
بسم الله الرحمن الرحيم

# شرح جامع

# هیدرولیک و هیدرولیک انهار

## «مهندسی کشاورزی»

## (آبیاری و زهکشی– سازه های آبی– مهندسی منابع آب)

مؤلف: هاجر زکی‌عقل

انتشارات ارشد

## پیشگفتار ناشر

خداوند بزرگ را شاکریم که فرصتی عنایت فرمود تا بتوانیم قدمی در جهت گسترش علم و فرهنگ کشور عزیزمان برداریم و مسیری هموار را اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائیکه درحوزه کتاب‌های درسی و کمک درسی کارشناسی ارشد کتاب‌های زیادی به رشته تحریر در آمده است با این حال وجود یک مجموعه جامع، دقیق، کامل و دارای رفرنس (منابع) مستند احساس می‌شود.

همیشه دغدغه داشتیم که ای کاش می‌شد تمامی منابع پراکنده و گاهاً دست نایافتنی کنکور در یک مجموعه به گونه‌ای جذاب و شیوا آماده می‌شد و همچنین سوالات دوره‌های قبل کنکور نیز به گونه‌ای تشریحی پاسخ داده می شدند، که خدشه‌ای بر آن وارد نشود و خیال داوطلبان عزیز آنقدر آسوده باشد که اطلاعات مندرج در پاسخنامه‌ها را برای بهره‌گیری در آزمون خود بکار گیرند. این کار با یاری خداوند بزرگ و همکاری نخبه‌ترین دانشجویان و اساتید کشور در انتشارات ارشد هماهنگ گردید و در تمامی مقاطع تحصیلی از کاردانی به کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری در حوزهٔ آزمون‌های سراسری – آزاد و پیام نور بسته‌های آموزشی که شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد که حائز رتبه‌های تک رقمی کنکور می‌باشند، استفاده کرده‌ایم، تا شما عزیزان بتوانید در راستای افزایش توان علمی خود در جهت نیل به مقصود خویش نایل آیید. بدون تردید می‌توان گفت که برای اولین بار در نظام آموزشی کشور مجموعه‌ای به این سبک عرضه می‌شود که در کیفیت و کمیت بی‌نظیر بوده و تمامی نیازهای داوطلبان عزیز را پوشش داده است. امید است که استفاده از این مجموعه عزیزان را در جهت موفقیت در آزمون یاری رسانده باشد. در پایان لازم به ذکر است که بی نقصی محض از آن خداوند متعال می‌باشد، بنابراین از تمامی خوانندگان و داوطلبان عزیز خواهشمندیم نظرات سازنده خود را در مورد این کتاب به سایت انتشارات ارشد اعلام نمایند تا ما را در جهت هر چه بهتر آماده کردن این محصولات یاری رسانند.

**با تشکر**

**نـاشـــــــر**

**www.arshadbook. ir**

آفتاب فهمیدن
از افق دور و مبهمی در روح طلوع می‌کند.
و نهر سپیده‌ی صبح یک معرفت،
طلوع آفتاب یک نوع حکمت،
یک نوع عرفان، دریافت یا بینایی
از پس قلهٔ کوهی،
در صحرای بی‌پایان و اسرارآمیز «ولایت جان»،
جاری می‌شود ....
و قطره‌ها کم‌کم، جویبار
و جویبارها اندک‌اندک، نهر
و نهرها رفته‌رفته ، دریا می‌شوند.
و آدمی را از درون غرق می‌کنند.
آفتاب آگاهی، گرمای روشنِ آشنایی
- همچون حلولِ آرام و مستمر «فردا» در جان «امشب»،
و همچون ورود پنهانی و پیوسته‌ی بوی بهار
که در دفاع اسفندماه می‌پیچد.
پاره‌های سیاهی جهل و دامنه‌های یخ گرفته‌ی زمستانی
در سرزمین روح می‌راند و می‌گذراند.
و این «تغییر فصل»، آغاز دارد اما بی‌پایان است.
در این آفتاب همواره در سر زدن است.
بهار ، همواره در رسیدن
و دل مدام در فهمیدن!

## پیشگفتار مؤلف

دوستان، اساتید ارجمند و همکاران گرامی در این مجموعه کوچک تلاش کرده‌ام تا چکیده‌ای از آنچه آموخته‌ام را به یادگار گذارم و نیک می‌دانم که این مجموعه نیز خالی از ایراد و کاستی نیست. از همه شما عزیـزان خواهـشمندم هرگونـه نظـر، پیشنهاد و یا انتقادی در هر زمینه از کتاب دارید بـا ذکـر شـماره صـفحه و عنـوان مطلـب بـه آدرس پـست الکترونیکـی Zankiaghl @ gmail.com ارسال فرمائید. تا در چاپ‌های بعدی این کتاب از نواقص آن کاسته شود. پیشاپیش از توجه و دقت شما سروران کمال تشکر را دارم.

**پاینده باشید**

# فهرست مطالب

**عنوان ..... صفحه**


پیشگفتار ناشر ..... ۳
پیشگفتار مؤلف ..... ۵


## فصل اول: کلیات و مفاهیم


۱-۱ جریان در کانال‌های روباز ..... ۱۱
۱-۲ طبقه‌بندی انواع جریان ..... ۱۱
۱-۳ کانال‌های باز و مشخصات هندسی مقاطع آنها ..... ۱۳
۱-۴ وضعیت جریان ..... ۱۷
۱-۵ توزیع سرعت ..... ۱۸
۱-۶ توزیع فشار ..... ۱۸
۱-۷ معادلات اساسی حاکم بر سیالات ..... ۱۹
۱-۸ ضرایب تصحیح سرعت در معادلات اندازه حرکت و انرژی ..... ۲۱
مسائل فصل اول ..... ۲۵
پاسخ مسائل فصل اول ..... ۲۸
تستهای آخر فصل ..... ۳۵
پاسخ تستهای آخر فصل ..... ۳۶


## فصل دوم: کاربرد معادله انرژی در کانال‌های روباز


۲-۱ معادله انرژی ..... ۳۹
۲-۲ انرژی مخصوص و عمق‌های متناوب (آلشی) ..... ۴۲
۲-۳ معادله انرژی ..... ۴۳
۲-۴ منحنی $E - y$ در حالت کلی و برای هرمقطع دلخواه ..... ۴۷
۲-۵ عمق بحرانی ..... ۴۸
مسائل فصل دوم ..... ۵۰
پاسخ مسائل فصل دوم ..... ۵۳
تستهای آخر فصل ..... ۶۴
پاسخ تستهای آخر فصل ..... ۶۶

**عنوان..... صفحه**

## فصل سوم: اصل اندازه حرکت در کانال‌های روباز


۳-۱ مفهوم نیروی مومنتم ..... ۷۳
۳-۲ منحنی نیروی مخصوص در برابر عمق و اعماق مزدوج ..... ۷۴
۳-۳ پرش هیدرولیکی در کانال‌های با شیب کم ..... ۷۶
۳-۴ مقایسه بین منحنی‌های نیروی مخصوص و انرژی مخصوص ..... ۷۸
مسائل فصل ..... ۸۰
پاسخ مسائل فصل ..... ۸۴
تستهای آخر فصل ..... ۹۶
پاسخ تستهای آخر فصل ..... ۹۷


## فصل چهارم: جریان یکنواخت در کانال‌های باز


۴-۱ جریان یکنواخت ..... ۱۰۱
۴-۲- تنش برشی متوسط در جریان یکنواخت ..... ۱۰۱
۴-۳- روابط مقاومت در جریان یکنواخت ..... ۱۰۱
۴-۵- محاسبات جریان یکنواخت ..... ۱۰۲
۴-۴ ضریب انتقال و فاکتور مقطع ..... ۱۰۳
۴-۶- محاسبه دبی عبوری از کانال روباز با استفاده از رابطه شزی ..... ۱۰۳
۴-۷ سرعت حداکثر و دبی جریان ..... ۱۰۵
۴-۸- سطح مقطع بهینه کانال ..... ۱۰۶
۴-۹- زبری معادل ..... ۱۰۶
مسائل فصل ..... ۱۰۸
پاسخ مسائل فصل ..... ۱۱۲
تستهای آخر فصل ..... ۱۳۰
پاسخ تستهای آخر فصل ..... ۱۳۱


## فصل پنجم: جریان متغیر تدریجی


۵-۱- معادله اساسی ..... ۱۳۵
۵-۳- انواع پروفیل‌های جریان ..... ۱۳۵
۵-۴- محاسبات جریان متغیر تدریجی ..... ۱۳۶
مسائل فصل پنجم ..... ۱۳۸
پاسخ مسائل فصل پنجم ..... ۱۴۷
تستهای آخر فصل ..... ۱۵۳
پاسخ تستهای آخر فصل ..... ۱۵۴
منابع و مآخذ ..... ۱۸۶

# فصل اول

## کلیات و مفاهیم

### عناوین اصلی

- طبقه‌بندی انواع جریان
- کانال‌های روباز و مشخصات آنها
- وضعیت جریان
- توزیع سرعت
- توزیع فشار
- معادلات اساسی حاکم بر سیالات
- ضرایب تصحیح سرعت در معادلات انرژی و اندازه حرکت

**فصل اول**

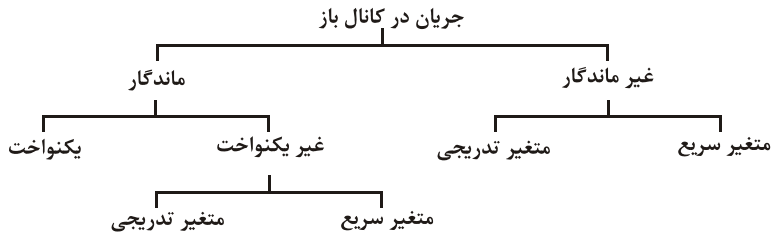
# کلیات و مفاهیم

## ۱-۱ جریان در کانال‌های روباز

جریان در کانال‌های روباز به نوعی از جریان اطلاق می‌شود که سیال با سطح آزاد حرکت می‌کند که در بیشتر موارد سیال، آب فرض می‌شود. جریان در کانال‌های آبیاری، نهرها و رودخانه‌ها، کانال‌های کشتیرانی، کانال‌های زهکش و فاضلاب نمونه‌هایی از جریان در کانال‌های روباز می‌باشند. به طورکلی تمام کانال‌های باز شیب کف دارند و وزن سیال در جهت شیب به عنوان نیروی محرک عمل می‌کند. مقاومت کناره‌ها در محیط خیس شده نیز به عنوان نیروی مقاوم عمل می‌کند. جریان آب در کانال‌های روباز کاملاً در رژیم جریان توربولانت قرار دارد که تأثیرات تنش کف در آن نادیده گرفته می‌شود. نیروی فشار در سطح آزاد، فشار اتمسفر در هر نقطه از سطح می‌باشد. بنابراین به جریان آب در یک مسیر، تحت فشار اتمسفر جریان کانال روباز گفته می‌شود. همچنین جریان آب در لوله‌های تحت فشار اتمسفر و یا هنگامی که سطح آب کمتر از قطر لوله باشد نیز در زمره جریان کانال روباز قرار می‌گیرد.

## ۱-۲ طبقه‌بندی انواع جریان

جریان در کانال‌های باز بدون هیچ جریان اضافی یا خروجی در طول کانال به صورت نمودار زیر تقسیم‌بندی می‌شود.




**همچنین جریان در کانال‌های باز به انواع زیر تقسیم می‌شود:**

۱-جریان ماندگار و غیرماندگار

۲-جریان یکنواخت و غیریکنواخت

۳-جریان لامینار و توربولانت (ورقه‌ای و آشفته)

۴-جریان زیر بحرانی، بحرانی و فوق بحرانی

### ۱-۲-۱ جریان ماندگار و غیرماندگار:

هنگامی که خصوصیات جریان مانند عمق، سرعت و شدت جریان در هر نقطه از کانال روباز نسبت به زمان تغییر نکند جریان ماندگار نامیده می‌شود. به عبارتی دیگر داریم:

$$\frac{\partial v}{\partial t}=۰\ ,\ \frac{\partial Q}{\partial t}=۰\ ,\ \frac{\partial y}{\partial t}=۰ \quad (۱-۱)$$

که در آن V سرعت جریان، Q شدت جریان و y عمق جریان می‌باشد.

چنانچه در هر نقطه‌ای از جریان کانال روباز سرعت، عمق و یا شدت جریان نسبت به زمان تغییر کند، جریان غیرماندگار می‌باشد و به عبارتی دیگر:

$$\frac{\partial v}{\partial t}\neq ۰\ ,\ \frac{\partial Q}{\partial t}\neq ۰\ ,\ \frac{\partial y}{\partial t}\neq ۰ \quad (۲-۱)$$

### ۱-۲-۲ جریان یکنواخت و غیریکنواخت

چنانچه برای مسیر مشخصی از کانال سرعت جریان، عمق، شیب کانال و سطح مقطع ثابت باشند جریان یکنواخت نامیده می‌شود. بنابراین شیب سطح آب $S_w$، شیب خط انرژی $S_f$، شیب کف $S_۰$ با هم برابر هستند. از طرفی چنانچه هرکدام از خصوصیات جریان مانند سرعت، عمق و سطح مقطع و غیره در مسیر تغییر کنند جریان غیریکنواخت می‌باشد. بنابراین داریم:

برای جریان یکنواخت $\frac{\partial y}{\partial s}=۰\ ,\frac{\partial v}{\partial s}=۰$

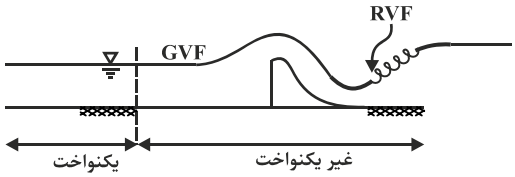
برای جریان یکنواخت $\frac{\partial y}{\partial s}\neq ۰\ ,\ \frac{\partial v}{\partial s}\neq ۰$

### ۱ – ۲ – ۳ جریان متغیر سریع و متغیر تدریجی

جریان غیرماندگار جریان متغیر نیز نامیده می‌شود که به دو نوع جریان متغیر سریع (R.V.F)) و جریان متغیر تدریجی (G.V.F)) تقسیم‌بندی می‌شود.

**الف) جریان متغیر سریع( Rapidly Varied Flow) :**

جریان متغیر سریع به حالتی از جریان گفته می‌شود که درآن عمق جریان در مسیر کوچکی از کانال بطور ناگهانی تغییر کند. همان طور که در شکل ۱-۱ نشان داده شده است، وجود هر مانعی در مسیر جریان آب، باعث افزایش سطح آب در بالای مانع و سپس کاهش آن و مجدداً افزایش عمق آب در مسیر کوتاهی از کانال می‌شود، بنابراین عمق جریان در مسیر کوتاهی از کانال به سرعت تغییر می‌کند. به این جریان در مسیر کوتاه کانال جریان متغیر سریع گفته می‌شود. پرش هیدرولیکی نمونه واضحی از جریان متغیر سریع می‌باشد.




**شکل ۱-۱ جریان غیر یکنواخت و یکنواخت**

**ب) جریان متغیر تدریجی (Gradually Varied Flow)**

چنانچه عمق جریان در مسیر طولانی از کانال تغییر کند در این صورت چنین جریانی به نام متغیر تدریجی خوانده می‌شود و با علامت G.V.F نشان داده می‌شود.

در این نوع جریان، جریان غیریکنواخت است و تغییرات عمق در طول مسیر به تدریج صورت می‌گیرد. انحنا سطح آب کم است و فشار را می‌توان هیدرواستاتیک فرض کرد. نیروی مقاومت اصطکاکی در مجاورت مرزها نقش مهمی را در این نوع جریان ایفا می‌کند. پروفیل برگشت آب(back water) در اثر برخورد با دریچه نمونه عملی این نوع جریان می‌باشد.

### ۱-۲-۴ جریان لامینار و توربولانت

چنانچه عدد رینالدز در کانال کمتر از ۵۰۰ باشد در این صورت جریان لامینار بر قرار می‌باشد.

(۴-۱)

$$Re = \frac{\rho v R}{\mu}$$

که در آن V سرعت متوسط جریان

R شعاع هیدرولیکی یا عمق هیدرولیکی

$\rho$ چگالی آب

$\mu$لزجت آب می‌باشد

چنانچه عدد رینالندز بیشتر از ۲۰۰۰ باشد در این صورت جریان توربولانت است. در حالتی که عدد رینالدز بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ باشد جریان در حالت بینابین یا انتقالی قرار دارد.

### ۱-۲-۵ جریان زیر بحرانی، بحرانی و فوق بحرانی

درصورتیکه عدد فرود کمتر از یک باشد. به جریان در کانال باز زیربحرانی گفته می‌شود عدد فرود به صورت زیر تعریف می‌شود.

(۵-۱)

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

که درآن v سرعت متوسط جریان و D عمق هیدرولیکی می‌باشد

جریان زیر بحرانی همچنین به نام جریان آرام نیز گفته می‌شود. در حالت بحرانی $Fr = ۱$ و در جریان فوق بحرانی یا جریان سریع و سیل‌آسا $Fr > ۱$ می‌باشد.

## ۱-۳ کانال‌های باز و مشخصات هندسی مقاطع آنها

در طراحی کانال‌های باز مصنوعی عمدتاً سعی می‌شود تا این کانال‌ها دارای اشکال هندسی منظمی باشند. کانال‌های مصنوعی اغلب منشوری هستند یعنی دارای سطح مقطع و شیب ثابت می‌باشند. معمول‌ترین مقاطع این کانال‌ها، مقاطع ذوزنقه‌ای و مستطیلی و در مواقعی مقاطع مثلثی می‌باشند.

مقاطع مستطیلی و مثلثی حالت خاصی از مقطع ذوزنقه‌ای می‌باشند. مقطع مستطیلی می‌تواند در مصالح سنگی حفر گردد یا دارای پوششی از مصالح سخت باشد. در حالیکه کانال‌های مثلثی در دبی‌های کم، در آبروهای حاشیه خیابان‌ها و جاده‌ها و در کارهای آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در جدول ۱-۱ مشخصات هندسی مقاطع مختلف کانال‌ها آورده شده است. لازم به توضیح است که کانال‌های طبیعی خصوصاً در ابعاد کوچک را می‌توان با یکی از مقاطع ذکرشده تقریب زد. مشخصات هندسی مقاطع کانال‌های باز به اختصار عبارتند از:

-**عمق جریان (y)**: فاصله قائم پایین‌ترین نقطه کف کانال تا سطح آزاد آن عمق جریان نامیده می‌شود.

-**تراز:** در یک مقطع از کانال، فاصله قائم سطح آزاد آب نسبت به یک سطح مبنای دلخواه تراز گفته می‌شود.

-**سطح مقطع جریان (A)**: مساحت مقطع جریان در صفحه عمود بر جهت کلی جریان، سطح مقطع جریان نامیده می‌شود.

-**عرض سطح آزاد (T)**: به طولی از مقاطع جریان گفته می‌شود که با هوای آزاد در تماس باشد.

-**پیرامون مرطوب (P)**: درصورتی که از محیط کلی مقطع جریان عرض سطح آزاد آب را کم نماییم، پیرامون مرطوب به دست می‌آید که محدوده تماس جریان با بستر کانال را نشان می‌دهد.

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

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

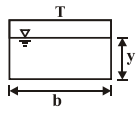
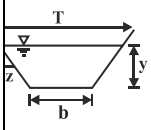
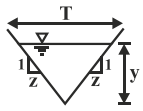
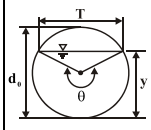
-**عمق هیدرولیکی (D)**: بنا به تعریف نسبت سطح مقطع جریان به عرض سطح آزاد آب، عمق هیدرولیکی نامیده می‌شود.

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

-**فاکتور سطح (Z)**: این فاکتور به صورت زیر تعریف شده است:

$$Z = A\sqrt{D} = A\sqrt{\frac{A}{T}} = A^{\frac{۳}{۲}}.T^{\frac{-۱}{۲}}$$

جدول ۱-۱ مشخصات هندسی مقاطع کانال‌های معمول

| مقطع | مساحت A | پیرامون مرطوب P | شعاع هیدرولیکی R | عرض سطح T | عمق هیدرولیکی R | فاکتور سطح Z |
|---|---|---|---|---|---|---|
|  | $by$ | $b+۲y$ | $\frac{by}{b+۲y}$ | $b$ | $y$ | $by^{۱/۵}$ |
|  | $by+zy^{۲}$ | $+۲y\sqrt{۱+z^{۲}}$ | $\frac{by+zy^{۲}}{+۲y\sqrt{۱+z^{۲}}}$ | $b+۲zy$ | $\frac{by+zy^{۲}}{b+۲zy}$ | $\frac{((b+zy)y)^{۱/۵}}{\sqrt{b+۲zy}}$ |
|  | $zy^{۲}$ | $۲y\sqrt{۱+z^{۲}}$ | $\frac{zy}{۲\sqrt{۱+z^{۲}}}$ | $۲zy$ | $\frac{۱}{۲}y$ | $\frac{\sqrt{۲}}{۲}zy^{۲/۵}$ |
|  | $d_{\circ}^{۲}(\theta-\sin\theta)$ | $\frac{۱}{۲}\theta d_{\circ}$ | $d_{\circ}(۱-\frac{\sin\theta}{\theta})$ | $\sqrt{y(d_{\circ}-y)}$ یا $d_{\circ}(\sin\frac{۱}{۲}\theta)$ | $d_{\circ}\left(\frac{\theta-\sin\theta}{\sin\frac{۱}{۲}\theta}\right)$ | $d_{\circ}^{۲/۵}\left(\frac{(\theta-\sin\theta)^{\frac{۱}{۵}}}{(\sin\frac{۱}{۲}\theta)^{۰/۵}}\right)$ |

## ۱-۴ وضعیت جریان

### ۱-۴-۱ وضعیت جریان تحت تاثیر نیروی لزجت

نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت تحت عنوان پارامتر بدون بعد عدد رینالدز عنوان می‌شود که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_e=\frac{\rho vL}{\mu}=\frac{vL}{\nu}$$

که در آن $\rho$ چگالی سیال، $V$ سرعت مشخصه کانال، $\mu$ لزجت دینامیکی، $\nu$ لزجت سنیماتیکی، $D$ مشخصه طول جریان است که در کانال‌های باز با $R$ (شعاع هیدرولیکی) بیان می‌شود.

تحت تاثیر این دو نیرو، سه حالت متفاوت جریان در کانال‌های باز مشاهده می‌شود.

**الف) جریان آرام (لایه‌ای یا لامینار)**: در این حالت نیروی لزجت بیشتر از نیروی اینرسی می‌باشد و ذرات آب در راستای عمومی حرکت جریان به آرامی روی یکدیگر می‌لغزند.

**ب) جریان آشفته(متلاطم یا توربولانت)** : در این حالت نیروی اینرسی بیشتر از نیروی لزجت می‌باشد و ذرات آب از مسیر اصلی خود خارج شده و دارای حرکات پراکنده غیرمشخص و نامنظم در عرض نیز می‌باشند.

**ج) جریان انتقالی (ترانزیشن)**: این حالت حد وسط دوحالت فوق می‌باشد

بنابراین بطور خلاصه داریم:

جریان آرام $R_e < ۵۰۰$

جریان انتقالی $۵۰۰ \le R_e \le ۲۰۰۰$

جریان توربولانت $R_e > ۲۰۰۰$

### ۱-۴-۲ وضعیت جریان تحت تاثیر نیروی ثقل

نسبت نیروی اینرسی به نیروی لزجت در قالب پارامتر دینامیکی بدون بعد عدد فرود بیان می‌شود.

که در آن V سرعت متوسط، L طول مشخصه از جریان که در کانال‌های باز برابر عمق هیدرولیکی (D) $Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}}$

می‌باشد و g شتاب نیروی جاذبه زمین می‌باشد.

با توجه به میزان عدد فرود سه حالت متفاوت جریان تعریف می‌شود که عبارتند از:

الف) جریان فوق بحرانی که در آن $Fr > ۱$ است. در این حالت به ازای دبی ثابت، عمق جریان کم و سرعت زیاد است.

ب) جریان زیربحرانی که در آن $Fr < ۱$است. در این حالت به ازای دبی ثابت، عمق جریان زیاد و سرعت کم است

ج) جریان بحرانی که در آن $Fr = ۱$ می‌باشد

### ۱-۴-۳ رژیم جریان

تاثیر مشترک نیروی ثقل و نیروی لزجت به رژیم جریان را در کانال‌های باز مشخص می‌کند:

رژیم زیربحرانی- آرام $R_e < ۵۰۰ \ , \ Fr < ۱$

رژیم زیربحرانی – آشفته $R_e > ۲۰۰۰ \ , \ Fr < ۱$

زیر فوق بحرانی- آرام $R_e < ۵۰۰ \ , \ Fr > ۱$

زیر فوق بحرانی- آشفته $R_e > ۲۰۰۰ \ , \ Fr > ۱$

## ۱-۵ توزیع سرعت

با توجه به تاثیر لزجت آب، وجود جداره‌ها و زبری آنها، وجود سطح آزاد آب و نامنظمی مقاطع، فرض ثابت بودن سرعت در مقطع جریان درست نیست. می‌توان با اندازه‌گیری سرعت در چند نقطه از یک مقطع منحنی‌های هم سرعت را ترسیم کرد. به طورکلی نتایجی که از این منحنی‌ها گرفته می‌شود اینست که تغییرات سرعت در نزدیکی جداره بیشتر است. مقدار سرعت در جداره‌ها صفر و سرعت ماکزیمم در نزدیکی سطح آب وجود دارد. به تجربه ثابت شده است که میانگین سرعت در اعماق ۰/۲y و ۰/۸ y ،سرعت متوسط در مقطع قائم را بدست خواهد داد. یعنی:

$$\overline{v} = \frac{۱}{۲}(v_{./۲y} + v_{./۸y})$$

چنانچه عمق جریان کم باشد، سرعت در ۰/۶ y از **سطح آزاد آب** به عنوان سرعت متوسط در آن مقطع در نظر گرفته می‌شود.

## ۱-۶ توزیع فشار

همانطور که می‌دانیم عمق جریان(y) عبارتست از فاصله قائم پائین‌ترین نقطه کف کانال تا سطح آزاد. علاوه بر عمق y، گاهی عمق d فاصله پایین‌ترین نقطه کف کانال تا سطح آزاد در امتداد عمود بر کف کانال تعریف می‌شود. رابطه بین این دو عمق به صورت زیر می‌باشد:

$$y = \frac{d}{Cos(\theta)}$$

که $\theta$ زاویه طولی کف کانال با افق می‌باشد. در اغلب کانال‌ها و مجاری طبیعی $\theta$ کوچک است و $y \simeq d$ انتخاب می‌شود. تنها در کانال‌های با شیب تند $\theta$ قابل صرفنظر کردن نمی‌باشد و به همین ترتیب در میزان فشار نیز تغییراتی حاصل می‌شود.

با توجه به شکل زیر اگر معادله حرکت برای جرم ستون آب در نظر گرفته شود (درجهت عمود برحرکت جریان)




$$\sum F_n = \circ \Rightarrow PdA = \gamma h dA \cos\theta \ \Rightarrow P = \gamma h \cos\theta \qquad (۶-۱)$$

در صورتی که فشار در کف کانال موردنظر باشد با قراردادن d بجای h خواهیم داشت:

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

که در کانال‌های با شیب کم داریم:

$$(۷-۱)$$

$$p \simeq \gamma y$$

اما در کانال‌های با انحنا در صفحه قائم مانند تغییرات فشار در قسمت تاج سرریزها و یا در انحنای پای سرریزها، مولفه شتاب در جهت عمود بر خطوط جریان عبارت است از

$$\sum F_n = ma_n \ \therefore PdA - \gamma h dA = P.dAh\frac{v^2}{r}$$

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

$$h' = h_s + \frac{v^2 h}{gr} \Rightarrow h' = h_s + c \qquad (۸-۱)$$

بطورکلی فشار در این موارد از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$h' = h\cos\theta \pm \frac{v^2 h}{gr} \qquad (۹-۱)$$

که درآن h ستونی از آب به عمق h، v سرعت متوسط، r شعاع انحنا، g شتاب جاذبه زمین است.

درصورتی که تقعر کانال به سمت پایین باشد ضریب تصحیح منفی و اگر تقعر به سمت بالا باشد ضریب تصحیح مثبت می‌باشد .

## ۱-۷ معادلات اساسی حاکم بر سیالات

معادلات ریاضی تعیین کننده حرکت سیالات از قوانین اساسی فیزیک حاصل می‌شوند. قوانین بقای جرم، بقای انرژی و بقای اندازه حرکت از جمله قوانینی هستند که در بدست آوردن معادلات جریان در کانال‌های روباز مورد استفاده قرار می‌گیرند.

در بررسی جریان‌های غیردائمی یک بعدی علاوه بر بعد مکان x، متغیر مستقل زمان t نیز دخالت داده می‌شود. بنابراین به علت وجود دو متغیر مستقل x و t معادلات جریان‌های غیردائمی به صورت معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزئی خواهند بود.

از آنجا که سطح مقطع جریان تابع عمق و دبی جریان حاصلضرب سرعت متوسط در سطح مقطع می‌باشد، کافی است که از چهار کمیت فوق دو کمیت مستقل از یکدیگر مثلاً y,v یا A,Q تعیین شوند.

برای یافتن دو کمیت مستقل به دو معادله مستقل نیاز خواهد بود. معادله پیوستگی جریان که با استفاده از اصل بقای جرم بدست می‌آید، یکی از این معادلات خواهد بود. انتخاب معادله دوم بسته به نوع مساله فرق خواهد کرد بطوریکه در جریان‌های دائمی هرگاه بین دو مقطع مورد بررسی، مقدار نامشخصی از انرژی تلف شود (نظیر تلفات انرژی در جهش آبی) معادله انرژی کمکی نخواهد کرد و می‌بایست از معادله تغییرات اندازه حرکت استفاده کرد. بالعکس هرگاه بین دو مقطع مورد مطالعه نیروی نامعینی به سیال وارد شود (نظیر نیرویی که یک دریچه به سیال وارد می‌کند) معادله تغییرات اندازه حرکت کارساز نیست و می‌باید از معادله انرژی کمک گرفت.

### ۱-۷-۱ رابطه پیوستگی

طبق قانون بقای جرم، جرم ورودی با حجم کنترل به جرم خروجی از آن در واحد زمان برابر می‌باشد، در این صورت رابطه پیوستگی بصورت زیر تعریف می‌شود:

(۱۰-۱)

$$\rho V_1 A_1 = \rho V_2 A_2 \Rightarrow V_1 A_1 = V_2 A_2 = Q$$

### ۱-۷-۲ رابطه اندازه حرکت

برای جریان‌های دائمی رابطه اندازه حرکت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\vec{\sum} F = \vec{M}_{out} + \vec{M}_{in}$$

$$F_{p_1} - F_{p_2} - F_f + w \sin\theta = \rho Q (V_2 - V_1)$$

که در آن $F_{P_{1,2}}$ نیروی وارد بر سیال، $F_f$ نیروی اصطکاک W نیروی وزن آب می‌باشد.

این رابطه براساس سرعت متوسط بدست آمده است، لذا برای در نظر گرفتن سرعت واقعی از ضریب تصحیح $\beta$ که به صورت زیر نوشته می‌شود استفاده می‌گردد.