



بناهای آبی

مهندس احمدرضا کریمی پور

«عضو هیئت علمی بخش تحقیقات آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی
استان چهارمحال بختیاری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شهرکرد، ایران»

دکتر حمیدرضا شیبانی

«عضو هیئت علمی دانشگاه پیام نور»

امروز کتابخوانی و علم‌آموزی نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است!

مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه مطالعه هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین سوره‌ای که بر آن فرستاده عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد

1. <https://farsi.khamenei.ir/message-content?id=2696>

شده است: «إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره جغرافیایی ایران شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

پیشگفتار.....	یازده
فصل اول. طراحی کانال.....	۱
هدف کلی.....	۱
هدف‌های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ طراحی هیدرولیکی کانال.....	۱
۱-۱-۱ شکل هندسی مقطع کانال.....	۲
۲-۱-۱ جنس پوشش کانال.....	۲
۳-۱-۱ شیب جداره کانال.....	۳
۴-۱-۱ شیب طولی کانال.....	۳
۵-۱-۱ ضریب زبری در کانال فرسایش پذیر.....	۴
۶-۱-۱ ارتفاع آزاد کانال.....	۵
۷-۱-۱ سرعت جریان در کانال.....	۶
۸-۱-۱ مسیریابی کانال انتقال آب.....	۷
۹-۱-۱ طراحی کانال‌های پوشش دار.....	۷
۱۰-۱-۱ طراحی کانال‌های بدون پوشش.....	۱۱
۲-۱ مسیر کانال آبیاری.....	۲۱
۳-۱ انواع پوشش برای کانال.....	۲۳
۱-۳-۱ پوشش با مصالح خاکی.....	۲۳
۲-۳-۱ پوشش با مصالح بنایی.....	۲۴
۳-۳-۱ پوشش با مصالح قیری.....	۲۸
۴-۱ نیروی زیر فشار.....	۲۹
۵-۱ درزها.....	۲۹
۶-۱ احجام خاک برداری و خاک ریزی.....	۳۰
۷-۱ خاکریزها و جاده سرویس.....	۳۲
۸-۱ عرض سکوی کانال.....	۳۲
۹-۱ شعاع انحناء کانال.....	۳۳
خودآزمایی فصل اول.....	۳۴
فصل دوم. سرریز و حوضچه آرامش.....	۳۵
هدف کلی.....	۳۵

۳۵	هدف‌های یادگیری.....
۳۵	مقدمه.....
۳۶	۱-۲ انواع شکل‌های هندسی سرریز در کانال.....
۳۷	۲-۲ سرریز لبه نازک.....
۳۷	۱-۲-۲ سرریز لبه نازک مستطیلی.....
۴۳	۲-۲-۲ سرریز لبه نازک مثلثی.....
۴۵	۳-۲-۲ سرریز لبه نازک دایره در پلان.....
۴۶	۴-۲-۲ سرریزهای لبه نازک دوزنقه‌ای، سهموی و دایره‌ای.....
۴۷	۵-۲-۲ سرریز لبه نازک سیپولتی.....
۴۷	۶-۲-۲ سرریز لبه نازک ساترو.....
۴۹	۳-۲ سرریز لبه پهن.....
۴۹	۱-۳-۲ سرریز لبه پهن مستطیلی.....
۵۱	۲-۳-۲ دسته‌بندی سرریزهای لبه پهن مستطیلی.....
۵۱	۴-۲ سرریزهای مستغرق.....
۵۴	۵-۲ سرریز برای تخلیه سیلاب.....
۵۶	۱-۵-۲ سرریز اوجی.....
۷۹	۲-۵-۲ سرریز جانبی.....
۸۰	۳-۵-۲ سرریز نیلوفری.....
۸۱	۴-۵-۲ سرریز پلکانی.....
۸۳	۶-۲ سیلاب طراحی سرریز.....
۸۵	۷-۲ حوضچه‌های آرامش.....
۸۸	۱-۷-۲ حوضچه‌های آرامش با وقوع پرش هیدرولیکی.....
۱۰۰	خودآزمایی فصل دوم.....
۱۰۳	فصل سوم. سازه‌های هیدرولیکی.....
۱۰۳	هدف کلی.....
۱۰۳	هدف‌های یادگیری.....
۱۰۳	مقدمه.....
۱۰۴	۱-۳ دریچه‌ها.....
۱۰۵	۱-۱-۳ دریچه کشویی.....
۱۰۹	۲-۱-۳ دریچه قطاعی.....
۱۱۲	۲-۳ شیب‌شکن.....
۱۱۲	۱-۲-۳ شیب‌شکن عمودی.....
۱۱۴	۲-۲-۳ شیب‌شکن مایل.....
۱۱۵	۳-۳ کالورت یا زیرگذرآبی.....
۱۱۵	۱-۳-۳ شرایط گذر جریان آزاد در کالورت.....

۱۱۷	..... ۲-۳-۳ گذر جریان تحت فشار در کالورت
۱۱۹	..... ۴-۳ تبدیل
۱۱۹	..... ۱-۴-۳ انواع تبدیل ها
۱۲۰	..... ۲-۴-۳ تبدیل ها در جریان زیر بحرانی
۱۲۳	..... ۳-۴-۳ تبدیل در جریان فوق بحرانی
۱۳۰	..... ۵-۳ آبیگری از رودخانه
۱۳۱	..... ۱-۵-۳ روش های مختلف آبیگری از رودخانه
۱۳۱	..... ۲-۵-۳ حوضچه رسوب گیر
۱۳۲	..... ۳-۵-۳ سرعت ته نشین شدن دانه رسوب در آب ساکن
۱۳۴	..... ۴-۵-۳ ابعاد حوضچه رسوب گیر
۱۳۵	..... خودآزمایی فصل سوم
۱۳۷	..... فصل چهارم. ضربه آبی
۱۳۷	..... هدف کلی
۱۳۷	..... هدف های یادگیری
۱۳۷	..... مقدمه
۱۳۸	..... ۱-۴ دیدگاه های متفاوت تحلیل پدیده ضربه آبی
۱۳۹	..... ۲-۴ علل ایجاد پدیده ضربه آبی و عوامل مؤثر بر آن
۱۴۱	..... ۳-۴ معادلات دیفرانسیلی حاکم بر ضربه آبی
۱۴۱	..... ۴-۴ فشار ناشی از ضربه آبی در بستن شیر
۱۴۳	..... ۵-۴ زمان رسیدن به حالت پایدار جریان در حالت رفتار صلب ستون سیال
۱۴۴	..... ۶-۴ مطالعه پدیده ضربه آبی با تئوری رفتار الاستیک
۱۴۵	..... ۷-۴ سرعت انتقال امواج فشاری در لوله
۱۴۷	..... ۸-۴ فشار ناشی از ضربه آبی
۱۴۹	..... ۹-۴ تأثیر هوا یا گاز محلول، بر پدیده ضربه آبی
۱۴۹	..... ۱-۹-۴ جدایی ستون آب یا کاویتاسیون
۱۵۰	..... ۱۰-۴ اقدامات حفاظتی برای کنترل ضربه آبی
۱۵۰	..... ۱-۱۰-۴ شیرهای ایمنی
۱۵۰	..... ۲-۱۰-۴ لوله رانش پمپ بر اساس سرعت کم
۱۵۰	..... ۳-۱۰-۴ مخزن موج گیر
۱۵۴	..... ۴-۱۰-۴ شیرهای یک طرفه با سرعت بسته شدن زیاد
۱۵۴	..... ۵-۱۰-۴ سیستم های الکتریکی دور متغیر در ایستگاه های پمپاژ
۱۵۵	..... ۶-۱۰-۴ چرخ طیار
۱۵۵	..... ۷-۱۰-۴ لوله کنارگذر پمپ
۱۵۵	..... خودآزمایی فصل چهارم

۱۵۷	فصل پنجم. شیرآلات.....
۱۵۷	هدف کلی.....
۱۵۷	هدف‌های یادگیری.....
۱۵۷	مقدمه.....
۱۵۷	۱-۵ شیر کشویی یا دروازه‌ای.....
۱۵۸	۱-۱-۵ انواع شیر کشویی از منظر آب‌بندی.....
۱۶۰	۲-۵ شیر گلوله‌ای یا توپی.....
۱۶۱	۱-۲-۵ انواع شیر توپی از منظر مجرای شیر.....
۱۶۳	۲-۲-۵ انواع شیر توپی از منظر مهار گوی.....
۱۶۵	۳-۵ شیر یک‌طرفه.....
۱۶۵	۱-۳-۵ شیر یک‌طرفه نوسانی.....
۱۶۶	۲-۳-۵ شیر یک‌طرفه فشاری یا بالارونده یا پیستونی.....
۱۶۶	۳-۳-۵ شیر یک‌طرفه کره‌ای (توپی).....
۱۶۷	۴-۳-۵ شیر یک‌طرفه دیسک دو تکه.....
۱۶۸	۵-۳-۵ شیر یک‌طرفه با دیسک وارونه.....
۱۶۸	۶-۳-۵ شیر یک‌طرفه قطع‌کننده.....
۱۶۹	۴-۵ شیر اطمینان.....
۱۷۰	۱-۴-۵ شیر اطمینان فشارشکن.....
۱۷۰	۲-۴-۵ شیر اطمینان پکیج و آبگرم‌کن.....
۱۷۱	۵-۵ شیر دیافراگمی.....
۱۷۲	۱-۵-۵ انواع شیرهای دیافراگمی.....
۱۷۳	۶-۵ شیرهای خودکار.....
۱۷۳	۱-۶-۵ دسته‌بندی شیرهای خودکار.....
۱۷۵	۷-۵ شیر کروی.....
۱۷۶	۱-۷-۵ انواع شیر کروی.....
۱۷۷	۸-۵ نکات کلیدی در انتخاب انواع شیرآلات صنعتی.....
۱۷۸	۹-۵ انواع شیرهای مورد استفاده در پروژه‌های سدسازی.....
۱۷۸	۱-۹-۵ شیر پروانه‌ای.....
۱۷۹	۲-۹-۵ شیر مخروط ثابت یا شیر هاول‌بانگر.....
۱۸۰	۳-۹-۵ شیر سوزنی.....
۱۸۰	۴-۹-۵ شیر لوله‌ای.....
۱۸۱	۵-۹-۵ شیر فواره‌ای توخالی.....
۱۸۱	خودآزمایی فصل پنجم.....
۱۸۳	فصل ششم. پمپ.....
۱۸۳	هدف کلی.....

۱۸۳	هدف‌های یادگیری
۱۸۳	مقدمه
۱۸۳	۱-۶ انواع مختلف پمپ
۱۸۳	۱-۱-۶ پمپ جابه‌جایی مثبت
۱۸۴	۲-۱-۶ پمپ رفت‌وآمدی
۱۸۸	۳-۱-۶ پمپ‌های دینامیکی
۱۹۲	۲-۶ انواع پمپ به لحاظ کاربرد
۱۹۲	۱-۲-۶ پمپ‌های بهداشتی
۱۹۲	۲-۲-۶ پمپ‌های فاضلاب
۱۹۲	۳-۲-۶ پمپ‌های آب خانگی
۱۹۲	۴-۲-۶ پمپ‌های نصب در چاه عمیق
۱۹۳	۵-۲-۶ پمپ‌های دوزینگ
۱۹۳	۶-۲-۶ پمپ‌های شناور
۱۹۳	۳-۶ تعریف پارامترهای اصلی و کاربردی پمپ‌ها
۱۹۴	۴-۶ کاویتاسیون یا حفره‌زایی
۱۹۸	۵-۶ منحنی‌های مشخصه پمپ
۲۰۰	۶-۶ منحنی‌های مشخصه و سرعت مخصوص
۲۰۲	۷-۶ منحنی‌های مشخصه و لزجت سیال
۲۰۲	۸-۶ منحنی‌های مشخصه و دور پمپ
۲۰۲	۹-۶ انتخاب پمپ مناسب
۲۰۳	۱۰-۶ به هم بستن پمپ‌ها
۲۰۳	۱-۱۰-۶ بستن پمپ‌ها به صورت موازی
۲۰۵	۲-۱۰-۶ بستن پمپ‌ها به صورت سری
۲۰۶	خودآزمایی فصل ششم
۲۰۷	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی
۲۰۹	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۲۱۱	منابع

پیشگفتار

آب مهم‌ترین ماده حیات و آبادانی است و در تمدن بشری اهمیت ویژه‌ای دارد. در ایران باستان آب را یکی از چهار رکن اساسی (آب، خاک، باد و آتش) می‌دانستند. تاریخچه استفاده از آب و مهندسی آب به زمان باستان و ایجاد نخستین زندگی گروهی بشر باز می‌گردد. نخستین شهرها در تمدن باستان در کنار رودخانه‌ها و دریاچه‌ها تشکیل شد. دسترسی به منابع آب اهمیت ویژه‌ای برای حیات بشر از دو دیدگاه کمی و کیفی دارد به گونه‌ای که در بسیاری از آیات قرآن کریم به آب اشاره شده است.

تحقیق و پژوهش در زمینه آب، مهار کردن و انتقال صحیح آن به محل مصرف و جلوگیری از هدر رفت آب از جمله ضروریات حوزه منابع آب می‌باشد. بیان اصول و روش‌های طراحی کانال‌ها و سازه‌های انتقال آب و همچنین کمبود منبع مناسب برای دانشجویان دانشگاه پیام نور (رشته مهندسی عمران) و همچنین رشته‌های گروه مهندسی کشاورزی (گرایش آب) که مطابق با سر فصل آموزشی وزارت علوم تحقیقات و فناوری باشد و همه مباحث مورد نیاز سازه‌های هیدرولیکی را برای این دانشجویان مطرح نماید ما را بر این داشت که در این زمینه گام برداشته و این کتاب را نگارش کنیم. لذا با توجه به گستردگی مباحث درس بناهای آبی سعی شده است که در این کتاب مباحث مورد نیاز دانشجویان مطرح گردد و در این زمینه طراحی و محاسبات دقیق سازه‌های هیدرولیکی مهم بیان گردیده است. لذا این کتاب برای کلیه دانشجویان مقطع کارشناسی مهندسی عمران و مقطع کارشناسی ارشد رشته سازه‌های هیدرولیکی مفید خواهد بود. ضمناً از دانشجویان گرامی و متخصصین محترم صمیمانه تقاضا دارم که نقطه نظرات و پیشنهاداتشان را برای بهبود مطالب کتاب در ویرایش‌های بعدی برای اینجانب ارسال نمایند تا در رفع آنها در مراحل بعدی اقدامات لازم صورت پذیرد. در تهیه این جلد، از همکاری خانواده‌های عزیزمان که همواره پشتیبان و مشوق ما بوده‌اند قدردانی داریم.

احمدرضا کریمی پور

a.karimipour@areeo.ac.ir

حمیدرضا شبانی

sheibani@pnu.ac.ir

فصل اول

طراحی کانال

هدف کلی

طراحی کانال‌های انتقال آب.

هدف‌های یادگیری

هدف این فصل فراگیری مطالب زیر است:

۱. طراحی هیدرولیکی کانال‌های انتقال آب پوشش‌دار.
۲. طراحی هیدرولیکی کانال‌های فرسایش‌پذیر (خاکی).
۳. انواع پوشش در کانال.
۴. جزییات هندسی مقطع کانال‌های انتقال آب.

مقدمه

سازه کانال روباز به‌عنوان یک آبراهه، برای انتقال آب به‌کار برده می‌شود. استفاده از نیروی ثقل و به حرکت درآوردن آب به‌صورت جریان با سطح آزاد در آبراهه، مطلوب‌ترین گزینه برای انتقال آب است. آبراهه‌ها می‌توانند به‌صورت پوشش‌دار و یا بدون پوشش طراحی و اجرا شوند و برای گذر جریان مورد استفاده قرار گیرند. در این فصل جزییات و روش طراحی گونه‌های پوشش‌دار و بدون پوشش، مانند کانال‌های بتنی و کانال‌های خاکی آورده شده‌اند. انواع مختلف پوشش‌ها برای کانال نیز معرفی گردیده‌اند و در انتها، به موارد تکمیلی در انتخاب مسیر کانال، تعیین اجزای هندسی برای آبراهه‌ها پرداخته شده است.

۱-۱ طراحی هیدرولیکی کانال

کانال‌های انتقال آب می‌توانند دارای اشکال مختلف باشند و به لحاظ جنس بدنه، می‌توانند پوشش‌دار یا بدون پوشش ساخته شوند. کانال بتنی و کانال خاکی به ترتیب مثال‌هایی از کانال پوشش‌دار و کانال بدون پوشش هستند. ایجاد پوشش برای کانال سبب می‌شود تا تلفات آب ناشی از نشت از جداره کانال اندک شود نیز هزینه‌های تعمیر و نگهداری و بنابراین هزینه‌های بهره‌برداری از کانال تقلیل پیدا نماید. پوشش، باعث کاهش در ابعاد موردنیاز برای کانال می‌شود و آن را در مقابل آب‌شستگی ناشی از حرکت جریان، مقاوم می‌سازد. با وجود چنین مزایایی برای پوشش جداره

کانال، در بعضی موارد متولیان ساخت پروژه‌های احداث کانال‌های انتقال آب، تصمیم به ایجاد یک کانال بدون پوشش مثل کانال خاکی می‌گیرند. علت این تصمیم می‌تواند صرفه‌جویی در هزینه‌های پروژه باشد یا ممکن است جنس زمین در مسیر پروژه، تشکیل شده از مصالح نسبتاً نفوذناپذیر مثل خاک رس باشد و لذا میزان نشت آب قابل ملاحظه نباشد. مبانی طراحی هیدرولیکی کانال‌های دارای پوشش و بدون پوشش با یکدیگر متفاوت هستند. زیربخش‌های بعدی به معرفی چند روش برای طراحی کانال و حصول ابعاد مناسب برای آن پرداخته‌اند. قبل از ارائه جزییات طراحی و نحوه محاسبه ابعاد کانال، لازم است ابتدا اطلاعات و معیارهای موردنیاز، که مکمل کار طراحی هستند، مورد مطالعه قرار گیرند.

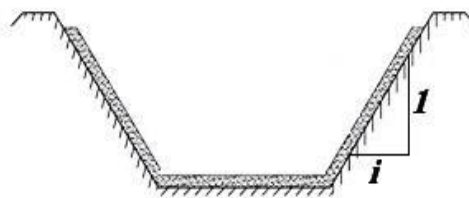
۱-۱-۱ شکل هندسی مقطع کانال

مقاطع هندسی مرسوم در ساخت کانال، اشکال زیر را دارا هستند.

- مقطع دوزنقه‌ای معمول‌ترین شکل برای ساخت کانال‌های آبیاری است. در این شکل، جداره شیب‌دار، پایداری دیوارهای کانال را در مقابل لغزش تأمین می‌کند.
- مقطع مستطیلی و مثلثی دو مقطع خاصی از شکل دوزنقه هستند. از مقطع مستطیلی در زمین‌های سنگی یا مواردی که کانال دارای پوشش از جنس مصالح سخت باشد استفاده می‌شود. از کانال با مقطع مثلث، در شاخه‌های فرعی که دبی جریان نسبتاً کم است بهره‌برداری می‌گردد. برای زهکش حاشیه خیابان و جاده‌ها، استفاده از کانال مثلثی کاربرد زیاد دارد.
- مقطع دایره‌ای در سیستم‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب مورد استفاده دارد. کانال‌های دایره‌ای می‌توانند به شکل پیش‌ساخته (لوله) تولید شوند و به‌صورت مدفون در خاک قرار گیرند. در آبروهای زیر جاده با دبی کم نیز، از این مقاطع می‌توان استفاده نمود. از خواص کانال‌های دایره‌ای عدم تغییرات زیاد سرعت همراه با افزایش عمق جریان در آن‌ها است که این خود سبب می‌گردد تا مناسب استفاده در کانال‌های انتقال فاضلاب باشند. در مجراهای انتقال فاضلاب، لازم است اصل خود شویندگی رعایت شود و خاصیت اشاره شده اسباب حصول این اصل را آسان‌تر تأمین می‌نماید. در ابعاد بزرگ‌تر، تونل‌های انتقال آب مدفون در دل سنگ، نیز مقاطع دایره‌ای هستند.
- مقطع سهمی برای کانال انتقال آب فرعی، با گذر دبی‌های کوچک به کار برده می‌شود. ساخت معمول برای این کانال به‌صورت پیش‌ساخته است بنابراین برای مجاری کوچک می‌تواند استفاده شود تا قابلیت حمل به محل را داشته باشد. در این شکل از مقطع کانال، همچون کانال دایره‌ای، تغییرات سرعت همراه با تغییر عمق جریان، به نسبت اندک است.
- مقطع نعل اسبی معمولاً در سیستم‌های انتقال فاضلاب به‌کار می‌رود. شکل مقطع این کانال به‌گونه‌ای است که فشارهای اطراف را به‌راحتی تحمل می‌کند. مقطع نعل اسبی در تونل‌های انتقال آب نیز کاربرد دارد.
- مقطع تخم‌مرغی عموماً در مجراهای جمع‌آوری و انتقال فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۱-۱-۲ جنس پوشش کانال

کانال می‌تواند بدون پوشش و یا با پوشش جداره ساخته شود. این پوشش، از هر جنس فرسایش‌ناپذیر مانند بتن، صفحه فولادی، چوب، شیشه و یا پلکسی گلاس اختیار می‌شود. کانال‌های انتقال آب پوشش‌دار عموماً به‌صورت بتنی ساخته می‌شوند. پوشش‌دار نمودن کانال برای دو هدف عمده، یعنی مقاوم نمودن مجرای انتقال آب در برابر آب‌شستگی و نیز به حداقل رساندن تلفات آب ناشی از نفوذ جریان به زمین، صورت می‌گیرد.



شکل ۱-۱. شیب جداره کانال دوزنقه‌ای.

۳-۱-۱ شیب جداره کانال

مقطع متداول برای ساخت کانال‌های انتقال آب، شکل دوزنقه دارد. از مشخصه‌های این مقطع، شیب جداره آن است و لازم است مقدار مناسبی داشته باشد. این مقدار مناسب، برای کانال پوشش دار و بدون پوشش با یکدیگر متفاوت هستند. در اینجا شیب جداره با پارامتر (i) عنوان می‌شود. در شکل (۱-۱) مقطع دوزنقه با نمایش شیب جداره آن ملاحظه می‌گردد.

در کانال پوشش دار دوزنقه، شیب جداره طوری تعیین می‌شود تا اجرا و احداث کانال با سهولت انجام گیرد و تا حد امکان به شیب عمودی نزدیک باشد. اداره آبیاری آمریکا، USBR، شیب جداره مناسب برای کانال دوزنقه‌ای پوشش دار را $۱:۱/۵$ ($i = \frac{1}{1.5}$) پیشنهاد می‌دهد. مقدار شیب جداره در کانال دوزنقه‌ای بدون پوشش، وابسته به جنس خاک، مقدار نشت آب از کانال و ابعاد کانال است. این شیب در این نوع کانال باید به قدری باشد که پایداری دیوارهای طرفین کانال در تمامی شرایط گذر و بدون گذر جریان تأمین گردد. در جدول (۱-۱) مقادیر مناسب شیب جداره کانال برای مصالح مختلف از بستر آورده شده است.

۴-۱-۱ شیب طولی کانال

مقدار شیب طولی کانال وابسته به توپوگرافی مسیر آن است. در مسیر ساخت، زمین دارای یک شیب متوسط می‌باشد. در طراحی، سعی بر آن است تا شیب کانال، نزدیک به شیب متوسط زمین باشد. این خود سبب می‌شود تا ضمن اجرایی بودن طرح، احجام خاک برداری و خاک ریزی برای احداث کانال، دارای حداقل مقدار باشند.

جدول ۱-۱. شیب جداره مناسب برای کانال‌های دوزنقه بدون پوشش.

ردیف	نوع مصالح بستر	شیب جانبی (i)
۱	سنگی مقاوم	۰-۲/۵
۲	سنگی ورقه‌ورقه شده	۰/۵
۳	سنگی با ملات سیمان	۰/۷۵
۴	رس متراکم	۱
۵	ماسه‌ای سست	۲
۶	ماسه‌ای بسیار سست	۳
۷	لومی	۱/۵
۸	شنی از نوع درشت	۱/۲۵
۹	خاکی در کانال‌های کوچک	۱/۵

در مواردی که شیب متوسط سطح زمین اندک است، چنانچه این شیب به عنوان شیب کف کانال در نظر گرفته شود سرعت حرکت آب در کانال کم خواهد بود و در نتیجه رسوبات معلق در مسیر ته نشین می شوند و سطح مقطع مفید مجرای آبی کاهش می یابد. در این موارد، شیب کف کانال بیش از شیب زمین در نظر گرفته می شود و با توجه به عمیق تر شدن کانال، لازم است پس از طی مسافتی که کف کانال پایین تر از سطح زمین قرار می گیرد، یک ایستگاه پمپاژ احداث و آب به سطح آورده شود. در مواردی که شیب سطح زمین مقدار بزرگی دارد، شیب کف کانال کمتر از آن انتخاب می گردد و پس از طی مسافتی در کانال، با ساخت سازه شیب شکن، کف کانال به تراز پایین تر می رسد. از منظر هیدرولیکی، مقدار شیب مناسب برای کانال، عدد فرود جریان را در بازه $0/3$ تا $0/4$ قرار می دهد. در این بازه، عموماً فرسایش و رسوب گذاری در کانال محقق نمی شود. شیب طولی معمول در کانال های انتقال آب عددی بین $1:25000$ تا $1:10000$ را به خود اختصاص می دهد.

۱-۱-۵ ضریب زبری در کانال فرسایش پذیر

بستر یک کانال فرسایش پذیر متشکل از مصالح دانه ای است. برای استفاده از روابط هیدرولیکی و طراحی کانال، نیاز است مقدار ضریب زبری برای این نوع کانال ها، به نحوی تعیین گردد. روابط متعددی، ارتباط بین ضریب زبری مانینگ و بزرگی نماینده دانه های مصالح را تعریف نموده است. این روابط حاصل فعالیت های آزمایشگاهی و یا صحرایی می باشند. نمونه های از آنها به شرحی است که می آیند.

- رابطه هندرسن^۱ (۱۹۶۶)

$$n = 0/034 d_{50}^{\frac{1}{6}} \quad (1-1)$$

d_{50} نماینده قطر دانه های مصالح بستر آبراهه است و برحسب متر می باشد. d_{50} ، بزرگی سنگدانه ای است که 50% وزنی مصالح زیر آن مقدار قرار دارند این ارتباط، با تحلیل تئوری در یافتن وابستگی بین زبری و قطر دانه قابل استخراج است.

- رابطه رودکیوی^۲ (۱۹۷۶)

$$n = 0/013 d_{65}^{\frac{1}{6}} \quad (2-1)$$

واحد اندازه گیری d_{65} میلی متر است.

- رابطه گارده^۳ و راجو^۴ (۱۹۷۸)

$$n = 0/039 d_{50}^{\frac{1}{6}} \quad (3-1)$$

d_{50} برحسب فوت می باشد.

- رابطه سابرامانیا^۱ (۱۹۸۹)

$$n = 0.047 d_{\phi}^{-\frac{1}{6}} \quad (4-1)$$

در این رابطه مقدار d_{ϕ} با واحد متر جایگذاری می‌شود.

- رابطه ماینورد^۲ (۱۹۹۱)

$$n = 0.038 d_{\phi}^{-\frac{1}{6}} \quad (5-1)$$

- رابطه هگر^۳ (۲۰۰۱)

$$n = 0.039 d_{\phi}^{-\frac{1}{6}} \quad (6-1)$$

در دو رابطه اخیر d_{ϕ} برحسب فوت است. رابطه‌های (۱-۱) تا (۶-۱) مقدار زبری مانینگ را تنها وابسته به بزرگی دانه‌ها مقرر می‌نمایند. رابطه‌های دیگری نیز توسط محققین به دست آمده‌اند که زبری را علاوه بر بزرگی دانه‌ها، وابسته به شرایط هیدرولیکی هم نشان می‌دهند. معادله چن و کاتن (۱۹۸۸)، یعنی رابطه (۷-۱)، نمونه‌ای از آن‌ها است. R شعاع هیدرولیکی است. d_{ϕ} و R برحسب فوت هستند.

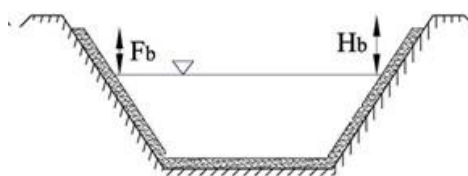
$$n = \frac{R^{\frac{1}{6}}}{8/6 + 19/98 \log\left(\frac{R}{d_{\phi}}\right)} \quad (7-1)$$

۱-۱-۶ ارتفاع آزاد^۴ کانال

ارتفاع آزاد در کانال به فاصله بین سطح آب آن تا بالاترین قسمت کانال، به ازای گذر دبی طراحی، اطلاق می‌شود. لزوم اختصاص ارتفاع آزاد، به سبب وجود عواملی مثل وزش باد، رسوب‌گذاری، وجود پیچ و خم در کانال و بارش باران می‌باشد. عواملی از این دست، سبب می‌شوند تا عمق آب افزایش یابد و سرریز شدن آب به بیرون از کانال محقق شود. ارتفاع آزاد از سرریز شدن آب به بیرون از کانال، که ممکن است سبب تخریب اطراف آن شود، ممانعت می‌نماید.

در کانال بدون پوشش، علاوه بر عواملی که اشاره شد یعنی رسوب‌گذاری و وزش باد و بارش باران، آب زیرزمینی نیز می‌تواند مقدار دبی کانال را افزایش دهد و سطح آب را بالا بیاورد. جنس بستر این نوع کانال، مؤثر بر هدایت آب زیرزمینی به داخل آن است لذا در تعیین ارتفاع آزاد لازم است این مشخصه مورد نظر قرار داده شود. برای خاک‌های نسبتاً درشت‌دانه، ارتفاع آزاد بزرگ‌تری نسبت به ریزدانه‌ها نیاز است.

1. Subramanya
2. Maynard
3. Hager
4. Freeboard



شکل ۱-۲. ارتفاع‌های آزاد در کانال پوشش‌دار. ارتفاع آزاد تا لبه بتنی کانال (F_b)، ارتفاع آزاد تا پشته‌خاکی (H_b).

در طراحی، چنانچه حساسیت سرریز کردن آب به بیرون از کانال به هر دلیلی بیشتر باشد، برای آن فواصل می‌توان ارتفاع آزاد بزرگ‌تری از آنچه استانداردها پیشنهاد می‌دهند در نظر گرفت. اداره آبیاری آمریکا، رابطه (۸-۱) را برای تعیین ارتفاع آزاد در کانال‌های بدون پوشش، مانند کانال خاکی، ارائه داده است.

$$F = \sqrt{C \cdot y} \quad (8-1)$$

F ارتفاع آزاد و y عمق آب در کانال برحسب متر هستند. C ضریبی وابسته به مقدار دبی است و با جدول (۲-۱) تعیین می‌شود. برای مقادیر بینابین، درونیابی وزنی انجام می‌شود. استاندارد هند^۱ نیز جدول (۳-۱) را برای تعیین ارتفاع آزاد در کانال بدون پوشش به ازای دبی گذری پیشنهاد می‌دهد.

برای کانال‌های پوشش‌دار دو مقدار مجزا برای ارتفاع آزاد در نظر گرفته می‌شود یک مقدار برای قسمت پوشش‌دار (F_b)، و دیگری برای قسمت غیر پوشش‌دار کانال (H_b)، یعنی فاصله لبه بالایی بتن کانال تا روی پشته خاکی کانال، است. این فواصل در شکل (۲-۱) نشان داده شده‌اند. برای تعیین این مقادیر، از نمودار شکل (۳-۱)، تهیه شده توسط اداره آبیاری آمریکا، استفاده می‌شود.

۱-۱-۷ سرعت جریان در کانال

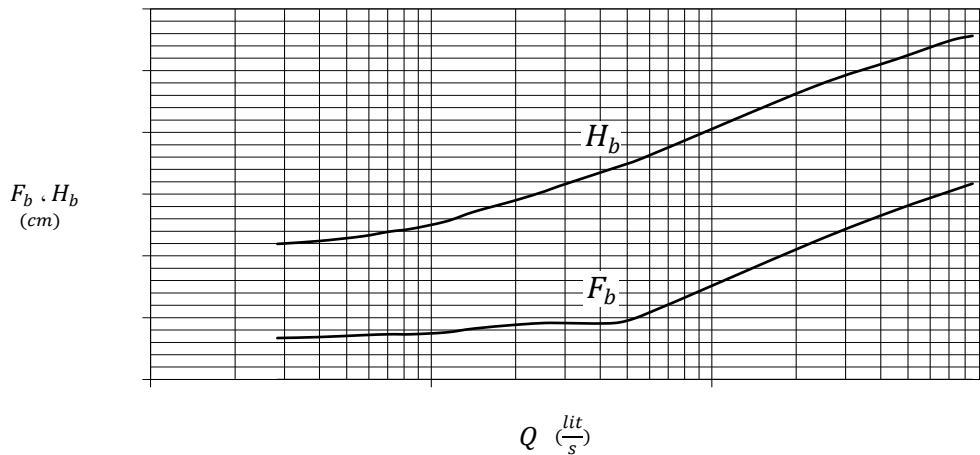
در کانال‌های بدون پوشش، لازم است بزرگی سرعت جریان سبب برداشت مصالح فرسایش‌پذیر کف نگردد. در طراحی و حصول مشخصات هندسی کانال‌های بدون پوشش، این مهم به‌عنوان یک معیار جدی مورد نظر قرار می‌گیرد. در کانال‌های پوشش‌دار، برخلاف کانال‌های بدون پوشش، سرعت حداکثر، معیار کنترل‌کننده‌ای نیست و پوشش کانال توان تحمل سرعت‌های معمول بالا، بدون ایجاد عارضه‌های نامطلوب و ساییده شدن جداره را دارد. در این نوع از کانال، معیار حداقل سرعت جریان بیشتر مورد توجه است. برای جلوگیری از ته‌نشینی رسوبات و نیز برای پرهیز از رشد جلبک و گیاهان آبی در کانال، لازم است حداقل سرعت مجاز برای کانال تأمین شود. برای پرهیز از رسوب‌گذاری ریزدانه‌ها، حداقل سرعت حدود یک متر بر ثانیه و برای جلوگیری از رشد گیاهان آبی، حداقل سرعت، معادل ۰/۸ متر بر ثانیه مقرر گردیده است. برای کانال‌های آبیاری پوشش‌دار، سرعت طراحی حدود ۳ متر بر ثانیه، به‌عنوان سرعت مناسب مدنظر می‌باشد. مطابق توصیه اداره آبیاری آمریکا، سرعت مناسب جریان در کانال، عدد فرودی حدود ۰/۳۵ را دارا می‌باشد.

جدول ۱-۳. عمق آزاد در کانال بدون پوشش.

$85 < Q$	$1.5 < Q \leq 85$	$0.75 < Q \leq 1.5$	$Q \leq 0.75$	دبی ($\frac{m^3}{s}$)
۰/۹۰	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۴۵	ارتفاع آزاد (m)

جدول ۲-۱. ضریب C در رابطه (۸-۱)

C	دبی ($\frac{m^3}{s}$)	ردیف
۰/۸	۰/۵	۱
۱/۴	۸۵	۲



شکل ۱-۳. تعیین ارتفاع آزاد تالاب بتنی (F_b) و ارتفاع آزاد تاپشته‌خاکی (H_b) در کانال (USBR).

۸-۱-۱ مسیریابی کانال انتقال آب

برای تعیین مسیر کانال انتقال آب، ابتدا نقشه توپوگرافی منطقه تهیه می‌شود و بر روی آن گزینه‌های مختلف از مسیر انتقال پیش‌بینی و مورد بررسی قرار می‌گیرد. از بین این گزینه‌ها، مسیری انتخاب می‌شود که کوتاه‌ترین فاصله بین نقاط ابتدا و انتهای کانال را دارا و به لحاظ ملاحظات اقتصادی و هیدرولیکی بهینه باشد. یکی از پارامترهای مهم هیدرولیکی، شیب طولی کانال است که پیشتر در مورد آن توضیح داده شد. با استفاده از نقشه توپوگرافی مسیر، شیب طولی کانال به‌گونه‌ای انتخاب می‌شود تا در محدوده مجاز قرار داشته باشد. در انتخاب این شیب، متعادل بودن حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی در مسیر، نکته تأثیرگذاری است. در ایجاد این تعادل، مصالح مناسب خاک‌برداری شده، در محل موردنیاز برای خاک‌ریزی قرار می‌گیرد و به این ترتیب طرح اقتصادی می‌گردد. در مواردی که حجم خاک‌برداری یا سنگ‌برداری زیاد باشد، از تونل می‌توان استفاده کرد و همچنین در مسیریابی که دره قرار داشته باشد از فلوم‌های پایه‌دار، که نقش پل آبی را بر عهده دارند، بهره گرفته می‌شود. مشخصات و پارامترهای ژئوتکنیکی خاک مسیر نیز بر روی انتخاب مسیر مناسب برای کانال تعیین کننده است.

۹-۱-۱ طراحی کانال‌های پوشش‌دار

طراحی یک کانال، با مورد نظر قرار دادن مطالبی که در خصوص شیب جداره، شیب طولی، سرعت جریان و ارتفاع آزاد اشاره شد، باید منجر به تعیین ابعاد مناسب و بهینه برای کانال گردد. در کانال‌های پوشش‌دار، روش بهترین مقطع هیدرولیکی^۱ برای تعیین ابعاد کانال استفاده می‌گردد و علاوه بر این روش، برای کانال‌های دوزنقه‌ای، از روش ارائه شده توسط اداره آبیاری آمریکا نیز بهره گرفته می‌شود.

الف) بهترین مقطع هیدرولیکی

برای معرفی بهترین مقطع هیدرولیکی، معادله مانینگ یعنی معادله (۹-۱)، مورد نظر قرار می‌گیرد.

$$Q = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{S} \quad (9-1)$$

Q دبی، n ضریب زبری مانینگ، A سطح مقطع جریان، R شعاع هیدرولیکی و S شیب طولی کانال است. در این رابطه، برای یک ضریب زبری و شیب طولی مشخص و نیز برای سطح مقطع ثابت، مقدار دبی جریان وقتی بیشترین مقدار را دارد که شعاع هیدرولیکی، حداکثر باشد اما شعاع هیدرولیکی، نسبت سطح مقطع به محیط ترشده است.

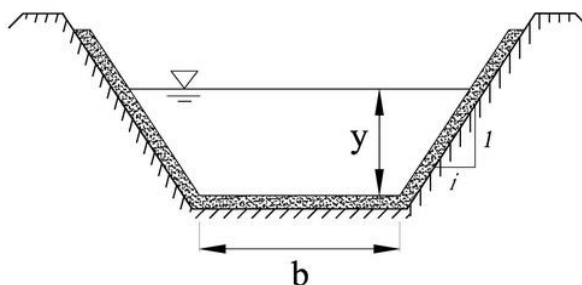
$$R = \frac{A}{P}$$

لذا با فرضی که گذشت، یعنی سطح مقطع ثابت، شعاع هیدرولیکی زمانی بیشترین مقدار را داراست که محیط ترشده حداقل مقدار را به خود اختصاص دهد. توضیح فوق نشان می‌دهد برای زبری و شیب طولی مشخص، به ازای یک سطح مقطع ثابت، حداکثر مقدار دبی جریان، با وجود حداقل مقدار محیط ترشده، به دست می‌آید. مقطعی که به ازای سطح مقطع ثابت، حداقل مقدار محیط ترشده را دارد، بهترین مقطع هیدرولیکی نامیده می‌شود.

برای طراحی کانال پوشش‌دار، مقطع به صورت بهترین مقطع هیدرولیکی طراحی می‌گردد. این مقطع به لحاظ اقتصادی کمترین هزینه را به خود اختصاص می‌دهد. حال ممکن است این سؤال پیش رو باشد که چرا برای رسیدن به ابعاد مطلوب و ارائه طرحی اقتصادی، سطح مقطع جریان ثابت فرض شده است. این سؤال این گونه پاسخ داده می‌شود در احداث کانال، هزینه‌های خاک‌برداری مقطع کانال و نیز هزینه ساخت پوشش آن (مثلاً بتنی) دو هزینه عمده می‌باشند حال اگر این دو هزینه دارای حداقل مقدار خود باشند، بدیهی است طرح ارائه شده طرحی اقتصادی خواهد بود.

یافتن حداقل حجم خاک‌برداری به ازای یک دبی مشخص و ثابت، متناظر با یافتن دبی حداکثر به ازای حجم خاک‌برداری مشخص و ثابت است. حجم خاک‌برداری ثابت برای طول معلومی از کانال، به مفهوم سطح مقطع ثابت برای کانال است و این همان چیزی است که در یافتن بهترین مقطع هیدرولیکی مورد نظر قرار داده شده است. بنابراین با انتخاب بهترین مقطع هیدرولیکی، به واقع حجم خاک‌برداری و بنابراین هزینه آن به حداقل مقدار خود می‌رسد. از طرفی محیط ترشده برای بهترین مقطع هیدرولیکی، حداقل مقدار را دارد. برای طول مشخصی از کانال، حداقل بودن محیط ترشده، حداقل سطح پوشش را ایجاد می‌کند و این به معنی کاهش سطح و در نتیجه کاهش حجم پوشش، مثلاً حجم بتن، می‌باشد.

موارد اشاره شده نشان می‌دهند که بهترین مقطع هیدرولیکی کمترین هزینه خاک‌برداری و بتن‌ریزی را به همراه دارد و در نتیجه به لحاظ اقتصادی، بهترین ابعاد مقطع را دارا می‌باشد. به ازای اشکال مختلف از مقطع کانال، مشخصات بهترین مقطع هیدرولیکی به صورتی که می‌آید، حاصل می‌گردد. در جدول (۱-۴) مشخصات هندسی بهترین مقطع هیدرولیکی برای شکل‌های مختلف آورده شده‌اند.



شکل ۱-۴. b و y ، مقادیر لازم به تعیین برای طرح کانال دوزنقه‌ای.

جدول ۴-۱. مشخصات بهترین مقاطع هیدرولیکی برای مقاطع هندسی مختلف.

هندسه کانال	سطح مقطع جریان (A)	پیرامون تر شده (P)	شعاع هیدرولیکی (R)	عرض در سطح آزاد (T)	عمق هیدرولیکی (D)	فاکتور سطح (Z)
ذوزنقه‌ای	$\sqrt{3}y$	$\sqrt{3}y$	$\frac{y}{3}$	$\frac{4}{3}\sqrt{3}y$	$\frac{3}{4}y$	$\frac{3}{-y}$
مستطیلی	y	$4y$	$\frac{y}{4}$	y	y	$\frac{5}{y}$
مثلثی	y	\sqrt{y}	$\frac{1}{4}\sqrt{y}$	y	$y/2$	$\frac{5}{\sqrt{y}}$
نیم‌دایره	$\frac{\pi}{2}y$	πy	$\frac{y}{4}$	y	$\frac{\pi}{4}y$	$\frac{5}{\frac{\pi}{4}y}$
سه‌می	$\frac{4}{3}\sqrt{y}$	$\frac{4}{3}\sqrt{y}$	$\frac{y}{9}$	\sqrt{y}	$\frac{3}{3}y$	$\frac{5}{\frac{4}{9}\sqrt{3y}}$

• مقطع مستطیلی

مشخصات بهترین مقطع هیدرولیکی برای شکل مستطیلی، با به حداقل رساندن شعاع هیدرولیکی به دست می‌آید.

$$P = 2y + b$$

$$A = b \cdot y \rightarrow b = \frac{A}{y} \rightarrow P = 2y + \frac{A}{y}$$

$$\frac{dP}{dy} = 2 - \frac{A}{y^2} = 0 \rightarrow A = 2y^2 \rightarrow b \cdot y = 2y^2$$

$$b = 2y \quad (10-1)$$

بهترین مقطع هیدرولیکی برای مستطیل، مقطعی است که عرض آن دو برابر عمق جریان باشد. شعاع هیدرولیکی برای مقطع به ترتیب زیر حاصل می‌گردد. برای بهترین مقطع هیدرولیکی، در مقطع مستطیل شعاع هیدرولیکی نصف عمق جریان است. اگرچه این نتیجه برای مستطیل گرفته می‌شود، اما برای بسیاری از شکل‌های هندسی مقطع صادق است.

$$R = \frac{A}{P} = \frac{b \cdot y}{2y + b} = \frac{2y \cdot y}{2y + 2y}$$

$$R = \frac{y}{2} \quad (11-1)$$

• مقطع ذوزنقه‌ای

محیط‌تر شده و سطح مقطع جریان به‌قرار زیر هستند. از محیط‌تر شده نسبت به عمق مشتق گرفته می‌شود.

$$P = b + 2y \sqrt{1 + i^2}$$

$$A = (b + i \cdot y) \cdot y \rightarrow b = \frac{A}{y} - i \cdot y \rightarrow P = \frac{A}{y} - i \cdot y + 2y \sqrt{1 + i^2}$$