

دانشگاه ساری نور

هیدرولیک مجاری روباز

(مهندسی آب خوشه آبیاری و زهکشی)

دکتر نگار نورمهناد

امروزه 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 عرصه‌ی 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 شکرانه‌ی 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 سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی 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 مجموعه‌ی 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 دستاوردهای 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 فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «إِقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول 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 وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه 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. مفاهیم پایه.....	۱
هدف کلی.....	۱
هدف‌های یادگیری.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ کانال‌ها و انواع آن.....	۲
۱-۱-۱ کانال‌های طبیعی و مصنوعی.....	۲
۲-۱-۱ تقسیم‌بندی کانال‌ها بر مبنای تغییرات در سطح مقطع آن‌ها.....	۳
۳-۱-۱ تقسیم‌بندی کانال‌ها براساس پایداری مصالح جداره در مقابل فرسایش.....	۳
۱-۳-۱-۱ کانال‌های غیرفرسایشی یا کانال‌های با جدار ثابت.....	۳
۲-۳-۱-۱ کانال‌های فرسایشی و یا با جدار متحرک.....	۳
۲-۱ انواع مقاطع کانال‌های باز.....	۴
۱-۲-۱ مقطع دوزنقه‌ای.....	۴
۲-۲-۱ کانال مستطیلی.....	۴
۳-۲-۱ کانال‌های مثلثی.....	۴
۴-۲-۱ مقطع دایره‌ای.....	۴
۵-۲-۱ مقطع سهمی شکل.....	۵
۶-۲-۱ مقاطع تونلی، نعل اسبی و تخم مرغی.....	۵
۳-۱ اجزای هندسی کانال‌ها.....	۵
۴-۱ انواع جریان در مجاری باز.....	۶
۱-۴-۱ جریان یکنواخت.....	۸

۸	۲-۴-۱ جریان غیریکنواخت.....
۸	۳-۴-۱ جریان دائمی یا جریان ماندگار.....
۹	۴-۴-۱ جریان های غیردائمی یا غیرماندگار.....
۹	۵-۴-۱ جریان ماندگار یکنواخت.....
۱۰	۶-۴-۱ جریان ماندگار متغیر.....
۱۰	۱-۶-۴-۱ جریان های ماندگار متغیر تدریجی (GVF).....
۱۰	۲-۶-۴-۱ جریان های ماندگار متغیر سریع (RVF).....
۱۰	۷-۴-۱ جریان غیرماندگار یکنواخت.....
۱۰	۸-۴-۱ جریان غیرماندگار متغیر.....
۱۱	۱-۸-۴-۱ جریان های غیرماندگار متغیر تدریجی (GVF).....
۱۱	۲-۸-۴-۱ جریان های غیرماندگار متغیر سریع (RVF).....
۱۳	۵-۱ معیارهای طبقه بندی جریان.....
۱۳	۱-۵-۱ عدد رینولدز.....
۱۴	۲-۵-۱ عدد فرود.....
۱۵	۶-۱ انواع رژیم جریان.....
۱۶	۷-۱ توزیع سرعت در مجاری روباز.....
۱۷	۸-۱ ضریب تصحیح انرژی جنبشی.....
۲۰	۹-۱ ضریب تصحیح اندازه حرکت (مومتم).....
۲۲	۱۰-۱ فشار هیدرواستاتیک.....
۲۳	۱۱-۱ توزیع فشار در کانال ها.....
۲۷	۱-۱۱-۱ جریان های یکنواخت با شیب تند.....
۲۷	۲-۱۱-۱ توزیع فشار در جریان های متغیر تدریجی.....
۲۸	۱-۲-۱۱-۱ توزیع فشار در جریان های انحنادار در صفحه قائم.....
۲۸	۲-۲-۱۱-۱ توزیع فشار در جریان با انحنای کاو.....
۲۹	۳-۲-۱۱-۱ توزیع فشار در جریان با انحنای کوژ.....
۳۱	۱۲-۱ رابطه پیوستگی در کانال روباز.....
۳۴	خلاصه فصل اول.....
۳۵	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل اول.....
۴۱	فصل دوم. انرژی در کانال های باز.....
۴۱	هدف کلی.....
۴۱	هدف های یادگیری.....
۴۱	مقدمه.....
۴۲	۱-۲ معادله انرژی.....
۴۳	۲-۲ انرژی مخصوص جریان.....
۴۶	۳-۲ تجزیه و تحلیل ویژگی های جریان بحرانی.....

۴۶	۲-۳-۱ تعیین عمق بحرانی.....
۴۷	۲-۳-۱-۱ عمق بحرانی در کانال‌های با مقطع مستطیلی.....
۴۷	۲-۳-۱-۲ عمق بحرانی در کانال‌های با مقطع مثلثی و شیب جداره Z.....
۴۷	۲-۳-۱-۳ عمق بحرانی در کانال‌های با مقطع دوزنقه‌ای.....
۴۸	۲-۳-۱-۴ عمق بحرانی در کانال‌های با مقطع دایره‌ای.....
۵۱	۲-۴ کمیته انرژی مخصوص.....
۵۱	۲-۵ تحلیل جریان ناشی از یک برآمدگی در کانال مستطیلی شکل.....
۵۸	۲-۶ تحلیل جریان ناشی از یک فشردگی موضعی در کانال مستطیلی.....
۶۵	خلاصه فصل دوم.....
۶۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم.....
۷۱	فصل سوم. معادله اندازه حرکت در کانال‌های روباز.....
۷۱	هدف کلی.....
۷۱	هدف‌های یادگیری.....
۷۱	مقدمه.....
۷۲	۳-۱ معادله اندازه حرکت.....
۷۴	۳-۲ کاربرد معادله اندازه حرکت در کانال‌های باز.....
۷۵	۳-۲-۱ نیروی مخصوص.....
۷۶	۳-۲-۲ مقایسه بین انرژی مخصوص و نیروی مخصوص.....
۷۷	۳-۲-۳ پرش هیدرولیکی.....
۸۵	خلاصه فصل سوم.....
۸۵	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم.....
۹۱	فصل چهارم. جریان یکنواخت در کانال‌های روباز.....
۹۱	هدف کلی.....
۹۱	هدف‌های یادگیری.....
۹۱	مقدمه.....
۹۲	۴-۱ جریان یکنواخت.....
۹۴	۴-۲ تنش برشی متوسط جدار کانال T.....
۹۶	۴-۳ سرعت متوسط در جریان یکنواخت.....
۹۶	۴-۳-۱ فرمول شزی.....
۹۷	۴-۳-۲ معادله دارسی - ویسباخ.....
۹۷	۴-۳-۳ تعیین ضریب شزی.....
۹۷	۴-۳-۳-۱ تعیین ضریب شزی بر مبنای ضریب اصطکاک دارسی - ویسباخ.....
۹۹	۴-۳-۳-۲ تعیین ضریب شزی با استفاده از رابطه بیزن.....
۹۹	۴-۳-۳-۳ تعیین ضریب شزی با استفاده از رابطه گانگلیت - کاتر.....

۹۹	۴-۳-۳-۴ استفاده از معادله مانینگ.....
۱۰۰	۴-۳-۴ تخمین ضریب زبری مانینگ.....
۱۰۲	۴-۴ ضریب انتقال و فاکتور سطح در جریان یکنواخت.....
۱۰۶	۴-۵ زبری معادل در مقطع عرضی ناهمگن.....
۱۰۷	۴-۵-۱ رابطه هورتون- انیشتین.....
۱۰۸	۴-۵-۲ رابطه مولهوفر- انیشتین- بانکس.....
۱۰۸	۴-۵-۳ رابطه لوتر.....
۱۱۰	۴-۶ زبری معادل در مقطع مرکب.....
۱۱۰	۴-۷ بهترین مقطع هیدرولیکی.....
۱۱۲	خلاصه فصل چهارم.....
۱۱۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم.....
۱۱۷	فصل پنجم. نظریه جریان متغیر تدریجی.....
۱۱۷	هدف کلی.....
۱۱۷	هدف‌های یادگیری.....
۱۱۷	مقدمه.....
۱۱۸	۵-۱ جریان غیریکنواخت.....
۱۱۹	۵-۱-۱ جریان غیریکنواخت- حالت اول.....
۱۱۹	۵-۱-۲ جریان غیریکنواخت- حالت دوم.....
۱۲۰	۵-۲ طبقه‌بندی پروفیل‌های سطح آب.....
۱۲۳	۵-۲-۱ شیب ملایم.....
۱۲۴	۵-۲-۲ شیب تند.....
۱۲۶	۵-۲-۳ شیب بحرانی.....
۱۲۶	۵-۲-۴ شیب افقی.....
۱۲۷	۵-۲-۵ شیب معکوس.....
۱۲۹	۵-۳ ترکیب نیم‌رخ‌های سطح آب و ترسیم آن‌ها.....
۱۳۸	خلاصه فصل پنجم.....
۱۳۸	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم.....
۱۴۳	فصل ششم. محاسبات جریان متغیر تدریجی.....
۱۴۳	هدف کلی.....
۱۴۳	هدف‌های یادگیری.....
۱۴۳	مقدمه.....
۱۴۴	۶-۱ محاسبات نیم‌رخ سطح آب.....
۱۴۵	۶-۱-۱ روش تقریب‌های متوالی.....
۱۴۷	۶-۱-۱-۱ روش گام‌به‌گام استاندارد.....

۱۴۸	۲-۱-۱-۶ روش گام به گام مستقیم
۱۴۹	۲-۶ روش های عددی تک مرحله ای
۱۴۹	۱-۲-۶ روش اویلر
۱۵۰	۲-۲-۶ روش اویلر اصلاح شده
۱۵۱	۳-۲-۶ روش رونگه - کوتا مرتبه چهار
۱۵۱	۳-۶ روش انتگرال گیری مستقیم
۱۵۱	۱-۳-۶ نمای هیدرولیکی اول مقطع
۱۵۳	۲-۳-۶ نمای هیدرولیکی دوم مقطع
۱۵۶	۴-۶ روش برس
۱۵۷	۵-۶ روش باخمتف
۱۶۰	۶-۶ روش چاو
۱۶۱	۷-۶ کاربردهای جریان متغیر تدریجی
۱۶۱	۱-۷-۶ مسائل دریاچه و کانال
۱۶۱	۲-۷-۶ دریاچه و کانال با شیب ملایم
۱۶۵	۳-۷-۶ دریاچه و کانال با شیب تند
۱۶۹	۴-۷-۶ مسائل دو دریاچه
۱۷۱	خلاصه فصل ششم
۱۷۱	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل ششم
۱۷۵	فصل هفتم. سازه های اندازه گیری جریان
۱۷۵	هدف کلی
۱۷۵	هدف های یادگیری
۱۷۵	مقدمه
۱۷۶	۱-۷ سرریز
۱۷۷	۱-۱-۷ سرریز مستطیلی لبه تیز
۱۸۲	۲-۱-۷ سرریز مثلثی لبه تیز
۱۸۴	۳-۱-۷ سرریزهای دوزنقه ای یا سیپولتی
۱۸۵	۴-۱-۷ سرریز لبه پهن
۱۸۸	۲-۷ فلوم ها
۱۸۹	۱-۲-۷ پارشال فلوم
۱۹۳	خلاصه فصل هفتم
۱۹۴	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل هفتم
۱۹۷	پاسخ خودآزمایی ها
۱۹۷	پاسخ خودآزمایی های فصل اول
۲۰۰	پاسخ خودآزمایی های فصل دوم

۲۰۴.....	پاسخ خودآزمایی‌های فصل سوم.....
۲۰۹.....	پاسخ خودآزمایی‌های فصل چهارم.....
۲۱۳.....	پاسخ خودآزمایی‌های فصل پنجم.....
۲۱۶.....	پاسخ خودآزمایی‌های فصل ششم.....
۲۱۸.....	پاسخ خودآزمایی‌های فصل هفتم.....
۲۲۱	پیوست.....
۲۲۶	کتابنامه.....

پیشگفتار

سپاس و ستایش خداوند بلندمرتبه را که به لطف و عنایت بی‌کران او توفیق تألیف و تدوین این کتاب حاصل آمد. کتابی که پیش‌رو دارید، حاصل تلاشی مجدانه در راستای بهره‌مندی دانشجویان رشته علوم و مهندسی آب از علم هیدرولیک است. این کتاب به‌زبانی ساده مطابق با آخرین یافته‌ها و همگام با مراجع معتبر علمی دنیا تهیه شده‌است. مطالب فصل‌های کتاب براساس سرفصل وزارت علوم تحقیقات و فناوری به‌گونه‌ای طبقه‌بندی و ارائه شده که استفاده‌کنندگان ضمن آشنایی با انواع کانال‌ها و مقدمات علم هیدرولیک، به مطالعه مفهوم انرژی و نیروی مخصوص در کانال‌ها و مجاری روباز در جریان یکنواخت و غیریکنواخت بپردازند و انواع پروفیل‌های سطح آب را تشخیص داده و محاسبات مربوط به آن‌ها را آموزش ببینند. همچنین در راستای خودآموز بودن کتاب سعی بر آن شده که از مثال‌های متعددی استفاده شود و از آنجا که اغلب دانشجویان در حل مسائلی که در انتهای هر فصل آمده با مشکل مواجه می‌شوند و نیاز به راهنمایی دارند، راه‌حل مسائل در انتهای کتاب توضیح داده شده‌است؛ اما قبل از مراجعه به راهنمای حل مسائل، توصیه می‌شود دانشجویان خود مسائل را حل کرده و جواب به‌دست‌آمده را با آنچه در انتهای کتاب آمده است، مقایسه کنند. از آنجا که هر تألیفی ممکن است نقایصی داشته باشد، به‌منظور بهبود کیفیت این اثر از کلیه دانشجویان و اساتید محترم تقاضا می‌شود پیشنهادات و نظرات خود را به اینجانب اعلام کنند. در خاتمه، لازم می‌دانم مراتب تشکر و قدردانی خود را از ویراستار علمی کتاب سرکار خانم دکتر محبوبه ابراهیمی اعلام کنم. همچنین از آقای دکتر مهدی کرمی‌مقدم به‌خاطر ارائه نظرات ارزشمندشان و از مدیریت دفتر تدوین کتب و نیز کارشناس

محترم سرکار خانم خدیجہ علی نژاد رنجکش و کلیہ عزیزان انتشارات دانشگاه پیام نور
کہ این جانب را در انتشار این کتاب یاری کردند، تشکر می‌کنم.

نگار نورمہناد

عضو ہیئت علمی گروه کشاورزی دانشگاه پیام‌نور

Email: Negar_Nourmahnad@yahoo.com

۱۳۹۶

فصل اول

مفاهیم پایه

هدف کلی

هدف از این فصل آشنایی دانشجو با مفاهیم اولیه هیدرولیک کانال‌ها است، تا ضمن آشنایی با این مفاهیم بتواند درک بهتری از فصل‌های بعدی داشته باشد.

هدف‌های یادگیری

با مطالعه این فصل دانشجو با موارد زیر آشنا خواهد شد:

۱. انواع کانال‌ها و ویژگی‌های هندسی آنها
۲. شناخت انواع جریان در مجاری روباز
۳. تعیین وضعیت جریان با توجه به نیروی لزجت و اینرسی
۴. تعیین معادلات حاکم بر جریان آب با توجه به نوع جریان، در حالت یک‌بعدی
۵. آشنایی با توزیع سرعت در کانال‌ها
۶. تعیین ضریب تصحیح انرژی جنبشی و ضریب تصحیح اندازه حرکت
۷. مفهوم فشار هیدرواستاتیک و فشار در کانال‌ها
۸. رابطه پیوستگی و کاربردهای آن

مقدمه

هیدرولیک مجاری روباز، جریان در کانال‌های طبیعی، رودخانه‌ها و کانال‌های مصنوعی را مورد بررسی قرار می‌دهد. اصطلاح «هیدرولیک» به استفاده از اصول مکانیک سیالات در سازه‌های مهندسی آب، مهندسی عمران و محیط‌زیست، به‌ویژه سازه‌های هیدرولیکی (به‌عنوان مثال کانال، رودخانه، سد، مخزن و...) مربوط می‌شود.

در میان روش‌های مختلف انتقال آب، استفاده از نیروی ثقل و به حرکت درآوردن آب به صورت جریان با سطح آزاد به همراه ایجاد کانال‌ها و سازه‌های هیدرولیکی مربوط نظیر سرریزها، فلوم‌ها^۱ و... از متداول‌ترین روش‌ها در آبرسانی و آبیاری است. به همین دلیل، بررسی انواع کانال، جنس آن و همچنین شکل هندسی کانال ازجمله موارد مهمی محسوب می‌شوند که برای به کارگیری کانال باید مورد توجه قرار گیرند. در این فصل ابتدا جریان‌های مختلف و انواع کانال‌ها تعریف و سپس ویژگی‌های جریان بررسی می‌شود.

۱-۱-۱ کانال‌ها و انواع آن

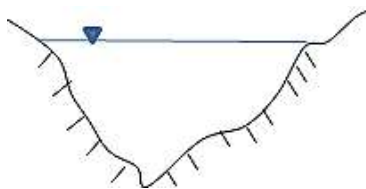
کانال در حقیقت مجرای برای عبور سیال است. کانال‌ها یا مجاری روباز انواع مختلفی دارند. همان‌طور که در شکل ۱-۱ مشخص است این کانال‌ها هم می‌توانند روباز و هم می‌توانند کانال‌های بسته‌ای باشند که کامل پر نشده‌اند.

به طور کلی کانال‌ها براساس طبیعی یا مصنوعی بودن، تغییرات در سطح مقطع کانال‌ها و پایداری مصالح جداره آن‌ها در مقابل ریزش، تقسیم‌بندی می‌شوند.

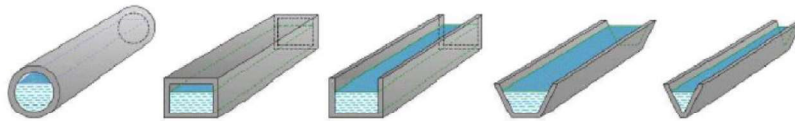
۱-۱-۱-۱ کانال‌های طبیعی و مصنوعی

کانال‌های طبیعی، کانال‌هایی هستند که در زیر یا روی زمین وجود داشته و شامل رودخانه‌ها، نهرها و تنداب‌ها می‌شوند (شکل ۱-۱).

کانال‌های مصنوعی، کانال‌هایی هستند که توسط بشر در زیر یا روی زمین ساخته می‌شوند و کانال‌های آبیاری، زهکشی و کانال‌های انتقال فاضلاب (کانال بسته با سطح آزاد) شامل می‌شود (شکل ۲-۱).



شکل ۱-۱. نمونه‌ای از کانال طبیعی



شکل ۱-۲. انواع کانال مصنوعی

۱-۱-۲ تقسیم‌بندی کانال‌ها بر مبنای تغییرات در سطح مقطع آن‌ها

الف) کانال‌های منشوری، کانال‌هایی هستند که در مسیرشان سطح مقطع، شیب و زبری ثابت است. کانال‌های مصنوعی عمدتاً منشوری بوده که براساس طراحی، مقاطع آن‌ها اشکال هندسی متفاوتی به‌خود می‌گیرند.

ب) کانال‌های غیرمنشوری، کانال‌هایی هستند که در مسیر آن‌ها سطح مقطع، شیب و زبری کانال تغییر می‌کند. کانال‌های طبیعی حالت غیرمنشوری داشته و در مسیر جریان سطح مقطع و شیب کانال دستخوش تغییرات می‌شوند.

۱-۱-۳ تقسیم‌بندی کانال‌ها براساس پایداری مصالح جداره در مقابل فرسایش

جداره کانال می‌تواند با توجه به نوع مصالح تشکیل دهنده آن رفتار متفاوتی در برابر فرسایش از خود نشان دهد.

۱-۱-۳-۱ کانال‌های غیرفرسایشی یا کانال‌های با جدار ثابت

کانال‌هایی هستند که مصالح جدار آن‌ها سخت، ثابت و پایدار (نظیر بتن، چوب، فلز) است. در این کانال‌ها پلان عمومی مسیر و نیز زبری جدار مقطع تابعی از مشخصات جریان نبوده و نسبتاً ثابت هستند و برای یک مسیر جریان ثابت، فقط عمق است که می‌تواند برحسب نوع جریان با زمان و مکان تغییر کند.

۱-۱-۳-۲ کانال‌های فرسایشی و یا با جدار متحرک

معمول‌ترین نوع کانال به شمار می‌آیند که بر روی زمین حفر می‌شوند و خاک‌های حفاری‌شده به‌منظور تشکیل خاکریز کنار کانال مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقایسه با کانال‌های با جدار ثابت، می‌توان کانال‌های مصنوعی و یا طبیعی را در نظر گرفت که در تشکیلات آبرفتی جریان دارند و در نتیجه، جداره این کانال‌ها از ذرات رسوبی

تشکیل یافته است و ذرات این توانایی را دارند تا تحت تأثیر جریان آب به حرکت درآیند. با توجه به اینکه جداره این کانال‌ها در معرض فرسایش و رسوب‌گذاری مستمر جریان آب قرار دارد، بنابراین چنین کانال‌هایی می‌توانند علاوه بر آب، رسوباتی را نیز به صورت معلق و یا در کف منتقل کنند.

۱-۲ انواع مقاطع کانال‌های باز

کانال‌ها از نظر شکل مقطع انواع مختلفی دارند.

۱-۲-۱ مقطع دوزنقه‌ای

این مقطع معمول‌ترین شکل برای کانال‌های آبیاری بوده و در کانال‌هایی که در مصالح خاکی حفر شده، شیب کناره‌ها پایداری عمومی آن‌ها را در مقابل لغزش تأمین می‌کند. اغلب ساختمان این کانال ساده و در هر محلی امکان‌پذیر است.

۲-۲-۱ کانال مستطیلی

این کانال همانند کانال دوزنقه‌ای با شیب ۹۰ درجه است و اغلب در مصالحی که پایداری کافی داشته باشند و خطر لغزش نباشد، ساخته می‌شود. این کانال‌ها برای انتقال آب خیابان‌ها و یا در طرح‌های آبی و آبیاری استفاده می‌شوند.

۳-۲-۱ کانال‌های مثلثی

این کانال‌ها برای انتقال مقدار کم آب در حاشیه خیابان‌ها، جاده‌ها یا کارهای آزمایشگاهی به کار می‌روند.

۴-۲-۱ مقطع دایره‌ای

این مقطع از مقاطع معمول در سیستم‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب است و اغلب برای آبروها^۱ و لوله‌های فاضلاب با مقادیر کم و متوسط آب طرفدار زیادی دارد. کانال‌های دایره‌ای می‌توانند به صورت پیش‌ساخته (لوله) تولید شده و به صورت مدفون در خاک قرار گیرند. در آبروهای زیر جاده با دبی کم نیز از این مقطع استفاده می‌شود.

۱-۲-۵ مقطع سهمی شکل

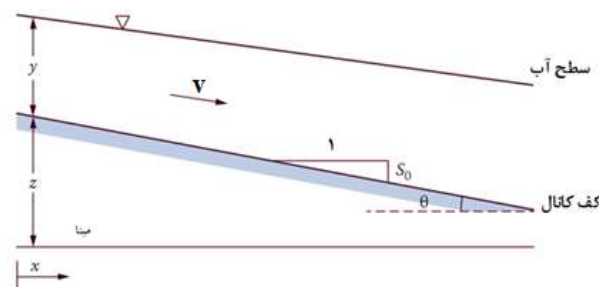
این کانال‌ها را به علت پایداری در بستر طبیعی خاک می‌سازند. این کانال‌ها با اندازه‌های کوچک و متوسط به کار می‌روند. مقاطع سهمی شکل می‌توانند به عنوان یک تقریب برای کانال‌های طبیعی با اندازه کوچک و متوسط به کار روند.

۱-۲-۶ مقاطع تونلی، نعل اسبی و تخم مرغی

این مقاطع معمولاً در تأسیسات جمع‌آوری و انتقال فاضلاب کاربرد دارند. معمولاً در آبروهای زیر سطح زمین از این کانال استفاده می‌شود.

۱-۳ اجزای هندسی کانال‌ها

شکل ۱-۳ نمایی از یک کانال باز را نشان می‌دهد که تمام پارامترهای لازم برای حل مسائل کانال‌های روباز در آن نشان داده شده است.



شکل ۱-۳. نمایی از مشخصات عمومی جریان در کانال روباز

سطح مقطع یا سطح خیس شده A ، بخشی از مقطع عرضی کانال و عمود بر جهت جریان است و جریان از تمام نقاط آن می‌گذرد.

محیط خیس شده کانال P عبارت است از طول فصل مشترک سطح مقطع جریان با دیواره‌ها و کف کانال. شعاع هیدرولیکی R عبارت است از تقسیم سطح خیس شده بر محیط خیس شده. شعاع هیدرولیکی بیان‌گر شکل مقطع جریان است، زیرا دو مقطع با شکل‌های مختلف ولی اندازه‌های برابر، شعاع هیدرولیکی متفاوتی دارند:

$$R = \frac{A}{P} \quad (1-1)$$

و عمق هیدرولیکی D حاصل تقسیم سطح خیس شده بر عرض کانال است که به صورت زیر بیان می شود:

$$D = \frac{A}{T} \quad (2-1)$$

عرض کانال در سطح آزاد را با حرف T نشان می دهند که در کانال های مستطیلی با عرض کف کانال B برابر است.

y عمق جریان و یا ارتفاع بیشینه آب داخل کانال است. فاصله قائم پایین ترین نقطه کف کانال تا سطح آزاد آب را عمق جریان می نامند که این فاصله در جهت عمود بر کف و یا در صفحه ای عمود بر جهت عمومی جریان با d نشان داده می شود. چنانچه شیب کانال اندک باشد (کمتر از ۶ درجه)، این دو مشخصه یکسان در نظر گرفته می شوند؛ ولی در کانال های با شیب تندتر، بین y و d رابطه زیر وجود دارد:

$$d = y \cos \theta \quad (3-1)$$

زاویه شیب θ ، شیب کف کانال S_f و شیب پیزومتریک^۱ یا شیب سطح آب S_w است. مقدار شیب کف به توپوگرافی زمین بستگی دارد. این شیب معمولاً ناچیز بوده و به صورت تانژانت زاویه ای است که امتداد طولی کف کانال با خط افق می سازد:

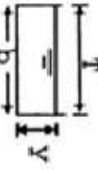
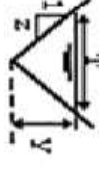
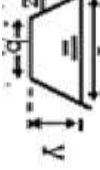
$$S_f = \tan \alpha \cong \sin \alpha \quad (4-1)$$

جدول ۱-۱ مشخصات هندسی مقاطع عرضی برخی از کانال ها را نشان می دهد. سرعت جریان v از مشخصات اولیه مهم در حل مسائل کانال های باز است. در حقیقت، سرعت جریان در جهت عمودی از مقدار صفر در کف کانال تا مقدار بیشینه در نزدیک سطح آب تغییر می کند. همچنین سرعت در عرض کانال نیز با توجه به شکل آن تغییر می کند، اما اغلب این تغییرات را ناچیز در نظر می گیریم (موگلن، ۲۰۱۵).

۴-۱ انواع جریان در مجاری باز

یکی از بهترین انواع طبقه بندی، مربوط به ونته چاو (۱۹۵۰) است که در آن تغییرات عمق جریان نسبت به زمان و مکان در نظر گرفته می شود. از این رو می توان انواع جریان را به صورت های زیر تعریف کرد:

جدول ۱-۱. مشخصات هندسی کانال‌ها

فاکتور سطح	عمق هیدرولیکی	عرض فوقانی	شیاع هیدرولیکی	محیط خیس شده	مساحت	شکل مقطع
$b y^{1/5}$	y	b	$\frac{b y}{b + r y}$	$y^2 B +$	$b y$	
$\frac{\sqrt{F}}{r} z y^{1/5}$	$\frac{1}{r} y$	$r z y$	$\frac{z y}{r \sqrt{1 + z^2}}$	$r y \sqrt{1 + z^2}$	$r z y$	
$\frac{[(b + z y) y]^{1/5}}{\sqrt{b + r z y}}$	$\frac{(b + z y) y}{b + r z y}$	$b + r z y$	$\frac{(b + z y) y}{b + r y \sqrt{1 + z^2}}$	$b + r y \sqrt{1 + z^2}$	$(b + z y) y$	
$\frac{\sqrt{F}}{r^2} \frac{(\theta - \sin \theta)^{1/5}}{\sin(\frac{\theta}{2})} D^{1/5}$	$\frac{1}{r} \left(\frac{\theta - \sin \theta}{\sin(\frac{\theta}{2})} \right) D$	$\frac{(\sin \frac{\theta}{2}) \times D}{r \sqrt{y(D - y)}}$	$\frac{1}{r} \left(1 - \frac{\sin \theta}{\theta} \right) D$	$\frac{1}{r} \theta \times D$	$\frac{1}{r} (\theta - \sin \theta) D^2$	
$A \sqrt{\frac{A}{T}}$	$\frac{A}{T}$	$r [z(y - r) + r \sqrt{1 + z^2}]$	$\frac{A}{P}$	$\frac{T}{z} \sqrt{1 + z^2} - \frac{r T}{z} (1 - z \cot^{-1} z)$	$\frac{T^2}{4 z} - \frac{r^2 T}{z} (1 - z \cot^{-1} z)$	

اگر تغییرات نسبت به زمان در نظر گرفته شود، جریان به ماندگار و غیرماندگار تقسیم می‌شود و اگر تغییرات در طول مسیر جریان یعنی نسبت به مکان در نظر گرفته شود، جریان به یکنواخت و غیریکنواخت تقسیم می‌شود.

۱-۴-۱ جریان یکنواخت^۱

جریانی که در آن سرعت سیال در تمام مقاطع لوله و کانال یکسان است، به عبارتی:

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_t = 0, \left\{\frac{\partial v}{\partial x}\right\}_t = 0 \quad (5-1)$$

جریان یکنواخت اغلب در کانال‌های ساخته‌شده برای آبیاری مشاهده می‌شود.

۲-۴-۱ جریان غیریکنواخت^۲

جریان غیریکنواخت جریانی است که در آن سرعت سیال در مقاطع مختلف لوله یا کانال یکسان نیست، به عبارت دیگر:

$$\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_t \neq 0, \left\{\frac{\partial v}{\partial x}\right\}_t \neq 0 \quad (6-1)$$

در صورت افزایش سرعت در جهت جریان، به آن جریان تندشونده^۳ و در صورت کاهش سرعت در جهت جریان، به آن جریان کندشونده^۴ می‌گویند. جریان غیریکنواخت به دلیل تغییر عمق و سرعت در مقاطع متوالی، به طور رایج در رودخانه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱-۴-ج).

۳-۴-۱ جریان دائمی یا جریان ماندگار^۵

اگر در طول مسیر جریان عمق آب در هر نقطه در تمام اوقات ثابت بماند، جریان را ماندگار گویند:

$$\frac{dy}{dt} = 0 \quad (7-1)$$

-
1. Uniform Flow
 2. Non-Uniform Flow
 3. Increasing Flow
 4. Decreasing Flow
 5. Steady Flow

۹ مفاهیم پایه

این جریان ساده‌ترین نوع جریان در آبراهه‌ها است. جریان‌های ماندگار خود به دو دسته جریان ماندگار یکنواخت و ماندگار متغیر تقسیم می‌شوند.

۴-۴-۱ جریان‌های غیردائمی یا غیرماندگار^۱

به جریانی گفته می‌شود که عمق جریان نسبت به زمان دائماً در حال تغییر باشد. این جریان‌ها نیز به جریان‌های یکنواخت و متغیر تقسیم می‌شوند:

$$\frac{dy}{dt} \neq 0 \quad (۸-۱)$$

بنابراین به‌طور کلی می‌توان گفت در جریان دائم و غیردائم، معیار طبقه‌بندی تغییرات پارامترهای جریان نظیر عمق، سرعت و بده نسبت به زمان است. در صورتی که عمق یا سرعت نسبت به زمان تغییر نکند، جریان را دائم یا ماندگار و در غیراین صورت غیردائم یا غیرماندگار می‌گویند. در صورتی که عمق با y ، سرعت جریان با v ، دبی با Q و زمان با t نشان داده شوند، آن‌گاه روابط زیر در جریان دائمی (ماندگار):

$$\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)_x = 0, \quad \left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)_x = 0, \quad \left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_x = 0 \quad (۹-۱)$$

و در جریان غیردائمی (غیرماندگار):

$$\left(\frac{\partial y}{\partial t}\right)_x \neq 0, \quad \left(\frac{\partial v}{\partial t}\right)_x \neq 0, \quad \left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_x \neq 0 \quad (۱۰-۱)$$

برقرار هستند. در حقیقت زمانی که عمق نسبت به زمان تغییر می‌کند، سایر پارامترها از جمله سرعت و دبی نیز دستخوش تغییر می‌شوند.

در جریان یکنواخت و غیریکنواخت، معیار طبقه‌بندی تغییر پارامترهای جریان نظیر عمق و سرعت نسبت به مکان است. در صورتی که اندازه این پارامترها نسبت به مکان تغییر نکنند، جریان یکنواخت و در غیراین صورت جریان غیریکنواخت نامیده می‌شود. از ادغام این نوع تقسیم‌بندی‌ها، چهار نوع جریان حاصل می‌شود.

۵-۴-۱ جریان ماندگار یکنواخت

جریان ماندگار یکنواخت به جریان‌هایی گفته می‌شود که عمق جریان در تمام مقاطع مسیر همیشه مساوی است، یعنی عمق آب نه نسبت به زمان تغییر کند و نه نسبت به مکان: