهانی
- **ریاضیات و معادلات**: مهندس مسعود مهدیان
- **تحلیل سازه‌ها و مقاومت مصالح**: دکتر نادر فنائی، دکتر محمد آهنگر، دکتر حسین صباغیان
- **مکانیک خاک و مهندسی پی**: مهندس ساسان امیرافشاری
- **مکانیک سیالات و هیدرولیک**: مهندس ساسان امیرافشاری، مهندس حسین فراهانی
- **سازه‌های فولادی و بتنی**: دکتر محمد آهنگر
- **راهسازی و روسازی راه**: مهندس نیما ابراهیمی، مهندس مسعود مهدیان

هدف مؤسسهٔ سری عمران از برگزاری دوره‌های فوق، ارتقاء سطح علمی دانشجویان و مهندسان، و سپس موفقیت عزیزان در آزمون کارشناسی ارشد می‌باشد. گروه آموزشی سری عمران در این کلاس‌ها، خدمات زیر را ارائه می‌نماید:

- تدریس کامل و جامع کلیه مطالب درسی، ارائه نکات کنکوری و راه‌حل‌های سریع جهت پاسخگویی به سؤالات کنکور، حل تست‌های متنوع تألیفی و بررسی سؤالات آزمون‌های کارشناسی ارشد سال‌های قبل
- برگزاری آزمون‌های کلاسی جهت حفظ آمادگی دانشجویان
- کلاس‌های حل تمرین در حین دوره و یا پس از پایان دوره
- جلسات مشاوره و برنامه‌ریزی درسی توسط اساتید مجموعهٔ سری عمران و گروه مشاوران
- کلاس‌های نکته و تست در پایان کلاس‌های دورهٔ پاییز

جهت کسب اطلاعات بیشتر لطفاً با شماره تلفن‌های مؤسسه سری عمران ۸۸۳۰۰۴۷۴ - ۸۸۳۱۲۵۲۷ تماس حاصل نموده و یا به سایت www.serieomran.ir مراجعه نمائید.

مدیر مؤسسه سری عمران
حسام شریفیان

فهرست

فصل اول: مبانی هیدرولیک کانال‌های باز

بخش اول: تعاریف و مفاهیم اولیه هیدرولیک کانال‌های باز ۸

۱-۱-۱- مقدمه ۸

۱-۱-۲- تفاوت‌های جریان در لوله‌ها و کانال‌ها ۸

۱-۱-۳- انواع مقاطع و معرفی برخی از تأسیسات هیدرولیکی در کانال‌ها ۹

۱-۱-۴- مشخصات و تعاریف هندسی در کانال‌ها ۱۲

۱-۱-۵- طبقه‌بندی جریان‌های آزاد در کانال‌ها ۱۹

بخش دوم: توزیع فشار در کانال‌ها ۲۴

۱-۲-۱- مقدمه ۲۴

۱-۲-۲- محاسبهٔ فشار در کانال‌های با کف مسطح ۲۴

۱-۲-۳- محاسبهٔ فشار در کانال‌های با انحناء کف ۲۹

بخش سوم: معادلات اساسی حاکم بر جریان سیال در کانال‌های باز ۳۴

۱-۳-۱- مقدمه ۳۴

۱-۳-۲- معادلهٔ پیوستگی ۳۴

۱-۳-۳- معادلهٔ انرژی (رابطهٔ برنولی) ۳۶

۱-۳-۴- معادلهٔ اندازه حرکت ۴۰

بخش چهارم: بررسی امواج سطحی ۴۲

۱-۴-۱- مقدمه ۴۲

۱-۴-۲- خصوصیات امواج سطحی ۴۲

۱-۴-۳- تأثیر امواج سطحی در جریان‌های مختلف ۴۵

بخش پنجم: مطالب تکمیلی مبانی هیدرولیک کانال‌های باز ۵۰

۱-۵-۱- توزیع سرعت در کانال‌ها ۵۰

۱-۵-۲- مطالب تکمیلی امواج سطحی ۵۴

تست‌های فصل اول ۵۷

فصل دوم: کاربرد اصل انرژی و مفهوم انرژی مخصوص در کانال‌های باز

بخش اول: انرژی مخصوص، منحنی $E-y$ و خصوصیات جریان بحرانی ۸۲

۲-۱-۱- مقدمه ۸۲

۲-۱-۲- آشنایی با مفهوم انرژی مخصوص ۸۲

۲-۱-۳- بررسی منحنی $E-y$ و روابط اعماق متناوب ۸۷

۲-۱-۴- بررسی خصوصیات جریان بحرانی و محاسبهٔ عمق بحرانی (y_c) در انواع کانال‌ها ۹۲

بخش دوم: کاربرد مفهوم انرژی مخصوص در تحلیل برخی پدیده‌های هیدرولیکی ۹۸

۲-۲-۱- مقدمه ۹۸

۲-۲-۲- بررسی جریان عبوری از روی برآمدگی و فرورفتگی ۹۸

۲-۲-۳- بررسی جریان عبوری از محل تنگنا و باز شدگی ۱۰۲

۲-۲-۴- بررسی جریان در کانال‌ها در حضور چندین تغییر موضعی توأمان ۱۰۶

۲-۲-۵- بررسی پدیدهٔ انسداد و تحلیل جریان هنگام وقوع آن ۱۱۰

بخش سوم: مطالب تکمیلی کاربرد اصل انرژی و مفهوم انرژی مخصوص در کانال‌های باز ۱۲۶

۲-۳-۱- محاسبهٔ عمق بحرانی در انواع کانال‌ها با استفاده از منحنی‌های مربوطه ۱۲۶

۲-۳-۲- بررسی منحنی‌های $q-y$ ۱۲۷

تست‌های فصل دوم ۱۲۹

فصل سوم: کاربرد اصل اندازه حرکت و مفهوم نیروی مخصوص در کانال‌های باز

بخش اول: معرفی مفهوم نیروی مخصوص و منحنی $F-y$ ۱۶۴

۳-۱-۱- مقدمه ۱۶۴

۳-۱-۲- معرفی مفهوم نیروی مخصوص ۱۶۴

۳-۱-۳- منحنی $F-y$ و عمق‌های مزدوج ۱۶۷

۳-۱-۴- مقایسه‌ای بین مفاهیم انرژی مخصوص و نیروی مخصوص ۱۷۱

بخش دوم: تحلیل پدیده پرش هیدرولیکی ۱۷۳
۳-۲-۱- مقدمه ۱۷۳
۳-۲-۲- معرفی پرش هیدرولیکی ۱۷۳
۳-۲-۳- روابط حاکم بر پرش هیدرولیکی ۱۷۵
۳-۲-۴- تحلیل پرش هیدرولیکی با کمک منحنی $F - y$ ۱۷۹
بخش سوم: مطالب تکمیلی کاربرد اصل اندازه حرکت و مفهوم نیروی مخصوص در کانال‌های باز ۱۸۲
۳-۳-۱- مقایسهٔ کاربرد اصل انرژی و اصل اندازه حرکت در حل مسائل ۱۸۲
۳-۳-۲- راندمان پرش هیدرولیکی ۱۸۴
۳-۳-۳- پرش مستغرق در کانال‌ها ۱۸۵
تست‌های فصل سوم ۱۸۷

فصل چهارم: جریان‌های یکنواخت

بخش اول: تعاریف اولیه و محاسبات جریان یکنواخت ۲۰۶
۴-۱-۱- مقدمه ۲۰۶
۴-۱-۲- خصوصیات جریان یکنواخت ۲۰۶
۴-۱-۳- محاسبهٔ تنش برشی در جریان یکنواخت ۲۰۸
۴-۱-۴- محاسبات سرعت و دبی در جریان یکنواخت ۲۱۱
۴-۱-۵- مقایسهٔ روابط حاکم بر جریان یکنواخت و جریان متغیر تدریجی ۲۱۸
بخش دوم: محاسبه بهترین مقطع هیدرولیکی ۲۲۱
۴-۲-۱- مقدمه ۲۲۱
۴-۲-۲- اصول کلی طراحی بهینهٔ مقاطع هیدرولیکی ۲۲۱
۴-۲-۳- طراحی بهینهٔ انواع مقاطع هیدرولیکی ۲۲۲
بخش سوم: مطالب تکمیلی جریان‌های یکنواخت ۲۳۰
۴-۳-۱- ارتباط بین ضریب‌های ظاهر شده در رابطه‌های تجربی هیدرولیک ۲۳۰
۴-۳-۲- محاسبهٔ عمق نرمال با استفاده از رابطهٔ مانینگ ۲۳۱
تست‌های فصل چهارم ۲۳۵

فصل پنجم: جریان‌های متغیر تدریجی

بخش اول: مبانی جریان‌های متغیر تدریجی و نام‌گذاری آنها ۲۶۰
۵-۱-۱- مقدمه ۲۶۰
۵-۱-۲- تعاریف اولیه و نام‌گذاری پروفیل‌های متغیر تدریجی ۲۶۰
۵-۱-۳- معادلهٔ دینامیکی و خصوصیات انواع جریان‌های متغیر تدریجی ۲۷۰
بخش دوم: اصول ترسیم پروفیل‌های سطحی آب در شرایط مختلف ۲۷۸
۵-۲-۱- مقدمه ۲۷۸
۵-۲-۲- ترسیم پروفیل‌های سطحی در اتصال کانال‌ها با شیب‌های مختلف ۲۷۸
۵-۲-۳- ترسیم و تحلیل پروفیل‌های سطحی در حالت‌های خاص ۲۹۳
بخش سوم: مطالب تکمیلی جریان‌های متغیر تدریجی ۳۰۳
۵-۳-۱- ترسیم و تحلیل پروفیل‌های سطحی آب در کانال‌های افقی و معکوس ۳۰۳
۵-۳-۲- اتصال دو دریاچه (دو مخزن) توسط کانال با شیب ملایم ۳۰۷
۵-۳-۳- نقطهٔ کنترل ۳۰۹
۵-۳-۴- بررسی دقیق‌تر و اثبات معادلهٔ دینامیکی حاکم بر جریان‌های متغیر تدریجی ۳۱۰
۵-۳-۵- محاسبهٔ طول پروفیل‌های متغیر تدریجی ۳۱۱
تست‌های فصل پنجم ۳۱۳
آزمون‌های سراسری از سال ۱۳۹۴ به بعد ۳۴۸

سخن مؤلفان

هیدرولیک یکی از دروس مهم در رشتهٔ مهندسی عمران است که در ادامهٔ علم مکانیک سیالات مطرح می‌شود. این علم به‌صورت کاربردی به بررسی جریان در کانال‌ها و مجاری رو باز می‌پردازد که ضمن آن با پدیده‌های جالبی مثل پرش هیدرولیکی، انسداد و ... آشنا می‌شویم. بررسی تأسیسات هیدرولیکی نظیر دریچه‌ها، شیب‌شکن‌ها، سرریزها، تبدیل‌ها و ... همچنین تأثیر آنها بر جریان نیز از دیگر موضوعات قابل توجه در هیدرولیک می‌باشد که باعث جذابیت این علم شده است.

ما در اولین کتاب درسنامه محور هیدرولیک در سری عمران سعی کردیم تا با یک شیوهٔ آموزشی مناسب، جذابیت‌های این علم را به دانشجویان معرفی کنیم. خوشبختانه به یاری خداوند در این امر موفق بوده‌ایم به‌طوری‌که آن کتاب جزء پرفروش‌ترین کتاب‌های سری عمران بوده است. اما پس از گذشت سه سال از اولین چاپ آن کتاب، تصمیم گرفتیم تا تجربیات خود در این مدت را که حاصل تدریس در کلاس‌های کارشناسی ارشد متعدد و مطالعهٔ مراجع جدید و به روز دنیا می‌باشد، در قالب کتاب **نسل جدید هیدرولیک** به شما عزیزان ارائه کنیم. این کتاب حاصل یک سال تلاش بی‌وقفهٔ ما و سایر دوستان و همکارانمان در مؤسسه انتشاراتی سری عمران می‌باشد. کتابی که به جرأت مناسب‌ترین، روان‌ترین و منظم‌ترین نگارش را برای بیان و آموزش درس هیدرولیک دارد و شما با مطالعهٔ دقیق آن می‌توانید در آزمون کارشناسی ارشد، به سادگی و با خاطری آسوده به تمامی سؤالات درس هیدرولیک پاسخ دهید. زیرا:

- درسنامهٔ تمامی فصل‌های این کتاب به نحوی نوشته شده است که ضمن بیان مفاهیم اصلی و نکات مهم علم هیدرولیک، بسیار روان می‌باشد. به‌طوری‌که با مطالعهٔ هر قسمت از آن برای خواندن ادامهٔ مطالب مشتاق‌تر می‌شوید.
- تمرین‌های متن درس به‌گونه‌ای طراحی و انتخاب شده‌اند که یک روند آموزشی را دنبال کنند و مطالعهٔ درسنامه را ساده‌تر نمایند.
- برای جلوگیری از اتلاف وقت مهندسین عزیز، از پرداختن به توضیحات اضافی و بعضاً کم کاربرد در کنکور، در متن درس خودداری شده است. البته این مطالب را در انتهای هر فصل و در قالب قسمتی به نام بخش تکمیلی آورده‌ایم تا در صورت نیاز آن را مطالعه کنید.
- تست‌های تألیفی و نیز تست‌های آزمون‌های سراسری سال‌های گذشته که در انتهای هر فصل آمده‌اند مجموعه‌ای کامل از سؤالات استاندارد را فراهم می‌کنند و شما می‌توانید با حل آنها، بر مطالب خوانده شده در متن درس مسلط‌تر شوید.

در نگارش این اثر علیرغم تلاش مؤلفین، امکان اشتباهات سهوی وجود دارد. لذا از دوستان عزیز تقاضا می‌شود تا ما را در جهت رفع نقایص احتمالی این کتاب یاری نموده و در ضمن پیشنهادات و انتقادات خود را از طریق تالار گفتگوی سایت سری عمران به ما منتقل نمایند. در خاتمه نیز از مدیریت مؤسسه سری عمران جناب آقای دکتر شریفیان و عوامل اجرایی مؤسسه جناب آقای احمد فرزانه و سرکار خانم طاهره نجفی که تمام تلاش خود را در جهت ارائه هر چه بهتر این مجموعه به کار گرفتند، تشکر می‌کنیم. امید است تلاش مؤلفین در جهت ارائه این کتاب، مورد قبول دانشجویان و مهندسین گرامی قرار گیرد.

ساسان امیرافشاری
حسین فراهانی

بخش اول (تعاریف و مفاهیم اولیه هیدرولیک کانال‌های باز)

زیر شاخه‌های بخش اول

۱-۱-۱- مقدمه

۱-۱-۲- تفاوت‌های جریان در لوله‌ها و کانال‌ها

۱-۱-۳- انواع مقاطع و معرفی برخی از تأسیسات هیدرولیکی در کانال‌ها

۱-۱-۴- مشخصات و تعاریف هندسی در کانال‌ها

۱-۱-۵- طبقه‌بندی جریان‌های آزاد در کانال‌ها

۱-۱-۱- مقدمه

علت نام‌گذاری **هیدرولیک کانال‌های باز** آن است که جریان در کانال‌ها از یک طرف آزاد است. به آن معنی‌که سیال در یکی از مرزهای خود، در تماس با هوای آزاد می‌باشد. بنابراین جریان در آن مرز همواره تحت فشار ثابت اتمسفر قرار دارد. همچنین در این مرز، تنش برشی وارد بر جریان تقریباً برابر صفر است. این دو موضوع تفاوت‌هایی اساسی میان جریان‌های آزاد در کانال‌ها با جریان‌های تحت فشار در لوله‌ها ایجاد می‌کنند. شکل زیر نمونه‌ای از مقطع‌های جریان در کانال‌های باز و مجاری تحت فشار را نشان می‌دهد.

الف : جریان آزاد　　ب : جریان تحت فشار

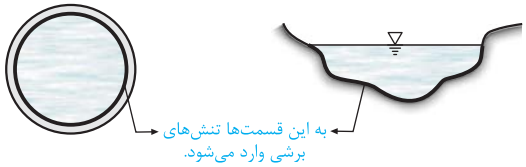
در این بخش می‌خواهیم ضمن بررسی بیشتر تفاوت‌های این دو نوع جریان، با یک سری تعاریف در هیدرولیک کانال‌های باز آشنا شویم. قسمت‌های مختلف این بخش عبارتند از:

تعاریف و مفاهیم اولیهٔ هیدرولیک کانال‌های باز
- تفاوت‌های جریان در لوله‌ها و کانال‌ها
- انواع مقاطع و معرفی برخی از تأسیسات هیدرولیکی در کانال‌ها
- مشخصات و تعاریف هندسی در کانال‌ها
- طبقه‌بندی جریان‌های آزاد در کانال‌ها

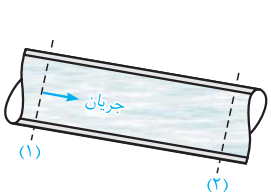
۱-۱-۲- تفاوت‌های جریان در لوله‌ها و کانال‌ها

همانطور که گفته شد، عامل اصلی تفاوت جریان در کانال‌ها نسبت به لوله‌ها، باز بودن یک مرز از کانال می‌باشد، مرزی غیر جامد که در آن، سیال در تماس با هوای آزاد می‌باشد. به سبب وجود این مرز تفاوت‌های زیر بین جریان در لوله و کانال ایجاد می‌شود:

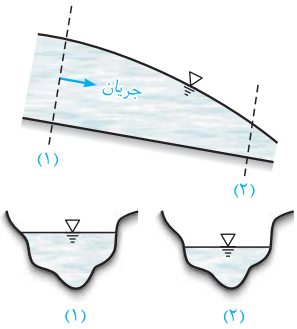
۱) در جریان تحت فشار، تمام مایع درون یک مرز جامد محصور شده است و بر دور تا دور سیالِ در حال جریان، تنش‌های برشی و نیروهای اصطکاکی وارد می‌شود. حال آن‌که در کانال‌های باز، یکی از مرزهای جریان محصور نبوده و در تماس با هوای آزاد می‌باشد. در این مرز تنش‌های برشی و نیروهای اصطکاکی (با صرف‌نظر کردن از اثر اصطکاک هوا) تقریباً برابر صفر می‌باشند.



۲ در یک لوله با قطر مشخص، سطح مقطع جریان ثابت است ولی در یک کانال با ابعاد مشخص، به علت باز بودن یک طرف، سطح مقطع جریان می‌تواند تغییر کند. این موضوع در شکل‌های زیر نشان داده شده است. ملاحظه می‌کنید که سطح مقطع کانال می‌تواند تا مقدارهای مختلفی پر باشد. حال آن‌که درلوله‌ها، جریان همواره از تمام سطح لوله عبور می‌کند.



در لوله هر دو مقطع (۱) و (۲)، کاملاً پر می‌باشند.



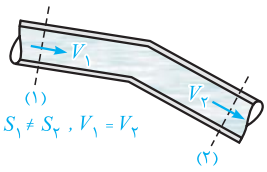
در کانال میزان پر بودن مقاطع (۱) و (۲) می‌تواند متفاوت باشد.

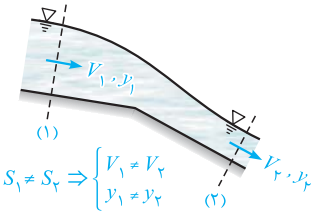
لازم به ذکر است شکل هندسی کانال‌ها دارای تنوع بیشتری نسبت به لوله ها می‌باشد. معمولاً سطح مقطع لوله‌ها به‌صورت دایروی است، حال آنکه کانال‌ها می‌توانند شکل‌های متنوعی همچون مستطیلی، مثلثی، ذوزنقه‌ای و ... داشته باشند.

۳ همانطور که قبلاً نیز گفته شده بود، جریان در لوله‌ها تحت فشار بوده و در کانال‌ها تحت فشار نسبی صفر (هوای آزاد) می‌باشد.

۴ کانال‌های باز شامل محدودهٔ وسیع‌تری از جریان‌ها مانند رواناب ناشی از بارندگی، نهر کوچک، رودخانه و ... می‌شوند.

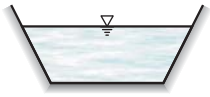
۵ در کانال‌های باز وابستگی بیشتری بین پارامترهای جریان وجود دارد. به عنوان مثال با فرض جریان دائمی در یک کانال، تغییرات شیب طولی کف (S)، زبری جداره و ... می‌توانند خصوصیات جریان (از جمله عمق و سرعت) را تغییر دهند. حال آن‌که در لوله‌ها (مجاری تحت فشار)، تنها در صورتی‌که قطر مقطع تغییر کند، سرعت جریان تغییر خواهد کرد.





۱-۱-۳- انواع مقاطع و معرفی برخی از تأسیسات هیدرولیکی در کانال‌ها

همانطورکه دیدیم که کانال‌ها شکل‌های مختلفی مثل ذوزنقه، مستطیل، دایره و ... دارند. اما اینکه کدام‌یک از این اشکال در طراحی کانال مورد استفاده قرار می‌گیرد به عوامل مختلفی بستگی دارد که در ادامه به آن خواهیم پرداخت.



کانال ذوزنقه‌ای: متداول‌ترین شکل کانال برای مقاصد آبیاری می‌باشد. همچنین در مواردی که پوشش جدارهٔ کانال خیلی سفت نیست، از این نوع کانال استفاده می‌شود. در این حالت شیب جدارهٔ کانال باید به‌نحوی انتخاب شود که مصالح جداره دچار لغزش نشده و پایین نریزند.

کانال مستطیلی: از این کانال نیز برای مقاصدی مشابه کانال ذوزنقه‌ای (آبیاری و آبرسانی) استفاده می‌شود. کانال‌های مستطیلی می‌توانند در مواردی که پوشش جدارهٔ کانال محکم می‌باشد، استفاده شوند. کالورت‌های زیر جاده‌ها نیز اصولاً به‌صورت مستطیلی طراحی می‌شوند.

کانال مثلثی: از کانال مثلثی نیز به منظور آبرسانی به مناطق مختلف استفاده می‌شود. از دیگر کاربردهای این کانال، انتقال جریان‌های با دبی و عمق کم (مثلاً آبروهای خیابان‌ها یا کنار جاده‌ها) و یا در مجاری آزمایشگاهی می‌باشد.

کانال دایروی: از این نوع کانال اصولاً در سیستم جمع‌آوری و انتقال فاضلاب استفاده می‌شود. اگر دبی جریان عبوری از کالورت زیر جاده‌ها کم باشد، می‌توان به‌جای کانال مستطیلی، از کانال دایروی استفاده نمود.

کانال‌های سهمی شکل: این نوع کانال معمولاً جهت تقریب زدن یک کانال طبیعی (رودخانه) به‌کار می‌رود.

علاوه بر مقاطع متداول و منتظم مذکور، ممکن است مقطع کانال به شکل ترکیبی و نامنتظم نیز ساخته شود. بدین ترتیب ملاحظه می‌کنید که شکل مقطع جریان در کانال‌ها، بسیار متنوع‌تر از لوله‌های تحت فشار می‌باشد.

تأسیسات هیدرولیکی در کانال‌ها

یکی از موضوعات جالب در بررسی جریان کانال‌ها و لوله‌ها، تأسیسات جریان می‌باشند که در مسیر حرکت سیال قرار می‌گیرند. در لوله‌ها تأسیساتی نظیر شیرهای کنترل، شیرهای تنظیم فشار، پمپ و توربین و ... در مسیر جریان سیال نصب می‌شود که در کتاب مکانیک سیالات در مورد آنها توضیح داده شده است. در این قسمت می‌خواهیم با برخی از تأسیسات هیدرولیکی در کانال‌ها، بیشتر آشنا شویم.

- **کالورت‌ها یا آبروهای زیرزمینی (*Culverts*):** از این تأسیسات به منظور عبور جریان آب از زیرگذرگاه‌ها (جاده‌ها) استفاده می‌شود. شکل مقطع کالورت‌ها عموماً به‌صورت مربعی یا مستطیلی و یا دایروی می‌باشد. نکتهٔ مهم در مورد کالورت آن است که هرگاه مجرای آن کاملاً پر از آب شود، می‌توان آن را مجرای تحت فشار به حساب آورد. در غیر این‌صورت کالورت را جزو دسته‌بندی‌های کانال‌ها در نظر می‌گیرند.
- **حوضچهٔ آرامش (*Stilling Basin*):** نام دیگر آن حوضچهٔ جهش آبی است. حوضچهٔ آرامش عبارت است از قسمتی کوتاه از یک کانال که بستر آن به‌صورت سازه‌ای خاص طراحی شده است. این تأسیسات عموماً در انتهای سرریزها قرار می‌گیرد تا ضمن تشکیل پرش هیدرولیکی، جریان فوق بحرانی ایجاد شدهٔ پس از سرریز را (که دارای سرعت و انرژی زیادی می‌باشد)، به حالت تحت بحرانی تبدیل کند.

همچنین گاهی برای کاهش هر چه بیشتر انرژی جریان خروجی از سرریز، از یک سری بلوک در کف حوضچهٔ آرامش استفاده می‌شود.

- **شیب‌شکن (*Drop*)**: نام دیگر آن آبشار آزاد (*The Free Overfall*) است که در آن کف کانال به‌صورت ناگهانی و به مقدار قابل توجهی، پایین برده می‌شود. در این صورت پس از شیب‌شکن، جریان از کف کانال جدا شده و به‌صورت جت آزاد پایین می‌ریزد. از این تأسیسات گاهی برای اندازه‌گیری دبی جریان استفاده می‌شود. چرا که عمق جریان روی شیب‌شکن، رابطهٔ خاصی با دبی جریان دارد.
- **تند آب یا شوت (*Chute*)**: هرگاه بخواهیم دو کانال با شیب کم را که در ترازهای مختلف قرار دارند (یکی بالاتر از دیگری است) به هم متصل کنیم، از یک کانال با شیب تند استفاده می‌کنیم که به آن تند آب یا شوت گفته می‌شود.
- **فلوم (*Flume*)**: به کانال‌های باریک حاوی جریان، فلوم گفته می‌شود. یکی از کاربردهای فلوم‌ها، در آزمایشگاه‌های هیدرولیک می‌باشد که به وسیلهٔ آنها پارامترهای مختلف جریان در کانال‌های باز را مطالعه می‌کنند. همچنین برای عبور دادن جریان‌های سطحی از بالای جاده‌ها نیز از این تأسیسات استفاده می‌شود. در این شرایط فلوم بر روی یک سری پایه با ارتفاع مورد نیاز در بالای جاده اجرا می‌شود.
- **انواع دریچه‌ها (*Gates*)**: دریچه‌ها تأسیساتی هستند که با مقاصد مختلف به‌کار برده می‌شود. کاربرد اصلی یک دریچه، نگهداشتن آب در پشت خود می‌باشد. البته درصورت لزوم دریچه باز شده و جریان را از خود عبور می‌دهد. از جمله محل‌های استفادهٔ دریچه می‌توان به تاج سرریز سدها و یا در محل خروج آب از مخزن یا دریاچه به کانال اشاره کرد. در ادامه به معرفی مهمترین دریچه‌های کاربردی در کانال‌ها می‌پردازیم.

الف) دریچهٔ قائم (*Vertical Gate*): به آن دریچهٔ کشویی نیز گفته می‌شود. برای باز یا بسته شدن این نوع دریچه از یک سری غلتک در کناره‌های آن استفاده می‌شود. اگر دریچه بسته باشد، نیروی وارد بر آن را به‌صورت هیدرواستاتیک به‌دست می‌آوریم. ولی در هنگام باز بودن دریچه، ازروابط دینامیکی (معادلهٔ اندازه حرکت) برای محاسبات نیرو استفاده خواهد شد.

ب) دریچه‌های قطاعی (*Trainter Gate*): به آنها دریچه‌های شعاعی (*Radial Gate*) نیز گفته می‌شود. این نوع دریچه‌ها هزینهٔ کمتر، ولی اجرای پیچیده‌تری نسبت به دریچه‌های قائم یا کشویی دارند.

- **انواع سرریزها (*Weirs*)**: به‌طور کلی سرریز تأسیساتی است که آب را در پشت خود جمع کرده و باعث می‌شود سرعت جریان به‌هنگام عبور از روی آن، بیشتر گردد. از مهمترین کاربردهای استفاده از سرریزها، اندازه‌گیری دبی جریان توسط آنها می‌باشد. سرریزها به دو دستهٔ کلی سرریز لبه تیز و سرریز لبه پهن تقسیم‌بندی می‌شوند که در ادامه با آنها آشنا می‌شویم.

الف) سرریز لبه تیز (*Sharp Crested Weir*): عبارت است از یک صفحهٔ قائم که جلوی جریان آب قرار می‌گیرد و جریان از روی آن و یا از داخل قسمتی از این صفحه که خالی است، عبور می‌کند. این قسمت خالی می‌تواند به شکل‌های مختلفی اجرا شود.

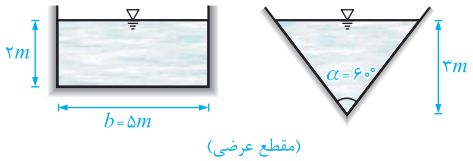
ب) سرریز لبه پهن (*Broad Crested Weir*): این نوع سرریزها دارای طول قابل ملاحظه‌ای در جهت جریان می‌باشند که این طول می‌تواند به‌صورت افقی و یا انحنادار اجرا شده باشد. از این تأسیسات عموماً به منظور اندازه‌گیری دبی و نیز در برخی مواقع نگهداشتن آب در پشت سرریز استفاده می‌شود.

● **سرریز کناری** (***Side Spillway***): تفاوت این سرریز با سایر نوع سرریزها در آن است که سرریز کناری در مقابل مسیر جریان قرار نمی‌گیرد. بلکه به موازات مسیر جریان در دیوارهٔ کانال اجرا می‌گردد. به این صورت که برای کنترل سرعت و عمق جریان و ایجاد جریان متغیر مکانی، قسمتی از یکی از جداره‌های طرفین کانال (اصولاً یا سمت چپ و یا سمت راست و نه هر دو با هم) کوتاهتر طراحی می‌شود تا اجازهٔ خروج جریان از آن قسمت داده شده باشد. هدف از ایجاد این نوع سرریز، کنترل سیلاب‌ها و نیز کنترل جریان‌های پر سرعت می‌باشد. توجه کنید که در اثر خروج جریان توسط این سرریز، عمق آب لزوماً کاهش نمی‌یابد! بلکه این موضوع مستلزم مطالعاتی است که در فصل دوم بیشتر به آن خواهیم پرداخت.

۱-۱-۴- مشخصات و تعاریف هندسی در کانال‌ها

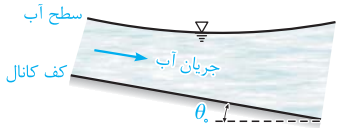
قبل از آنکه به معرفی مشخصات هندسی کانال‌ها بپردازیم، بیایید دو تعریف پر کاربرد در درس هیدرولیک را با هم مرور کنیم:

● **مقطع عرضی:** مقطعی است که شکل هندسی کانال و جزئیات آن را نشان می‌دهد. به‌عنوان مثال شکل‌های زیر، مقطع عرضی دو کانال مستطیلی و مثلثی را نمایش می‌دهند. ملاحظه می‌کنید که با کمک مقطع عرضی می‌توانیم جزئیات هندسهٔ کانال‌ها را ببینیم. یعنی عرض کف کانال مستطیلی، شیب جدارهٔ کانال مثلثی و همچنین ارتفاع آب داخل کانال، در این نوع مقطع دیده می‌شوند.



(مقطع عرضی)

● **مقطع طولی:** شکلی است که در آن نمای جانبی کانال نمایش داده می‌شود. در این نوع مقطع عمق آب در قسمت‌های مختلف جریان در طول کانال، شیب کف کانال نسبت به افق و تراز سطح آب در طول کانال نشان داده می‌شوند. به مقطع طولی، **پروفیل یا نیم‌رخ طولی** جریان نیز گفته می‌شود. شکل مقابل نمونه‌ای از مقطع یا پروفیل طولی یک جریان را نشان می‌دهد.

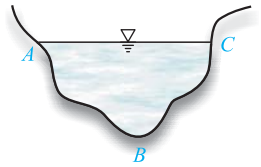


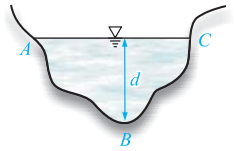
(پروفیل طولی)

حال به معرفی مشخصات هندسی کانال‌ها می‌پردازیم.

همانطور که در قسمت قبل نیز گفته شد یکی از بارزترین تفاوت‌های جریان در لوله‌ها و کانال‌های باز، شکل‌های بسیار متنوع مقاطع کانال‌های هیدرولیکی نسبت به لوله‌ها می‌باشد. در مکانیک سیالات عموماً منظور از لوله، یک مقطع دایروی است که قطر آن می‌تواند در طول جریان ثابت باشد و یا تغییر کند. ولی کانال‌ها می‌توانند با شکل‌های بسیار متنوعی اجرا شوند. یک کانال هیدرولیکی می‌تواند مقطعی مستطیلی، مثلثی، ذوزنقه‌ای، دایروی، سهمی، نعل اسبی و یا ترکیبی از این شکل‌های هندسی داشته باشد که در قسمت قبل برخی از کاربردهای هر یک از این مقاطع را دیدیم.

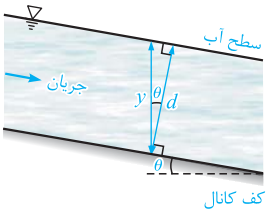
با توجه به این تفاوت‌ها، لازم است قدری بیشتر با هندسه مقطع کانال‌ها و تعاریف انجام شده در خصوص آن آشنا شویم. بدین منظور یک کانال دلخواه با مقطع عرضی نشان داده شده در شکل مقابل را در نظر گرفته و مشخصات هندسی آن را بررسی می‌نماییم.





● **عمق جریان (d)** : عبارت است از فاصلهٔ پایین‌ترین نقطه در کف کانال تا سطح آزاد جریان که آن را با d نمایش می‌دهند. در شکل داده شده، پایین‌ترین نقطهٔ مقطع در کف کانال، B می‌باشد و عمق d روی شکل مشخص شده است.

اگر پروفیل طولی کانال (که زاویهٔ آن نسبت به افق θ فرض می‌شود) را در نظر بگیریم، d فاصلهٔ عمودی پایین‌ترین نقطه در کف کانال تا سطح آب را نشان می‌دهد.



همانطور که در شکل نیز نشان داده شده است، فاصلهٔ کف کانال تا سطح جریان در راستای قائم (مختصات $x-y$) y نامیده می‌شود که در برخی مواقع از این پارامتر به‌عنوان عمق جریان تعبیر می‌گردد.

بنابراین به‌طور کلی دو بیان برای عمق جریان وجود دارد:

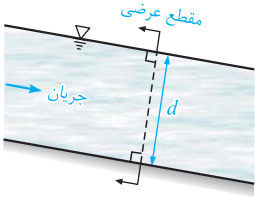
y : فاصلهٔ کف کانال تا سطح آب در راستای قائم (دستگاه مختصات $x-y$)

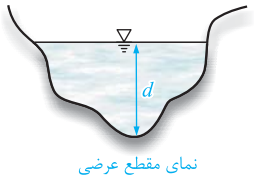
d: فاصلهٔ کف کانال تا سطح آب عمود بر کف کانال (عمود بر راستای جریان)

با توجه به هندسهٔ شکل، رابطهٔ بین این دو پارامتر به‌سادگی و به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

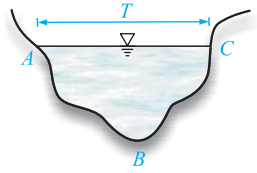
$$d = y \cos\theta \qquad (۱-۱)$$

● **سطح مقطع جریان (A)** : مساحت ناحیه‌ای از مقطع کانال که در اثر عبور آب پُر می‌شود را **سطح مقطع جریان** گویند. همانطور که در شکل نشان داده شده است، A را می‌توان به صورت مساحت مقطع در صفحهٔ عمود بر راستای جریان نیز تعریف کرد.

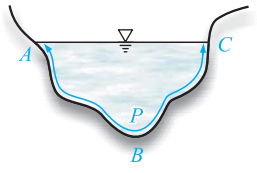




● **عرض سطح آزاد (T)**: طول مرزی از مقطع جریان که در آن، آب در تماس با هوای آزاد باشد را **عرض سطح آزاد** می‌نامیم. در شکل مقابل طول پاره‌خط AC برابر عرض سطح آزاد مقطع بوده و با حرف T نشان داده شده است. در واقع عرض سطح آزاد بیانگر طولی از مرز جریان می‌باشد که تنش برشی روی آن ایجاد نمی‌شود. (از اصطکاک هوا صرف‌نظر می‌کنیم)



● **پیرامون مرطوب (P)**: طول قسمتی از محیط مقطع کانال که توسط آب خیس شده است، **پیرامون مرطوب** و یا **محیط تر شده** نامیده می‌شود. در شکل مقابل، پیرامون مرطوب طول قسمت ABC می‌باشد. در واقع پیرامون مرطوب بیانگر طولی از مرز جریان می‌باشد که در آن، آب در تماس با جدارهٔ جامد بوده و تنش‌های برشی روی آن ایجاد می‌شوند.



تذکر: با کمی دقت می‌توان دریافت که مجموع P و T، برابر محیط مقطع عرضی کانال می‌باشد ولی در یکی (P) تنش‌های برشی و نیروهای اصطکاکی ایجاد شده و در دیگری (T) این تنش‌ها و نیروها تقریباً برابر صفر می‌باشند. لذا اثر این دو مرز بر روی جریان، کاملاً متفاوت است.

● **شعاع هیدرولیکی (R)**: در محاسبات هیدرولیکی، نسبت مساحت مقطع جریان (A) به پیرامون مرطوب (P) به دفعات ظاهر می‌شود. این نسبت پرکاربرد را **شعاع هیدرولیکی** مقطع نامیده و آن را با R نشان می‌دهیم.

$$R = \frac{A}{P} \qquad (۱-۲)$$

● **عمق هیدرولیکی (D)**: مشابه تعریف شعاع هیدرولیکی، نسبت مساحت مقطع جریان (A) به عرض سطح آزاد (T) نیز به‌وفور در محاسبات هیدرولیکی ظاهر می‌گردد. این نسبت پر کاربرد را **عمق هیدرولیکی** مقطع می‌نامیم و آن را با D نمایش می‌دهیم.

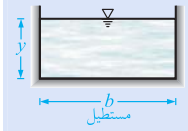
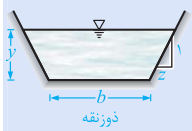
$$D = \frac{A}{T} \qquad (۱-۳)$$

پارامترهای هندسی فوق، مهمترین پارامترهای هندسی در کانال‌های باز می‌باشند که کاربرد زیادی در روابط هیدرولیک دارند. لذا باید بتوانیم برای انواع مقاطع، آنها را به‌دست آوریم. به‌طور کلی جهت محاسبهٔ پارامترهای هندسی مقاطع، دو روش وجود دارد:

الف) استفاده از جدول **ب)** محاسبهٔ پارامترها با استفاده از روابط هندسی

در ادامه به بررسی هر یک از این روش‌ها می‌پردازیم.

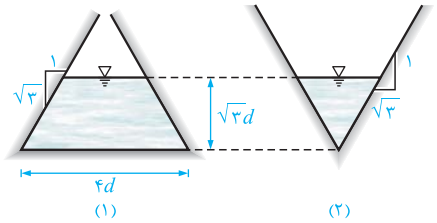
الف) استفاده از جدول: جدول زیر مشخصات هندسی مقاطع منتظم، مهم و پرکاربرد در هیدرولیک کانال‌های باز را نشان می‌دهد.

شکل مقطع	مساحت (A)	عرض سطح آزاد (T)	پیرامون مرطوب (P)	شعاع هیدرولیکی ($R=\frac{A}{P}$)	عمق هیدرولیکی ($D=\frac{A}{T}$)
 مستطیل	by	b	$b+۲y$	$\frac{by}{b+۲y}$	y
مثلث	$zy^۲$	$۲zy$	$۲y\sqrt{۱+z^۲}$	$\frac{zy}{۲\sqrt{۱+z^۲}}$	$\frac{y}{۲}$
 ذوزنقه	$(b+zy)y$	$b+۲zy$	$b+۲y\sqrt{۱+z^۲}$	$\frac{(b+zy)y}{b+۲y\sqrt{۱+z^۲}}$	$\frac{(b+zy)y}{b+۲zy}$
دایره	$\frac{\pi d^۲}{۴}$	تعریف نمی‌شود	πd	$\frac{d}{۴}$	تعریف نمی‌شود
نیم‌دایره	$\frac{\pi r^۲}{۲}$	$۲r$	πr	$\frac{r}{۲}$	$\frac{\pi r}{۴}$

تست‌های فصل اول

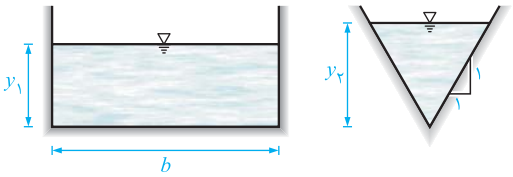
سؤالات تألیفی

۱- آب با عمق $\sqrt{۳}d$ در یک کانال مثلثی و یک کانال مثلثی وارونه در جریان است. نسبت شعاع هیدرولیکی کانال‌ها $(\frac{R_۱}{R_۲})$ چقدر است؟ (می‌دانیم کانال‌ها تا نصف ارتفاعشان پر شده‌اند.)



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

۲- سطح مقطع و محیط تر شدهٔ کانال‌های شکل زیر با هم برابر است. در این صورت نسبت $\frac{y_۲}{y_۱}$ چقدر است؟

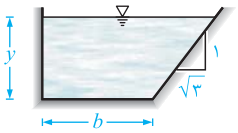


۱) $\sqrt{۳}$
۲) ۲
۳) $\sqrt{۲}$
۴) $۲\sqrt{۲}$

۳- در یک کانال مستطیلی با عرض ثابت، اگر عمق جریان ۲ برابر شود، شعاع هیدرولیکی (R) و عمق هیدرولیکی (D) به‌ترتیب چند برابر خواهند شد؟

۱) شعاع هیدرولیکی و عمق هیدرولیکی هر دو، دو برابر می‌شوند.
۲) شعاع هیدرولیکی بیشتر از دو برابر می‌شود و عمق هیدرولیکی دو برابر می‌شود.
۳) شعاع هیدرولیکی کمتر از دو برابر می‌شود، عمق هیدرولیکی دو برابر می‌شود.
۴) شعاع هیدرولیکی و عمق هیدرولیکی هر دو، کمتر از دو برابر می‌شوند.

۴- در کانال شکل زیر، نسبت شعاع هیدرولیکی مقطع به عمق هیدرولیکی در دو حالت عریض و عمیق برای کانال به‌ترتیب چقدر است؟

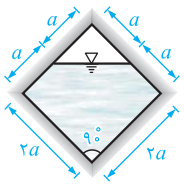


۱) $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$ و $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$
۲) $\sqrt{۳}$ و ۱
۳) $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$ و ۱
۴) $\frac{\sqrt{۳}}{۳}$ و ۱

۵- در یک کانال نیم‌دایروی کاملاً پر، شعاع هیدرولیکی جریان ..... عمق و عمق هیدرولیکی کانال ..... عمق جریان می‌باشند. ($\pi \simeq ۳$)

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

۶- عمق هیدرولیکی کانال شکل مقابل، چند برابر عمق جریان است؟



۱) $\frac{۷}{۶}$ ۲) $\frac{۷}{۳}$
۳) $\frac{۷}{۲}$ ۴) $\frac{۷}{۴}$

۷- آب در یک کانال مثلثی با عمق m ۰/۸ در جریان است. اگر شیب جدارهٔ کانال ۱:۱ باشد و بدانیم وضعیت جریان بحرانی است، دبی عبوری از کانال چقدر خواهد بود؟

۱) ۲/۲۸ ۲) ۱/۲۸ ۳) ۱/۵۶ ۴) ۲/۵۶

۸- کدام گزینه جزو شرایط یک جریان غیریکنواخت تدریجی و دائمی نمی‌باشد؟

۱) $\frac{dQ}{dt}=۰$ و $\frac{dQ}{dx}\neq ۰$ ۲) $\frac{dQ}{dt}=۰$ و $\frac{dV}{dx}\neq ۰$ ۳) $\frac{dy}{dt}=۰$ و $\frac{dQ}{dx}=۰$ ۴) $\frac{dy}{dt}=۰$ و $\frac{dy}{dx}\neq ۰$

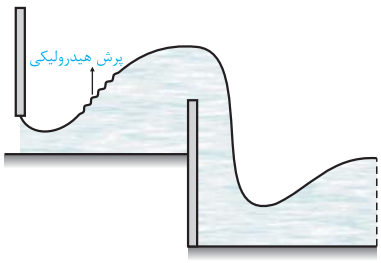
۹- در یک کانال مستطیلی، حداکثر دبی جریان ۸ متر مکعب بر ثانیه و حداقل آن ۱ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. اگر در حالت اول (دبی حداکثر) رژیم جریان بحرانی و عمق آب ۲۰ سانتی‌متر باشد و عمق جریان در هنگام دبی حداقل ۱۰ سانتی‌متر باشد، رژیم جریان در این حالت (دبی حداقل) کدام است؟

۱) فوق‌بحرانی ۲) تحت‌بحرانی
۳) بحرانی ۴) با توجه به شیب کانال می‌تواند فوق‌بحرانی یا تحت‌بحرانی باشد.

۱۰- در یک کانال با شیب $\theta = ۳۰^\circ$، در صورتی که ضریب تصحیح انرژی برابر $\alpha = ۱/۲$ باشد، عدد فرود برابر کدام‌یک از مقادیر زیر می‌باشد؟

۱) $Fr^۲=\frac{V^۲}{gD}$ ۲) $Fr^۲=\frac{۱/۴۴V^۲}{gD}$ ۳) $Fr^۲=\frac{۲\sqrt{۳}}{۳}\frac{V^۲}{gD}$ ۴) $Fr^۲=۰/۸\sqrt{۳}\frac{V^۲}{gD}$

۱۱- حالت‌های مختلف جریان دائمی در شکل زیر به‌ترتیب کدام‌یک می‌باشد؟

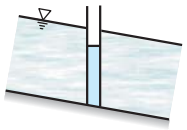


۱) جریان متغیر سریع، جریان متغیر تدریجی، جریان متغیر سریع، جریان متغیر تدریجی، جریان متغیر سریع، جریان متغیر تدریجی
۲) جریان متغیر سریع، جریان متغیر تدریجی، جریان متغیر سریع، جریان متغیر سریع، جریان متغیر تدریجی
۳) جریان متغیر تدریجی، جریان متغیر سریع، جریان متغیر تدریجی، جریان متغیر سریع، جریان متغیر تدریجی
۴) جریان متغیر تدریجی، جریان متغیر سریع، جریان متغیر سریع، جریان متغیر تدریجی

۱۲- درصورتی‌که در یک کانال مستطیلی با دبی ثابت، عمق جریان $\frac{۳}{۴}$ برابر و عرض کانال $\frac{۱}{۳}$ برابر گردد، عدد فرود جریان چند برابر می‌شود؟

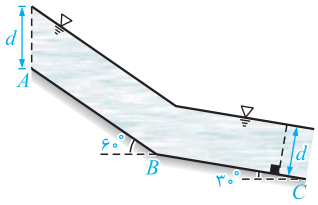
۱) $\frac{۲}{\sqrt{۳}}$ ۲) $\frac{۸}{\sqrt{۳}}$ ۳) $\frac{۴}{\sqrt{۳}}$ ۴) $\frac{۱۶}{\sqrt{۳}}$

۱۳- ارتفاع آب داخل پیزومتر نصب شده در کف کانال $64\,cm$ بوده و سطح آب داخل پیزومتر، $16\,cm$ پایین‌تر از سطح آب در کانال می‌باشد. در این صورت زاویهٔ کف کانال با راستای افق چقدر است؟



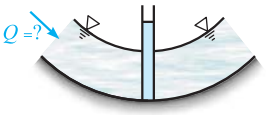
۱) ۶۰
۲) ۳۰
۳) $\cos^{-1}0/8$
۴) $\cos^{-1}\sqrt{0/8}$

۱۴- آب در یک کانال مستطیلی مطابق شکل جریان دارد. شیب کانال در قسمت AB بیشتر از قسمت BC است. اگر فشار در کف کانال در طول AB برابر P_0 باشد، فشار در کف کانال در طول BC چقدر خواهد بود؟



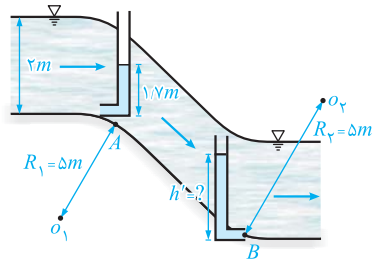
۱) $\frac{\sqrt{3}}{2}P_0$
۲) $\sqrt{3}P_0$
۳) $2\sqrt{3}P_0$
۴) $3P_0$

۱۵- در یک کانال مصنوعی با مقطع مستطیل به عرض کف ۲/۵ متر، در مقطعی که دارای انحنا مطابق شکل می‌باشد، پیزومتری در کف کانال نصب شده است. ارتفاع آب داخل پیزومتر $2/2\,m$ است حال آن که عمق آب در این قسمت $2\,m$ می‌باشد. اگر انحنای کف کانال $0/1\,m^{-1}$ باشد، دبی عبوری چند m^3/s خواهد بود؟



۱) $5\sqrt{10}$
۲) $10\sqrt{5}$
۳) $15\sqrt{10}$
۴) ۱۵

۱۶- مطابق شکل زیر، کانالی مستطیلی طراحی شده است. جهت اتصال کف کانال در قسمت‌های با شیب کم به قسمت‌های شیب‌دار، از قوس‌های مشابه با شعاع انحنای ۵ متر برای کف کانال نسبت به مرکز دوران، استفاده می‌شود. اگر عمق جریان در این مسیر تغییر نکند، با توجه به قرائت پیزومتر A، قرائت پیزومتر B چند m و دبی کانال چند m^3/s می‌باشند؟ (زاویهٔ نصب پیزومترها نسبت به افق ناچیز و عرض کانال $2\,m$ می‌باشد.)



۱) ۶ و ۲/۴۵
۲) ۶ و ۲/۳۶
۳) ۱۲ و ۲/۴۵
۴) ۱۲ و ۲/۳۶

۱۷- سطح آب در یک رودخانه هنگام بارندگی، در مقطع مورد مطالعه با شدت $0/002\,m/s$ در حال افزایش بوده و دبی جریان در این مقطع $23\,m^3/s$ اندازه‌گیری شده است. اگر عرض بالای سطح آب در تمام طول رودخانه ثابت و برابر $20\,m$ باشد، دبی جریان در ۱۰۰ متر بالا دست مقطع مورد مطالعه به کدام عدد نزدیک‌تر است؟

۱) ۲۵
۲) ۲۱
۳) ۲۷
۴) ۱۹

پاسخ تست‌های فصل اول

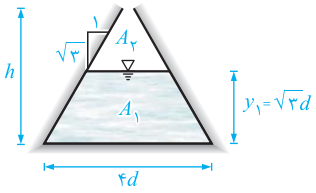
۱- (۳)

طبق تعریف، $R=\frac{A}{P}$ می‌باشد. بنابراین نسبت خواسته شده به‌صورت زیر نوشته می‌شود:

$$R=\frac{A}{P}\Rightarrow\frac{R_1}{R_2}=\frac{\frac{A_1}{P_1}}{\frac{A_2}{P_2}}=\frac{A_1}{A_2}\times\frac{P_2}{P_1}$$

حال به محاسبهٔ A و P در مقاطع (۱) و (۲) می‌پردازیم.

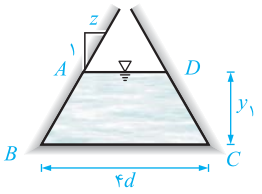
مقطع (۱): با توجه به آنکه کانال تا نصف ارتفاعش پر شده است، ارتفاع مثلث خالی در بالای این مقطع نصف ارتفاع کل مقطع خواهد بود. به‌همین جهت طبق قضیهٔ تالس، قاعدهٔ مثلث کوچکتر نیز نصف قاعدهٔ مقطع می‌شود. در نهایت می‌توان گفت مساحت مثلث خالی کوچک‌تر در بالای مقطع (A_2)، $\frac{1}{4}$ مساحت کل بوده و در نتیجه مساحت قسمت پُر (یا همان A_1)، $\frac{3}{4}$ مساحت کل کانال مثلثی داده شده می‌شود. حال می‌نویسیم:



$$\begin{cases}A_1=\frac{3}{4}A_{کل}=\frac{3}{4}z_1h^2\\ z_1=\frac{\text{افقی}}{\text{قائم}}=\frac{1}{\sqrt{3}}=\frac{\sqrt{3}}{3}\\ h=2y_1=2\times\sqrt{3}\,d=2\sqrt{3}\,d\end{cases}$$

$$\Rightarrow A_1=\frac{3}{4}\times\frac{\sqrt{3}}{3}\times(2\sqrt{3}\,d)^2=3\sqrt{3}\,d^2$$

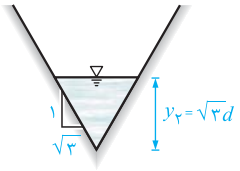
همچنین پیرامون مرطوب مقطع برابر است با:



$$\begin{cases}P=\overline{AB}+\overline{BC}+\overline{CD}\\ \overline{AB}=\overline{CD}=y_1\sqrt{1+z_1^2}\end{cases}\Rightarrow P_1=2y_1\sqrt{1+z_1^2}+4d$$

$$=2\times\sqrt{3}\,d\times\sqrt{1+(\frac{\sqrt{3}}{3})^2}+4d=8d$$

مقطع (۲): در این مقطع که یک کانال مثلثی می‌باشد، A_2 و P_2 برابرند با:



$$A_2=z_2y_2^2=\sqrt{3}\times(\sqrt{3}\,d)^2=3\sqrt{3}\,d^2$$

$$P_2=2y_2\sqrt{1+z_2^2}=2\times\sqrt{3}\,d\times\sqrt{1+(\sqrt{3})^2}=4\sqrt{3}\,d$$

بنابراین نسبت خواسته شده برابر است با:

$$\frac{R_1}{R_2}=\frac{A_1}{A_2}\times\frac{P_2}{P_1}=\frac{3\sqrt{3}d^2}{3\sqrt{3}d^2}\times\frac{4\sqrt{3}d}{8d}=\frac{\sqrt{3}}{2}$$

۲- (۳)

$$P_۱=P_۲ \Rightarrow ۲y_۱+b=۲y_۲\sqrt{۱+z^۲} \Rightarrow ۲y_۱+b=۲y_۲\sqrt{۱+۱^۲} \Rightarrow ۲y_۱+b=۲\sqrt{۲}y_۲ \quad (I)$$

$$A_۱=A_۲ \Rightarrow by_۱=z\,y_۲^۲=۱\times y_۲^۲=y_۲^۲ \Rightarrow b=\frac{y_۲^۲}{y_۱} \qquad (II)$$

$$(I) \text{ از } (II) \text{ و } \Rightarrow ۲y_۱+\frac{y_۲^۲}{y_۱}=۲\sqrt{۲}y_۲ \Rightarrow (\frac{y_۲}{y_۱})^۲-۲\sqrt{۲}(\frac{y_۲}{y_۱})+۲=۰ \Rightarrow \frac{y_۲}{y_۱}=\sqrt{۲}$$

۳- (۳)

$$R=\frac{A}{P}=\frac{by}{b+۲y} \Rightarrow \frac{R_۲}{R_۱}=\frac{\frac{by_۲}{b+۲y_۲}}{\frac{by_۱}{b+۲y_۱}}=\frac{y_۲}{y_۱}\times\frac{b+۲y_۱}{b+۲y_۲}$$

$$y_۲=۲y_۱ \Rightarrow \frac{y_۲}{y_۱}=۲ \;,\; \frac{b+۲y_۱}{b+۲y_۲}=\frac{b+۲y_۱}{b+۴y_۱} \Rightarrow \frac{۱}{۲}<\frac{b+۲y_۱}{b+۲y_۲}<۱$$

$$\Rightarrow ۲\times\frac{۱}{۲}<\frac{R_۲}{R_۱}<۲\times۱ \Rightarrow \frac{R_۲}{R_۱}<۲ \Rightarrow R_۲<۲R_۱$$

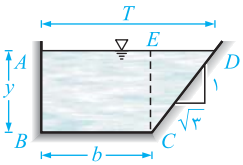
یعنی شعاع هیدرولیکی کمتر از ۲ برابر می‌شود. همچنین با توجه به این‌که در کانال مستطیلی $D=y$ می‌باشد، با دو برابر شدن عمق جریان، عمق هیدرولیکی دقیقاً دو برابر می‌شود.

۴- (۴)

با توجه به روابط شعاع هیدرولیکی $(R=\frac{A}{P})$ و عمق هیدرولیکی $(D=\frac{A}{T})$، نسبت خواسته شده برابر است با:

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

بنابراین باید روابط مربوط به T (عرض سطح آزاد) و P (پیرامون مرطوب) را برای این مقطع بیابیم. بدین منظور با کمی محاسبات هندسی (تشابه و قضیهٔ فیثاغورث) می‌توان نوشت:



$$\begin{cases} T=\overline{AE}+\overline{ED} \;,\; \overline{AE}=b \\ \text{از تشابه مثلث‌ها}: \dfrac{\overline{ED}}{\sqrt{۳}}=\dfrac{y}{۱} \Rightarrow \overline{ED}=y\sqrt{۳} \end{cases} \Rightarrow T=b+y\sqrt{۳}$$

$$\begin{cases} P=\overline{AB}+\overline{BC}+\overline{CD} \\ \text{از فیثاغورث}: \overline{CD}=\sqrt{\overline{EC}^۲+\overline{ED}^۲}=\sqrt{y^۲+(y\sqrt{۳})^۲}=۲y \end{cases}$$

$$\Rightarrow P=y+b+۲y=۳y+b$$

$$\Rightarrow \frac{R}{D}=\frac{T}{P}=\frac{b+y\sqrt{۳}}{۳y+b}$$

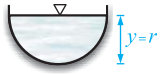
حال می‌توان نسبت خواسته شده $(\frac{R}{D})$ را در حالت‌های عریض و عمیق به‌دست آورد:

$$(b >> y) \text{ کانال عریض } \Rightarrow \frac{R}{D} = \frac{b + y\sqrt{۳}}{۳y + b} \simeq \frac{b}{b} = ۱$$

$$(y >> b) \text{ کانال عمیق } \Rightarrow \frac{R}{D} = \frac{b + y\sqrt{۳}}{۳y + b} \simeq \frac{y\sqrt{۳}}{۳y} = \frac{\sqrt{۳}}{۳}$$

۵- (۳)

شکل زیر مقطع این کانال را نشان می‌دهد. با توجه به شکل می‌توان نوشت:

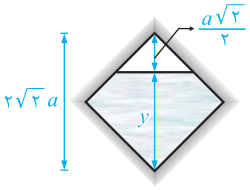


$$R = \frac{A}{P} = \frac{\frac{\pi r^۲}{۲}}{\pi r} = \frac{r}{۲} = \frac{y}{۲}$$

$$D = \frac{A}{T} = \frac{\frac{\pi r^۲}{۲}}{۲r} = \frac{\pi}{۴} r = \frac{۳}{۴} y$$

۶- (۱)

با توجه به شکل عمق جریان برابر می‌شود با:



$$y = ۲\sqrt{۲}a - \frac{\sqrt{۲}}{۲}a = \frac{۳\sqrt{۲}}{۲}a$$

همچنین عمق هیدرولیکی جریان به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\begin{cases} D = \frac{A}{T} \\ A = \underbrace{۲a \times ۲a}_{\text{مساحت کل}} - \underbrace{\frac{۱}{۲} \times a \times a}_{\text{مساحت مثلث خالی}} = \frac{۷}{۲}a^۲ \\ T = a\sqrt{۲} \end{cases} \Rightarrow D = \frac{\frac{۷}{۲}a^۲}{a\sqrt{۲}} = \frac{۷\sqrt{۲}}{۴}a$$

در نهایت نسبت عمق هیدرولیکی به عمق جریان برابر می‌شود با:

$$\frac{D}{y} = \frac{\frac{۷\sqrt{۲}}{۴}a}{\frac{۳\sqrt{۲}}{۲}a} = \frac{۷}{۶}$$

۷- (۲)

می‌دانیم در وضعیت بحرانی $Fr = ۱$ است.

$$\begin{cases} Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} = ۱ \\ \text{کانال مثلثی} : D = \frac{y}{۲} = \frac{۰/۸}{۲} = ۰/۴\ m \end{cases} \Rightarrow \frac{V}{\sqrt{۱۰ \times ۰/۴}} = ۱ \Rightarrow V = ۲\ m/s$$

بنابراین دبی عبوری از کانال برابر است با:

$$\begin{cases} Q = VA \\ A = zy^۲ = ۱ \times ۰/۸^۲ = ۰/۶۴\ m^۲ \end{cases} \Rightarrow Q = ۲ \times ۰/۶۴ = ۱/۲۸\ m^۳/s$$