
بسم الله الرحمن الرحيم

شرح جامع و نمونه سوالات

هیدرولیک

«مهندسی عمران»

مولف: آزیتا سادات غضنفری هاشمی

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 در اختیار مخاطبان و داوطلبان علاقمند به ادامه تحصیل قرار دهیم. از آنجائی که 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 آنها 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 شامل کتاب‌های بانک سوالات و کتاب‌های شرح جامع درس آماده گردید. در تهیه مجموعه‌های فوق‌الذکر از فارغ‌التحصیلان کارشناسی ارشد و دکتری 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 دانشجویان و داوطلبان عزیز را پوشش می‌دهد. 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، بنا براین 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

ناشـــــر

www.arshadbook. ir

پیشگفتار مولف

خداوند بزرگ را شاکرم که توفیق انجام این خدمت کوچک را برایم فراهم نمود و امیدوارم نتیجه کار مورد رضایت پروردگار متعال قرار گیرد.

بعلت اهمیت آب در زندگی بشر، نیازمند به شناخت منابع آب، روش‌های انتقال و استفاده بهینه از آن هستیم.

جریان آب تحت اثر نیروی ثقل در مجاری رو باز تحت عنوان هیدرولیک کانال‌های باز مطرح می‌شود که یکی از شاخه‌های علم مکانیک سیالات است.

از آنجا که کتابهای موجود در زمینه هیدرولیک، کمتر به بحث و تفسیر موارد مذکور می‌پردازد سعی بر آن داشتم که در کتاب حاضر، به تفسیر بیشتر موارد مذکور بپردازم. در این کتاب بیشتر از سر فصلها و مثال‌های موجود در کتاب هیدرولیک کانال‌های باز دکتر جلیل ابریشمی استفاده نمودم و نیز از کتاب محققین برجسته‌ای چون chow , Henderson, Ragu , Subramanya بهره جستم. در پایان هر فصل مجموعه‌ای از تست‌های سازمان سنجش همراه با تشریح و تفسیر سوالات جمع‌آوری شده است. امید است که مجموعه حاضر برای کلیه خوانندگان مفید واقع شود. در ضمن اگر نقایصی در مطالب کتاب وجود دارد از کلیه خوانندگان گرامی خواستار راهنمایی جهت رفع آنها می‌باشم.

در پایان این کتاب را به ارواح طیبه شهداء، مفقودالاثرها، جانبازان، آزادگان و رزمندگان جمهوری اسلامی تقدیم می‌نمایم که با ایثار و فداکاری خود، عزت و شرف را به ما هدیه کردند و نیز این کتاب را به مادر و پدر عزیز و ایثارگرم، همسر همراه و پشتیبانم، دو برادر و فرزند عزیز و مشوقم تقدیم می‌نمایم. که هر چه دارم از وجود آنهاست و همچنین از دوست و مشاور عزیزم خانم دکتر رستم آبادی کمال تقدیر و قدردانی را دارم.

همچنین از مدیریت و پرسنل انتشارات ارشد بابت زحمات طاقت‌فرسا در تحریر و چاپ این اثر کمال تشکر و قدردانی را دارم.

با تشکر

غضنفری هاشمی

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

پیشگفتار ناشر ۳
پیشگفتار مولف ۴

فصل اول: کلیات و مفاهیم اولیه

۱ـ مفاهیم پایه ۹
۱ـ۱ـ مقایسه جریان در لوله‌های تحت فشار و کانالهای باز ۹
۱ـ۲ کانالهای باز مشخصات هندسی مقاطع آن‌ها ۱۰
۱ـ۳ـ انواع جریان در کانالهای باز ۱۲
۱ـ۴ـ وضعیت جریان در کانال‌های باز ۱۳
۱ـ۵ـ توزیع سرعت در کانالها ۱۴
۱ـ۶ـتوزیع فشار در کانالها ۱۴
۱ـ۷ـ روابط اساسی حاکم بر حرکت سیالات در کانالهای باز ۱۷

فصل دوم: انرژی در کانالهای باز

۲-۱ معادله انرژی ۲۳
۲-۲ انرژی مخصوص ۲۴
۲-۲-۱ انرژی مخصوص در کانالهای مستطیل با شیب کم، معرفی عمق بحرانی و اعماق متناوب ۲۵
۲-۳- تحلیل جریان ناشی از یک برآمدگی موضعی در کانال مستطیلی ۲۶
۲-۴ جریان ناشی از یک تنگنای موضعی در کانال مستطیلی ۳۳
۲-۵ بررسی وضعیت جریان در حالت ایجاد تنگنای موضعی در کانال مستطیلی با استفاده از منحنی $q-y$ ۳۸
۲-۶ منحنی $E-y$ در حالت کلی و برای هر مقطع دلخواه ۴۰
خلاصه فصل ۴۳

فصل سوم: اصل اندازه حرکت در کانالهای باز و کاربرد آنها

مقدمه ۶۵
۳-۱ رابطه اندازه حرکت در کانالهای باز و معرفی نیروی مخصوص ۶۵
۳-۲ منحنی نیروی مخصوص در برابر عمق و اعماق مزدوج ۶۷
۳-۳ تحلیل پرش هیدرولیکی با استفاده از معادله نیروی مخصوص در کانال با شیب کم ۶۸

عنوان **صفحه**

۳-۴ مقایسه بین منحنی‌های انرژی مخصوص و نیروی مخصوص ۷۲
۳-۵ پرش هیدرولیکی مستغرق ۷۴
خلاصه فصل ۸۰

فصل چهارم: جریان یکنواخت در کانالهای باز

۴ـ۱ـ شکل‌گیری جریان یکنواخت ۹۱
۴ـ۲ـ سرعت متوسط در جریانهای یکنواخت ۹۲
۴-۳ محاسبه عمق نرمال ۹۵
۴ـ۴ تعیین شیب نرمال، شیب بحرانی، شیب بحرانی نرمال ۹۶
۴ـ۵ زبری معادل ۹۸
۴ـ۶ بهترین مقطع هیدرولیکی ۱۰۱
خلاصه فصل ۱۰۳

فصل پنجم: تئوری جریان متغیر تدریجی (دائمی) در کانالهای باز

۵ ـ۱- شکل‌گیری جریان متغیر تدریجی ۱۱۹
۵ـ۲ تئوری جریانهای متغیر تدریجی ۱۲۰
۶ـ قرارگیری پله‌ای در مسیرجریان ۱۳۱
محاسبات جریان متغیر تدریجی و دائمی در کانالهای باز ۱۳۷
خلاصه فصل ۱۳۹

سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۲ ..... ۱۵۷
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۲ ..... ۱۵۸
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۳ ..... ۱۶۰
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۳ ..... ۱۶۲
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۴ ..... ۱۶۶
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۴ ..... ۱۶۸
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۵ ..... ۱۷۲
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۵ ..... ۱۷۴
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۶ ..... ۱۷۷
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۶ ..... ۱۷۹
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۷ ..... ۱۸۲
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۷ ..... ۱۸۴
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۸ ..... ۱۸۷
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۸ ..... ۱۸۹
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۹ ..... ۱۹۳
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۷۹ ..... ۱۹۶

عنوان **صفحه**

سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۸۰ ..... ۲۰۱
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۸۰ ..... ۲۰۳
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۸۱ ..... ۲۰۷
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۸۱ ..... ۲۰۹
سوالات هیدرولیک سراسری سال ۱۳۸۸ ..... ۲۱۳
پاسخنامه هیدرولیک سراسری سال ۱۳۸۸ ..... ۲۱۵
سوالات مکانیک سیالات و هیدرولیک سراسری سال ۱۳۸۹ ..... ۲۱۷
پاسخنامه مکانیک سیالات و هیدرولیک سراسری سال ۱۳۸۹ ..... ۲۲۱
سؤالات مکانیک سیالات و هیدرولیک سراسری سال ۱۳۹۰ ..... ۲۲۲
پاسخنامه مکانیک سیالات و هیدرولیک سراسری سال ۱۳۹۰ ..... ۲۲۷
سؤالات مکانیک سیالات و هیدرولیک سراسری سال ۱۳۹۱ ..... ۲۲۸
پاسخنامه مکانیک سیالات و هیدرولیک سراسری سال ۱۳۹۱ ..... ۲۳۳
سؤالات مکانیک سیالات و هیدرولیک سراسری سال ۱۳۹۲ ..... ۲۳۴
پاسخنامه مکانیک سیالات و هیدرولیک سراسری سال ۱۳۹۲ ..... ۲۳۸

فصل اول

کلیات و مفاهیم اولیه

عناوین اصلی

- مقایسه جریان در لوله‌های تحت فشار و کانال‌های باز
- کانال‌های باز و مشخصات هندسی مقاطع آنها
- انواع جریان در کانال‌های باز
- وضعیت جریان در کانال‌های باز
- توزیع سرعت در کانال‌ها
- توزیع فشار در کانال‌ها
- روابط اساسی حاکم بر حرکت سیالات در کانال‌های باز

فصل اول

کلیات و مفاهیم اولیه

۱ـ مفاهیم پایه

مقدمه

در مجاری تحت فشار کل مایع در تماس با جداری جامد است و به عبارتی مایع در مجرایی بسته در جریان است مانند جریان آب در لوله‌های آبرسانی شهری ولی در کانال باز، مایع در تمام مرزها، در تماس با جدار جامد نمی‌باشد در یک مرز از جریان در تمام مسیر خود در معرض فشار اتمسفر قرار دارد مانند جریان آب در آبراهه‌های طبیعی، شبکه‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب.

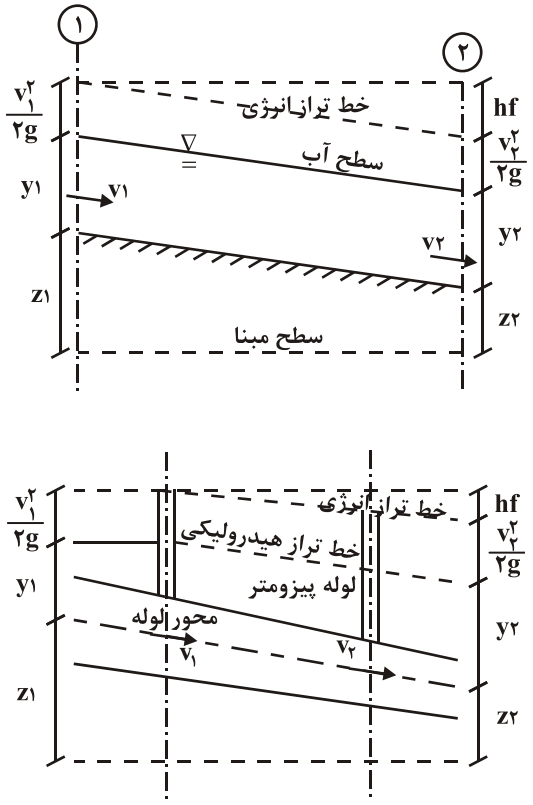
۱ـ۱ـ مقایسه جریان در لوله‌های تحت فشار و کانالهای باز

طبق تعریف انرژی در واحد وزن ($\frac{N.m}{N}$) که دارای بعد طول است برای هر مقطع از جریان عبارت است از ارتفاع معادل سرعت ($\frac{V^2}{2g}$)، ارتفاع معادل فشار ($\frac{p}{\gamma}$) و ارتفاع مبنا (z) می‌باشد که $\frac{v^2}{2g}$ همان انرژی جنبشی در واحد وزن بر مبنای سرعت متوسط در هر مقطع از جریان بیان می‌شود و $\frac{p}{\gamma}$ کار نیروی فشاری در واحد وزن، z میزان انرژی پتانسیل ذرات آب در واحد وزن می‌باشند.

$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z \qquad (۱-۱)$$

خط انرژی نشان‌دهنده مقدار انرژی در هر مقطع جریان در مسیر جریان است که به علت افت انرژی، در مسیر جریان خط تراز انرژی دارای شیب کاهنده‌ای می‌باشد. h_f میزان افت انرژی در مسیر طولی جریان می‌باشد.

خط تراز هیدرولیکی یا خط پیزومتری عبارت است از جمع مقادیر $z+\frac{p}{\gamma}$ و با خط تراز انرژی به میزان $\frac{v^2}{2g}$ فاصله دارد. در کانالهای باز با شیب کم سطح پیزومتری بر سطح آزاد آب منطق است یعنی سطح آزاد آب همان خط تراز هیدرولیکی است که اگر به خط تراز هیدرولیکی ارتفاع معادل سرعت افزوده شود، ($\frac{v^2}{2g}$)، تراز انرژی به دست می‌آید. (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱ مقایسه جریان در لوله‌های تحت فشار و کانال‌های باز

۱ـ۲ کانالهای باز مشخصات هندسی مقاطع آن‌ها

۱ـ۲ـ۱ تقسیم‌بندی کانال‌ها

از نظر تغییرات سطح مقطع، کانال‌ها به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

۱ـ کانال‌های منشوری: در مسیرشان سطح مقطع و شیب ثابت است مانند کانالهای مصنوعی

۲ـ کانال‌های غیر منشوری: در مسیرشان سطح مقطع و یا شیب کانال متغیر است مانند آبروهه‌های طبیعی

۱ـ۲ـ۲ـ مشخصات هندسی مقاطع کانالهای باز

مشخصات زیر در شکل ۱ـ۲ رسم شده است

۱ـ عمق جریان(y): در یک محل فاصله عمودی (عمود بر خط افق) در گودترین نقطه تا سطح آزاد آب را عمق جریان گویند.

۲ـ در یک محل فاصله عمودی (عمود بر کف کانال) گودترین نقطه تا سطح آزاد آب را با d نشان می‌دهند و ارتباط d با عمق جریان بصورت $d = y\cos\theta$ می‌باشد.

۳ـ سطح مقطع جریان (A)، در هر محل سطح مقطع جریان عبارت از سطحی است که عمود بر کف کانال است و توسط مایع اشغال می‌شود

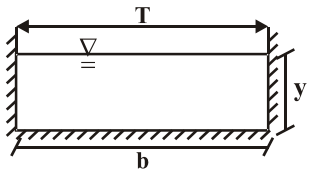
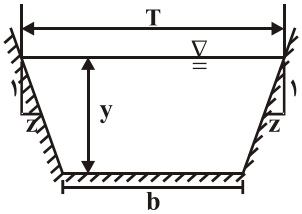
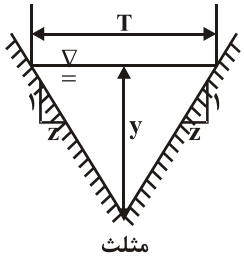
۴ـ عرض سطح آزاد (T)، طولی از مقطع جریان که در تماس با هوای آزاد است.

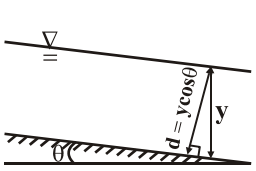
۵ـ پیرامون مرطوب (P) مرز مشترک سیال با مجرا است.

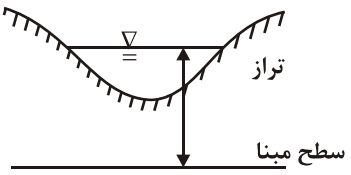
۶ـ شعاع هیدرولیکی نسبت سطح مقطع جریان بر پیرامون‌تر $(R = \frac{A}{P})$ می‌باشد.

۷ـ عمق هیدرولیکی، نسبت سطح مقطع جریان به عرض سطح آزاد ($D=\frac{A}{T}$) می‌باشد.
در جدول ۱-۱ برای ۳ مقطع معمول این مشخصات حساب شده است.

جدول ۱ـ۱ مشخصات هندسی مقاطع کانال‌ها

مقطع	مساحت A	پیرامون مرطوب P	شعاع هیدرولیکی $R=\frac{A}{P}$	عرض سطح T	عمق هیدرولیکی $D=\frac{A}{T}$
 مستطیل	By	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	b	y
 ذوزنقه	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$
 مثلث	zy^2	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$\frac{1}{2}y$





شکل ۱-۲- مشخصات هندسی مقاطع در کانال‌های باز

۱ـ۳ـ انواع جریان در کانالهای باز

۱ـ جریان دائمی ـ غیردائمی

اگر در هر مقطع، خصوصیات جریان نسبت به زمان ثابت باشد. آنرا جریان دائمی گویند و در غیر اینصورت جریانی است غیر دائمی

جریان دانمی $\frac{\partial y}{\partial t} = 0$ در هر مقطع مشخص از جریان (ثابت x)

جریان غیر دائمی $\frac{\partial y}{\partial t} \neq 0$ در هر مقطع مشخص از جریان (ثابت x)

۲ـ جریان یکنواخت و غیر یکنواخت (متغیر)

اگر در هر لحظه زمانی ثابت عمق جریان در طول مسیر جریان ثابت بماند، جریان یکنواخت و در غیر این صورت جریان غیر یکنواخت است و سطح آب دارای انحناء است.

جریان یکنواخت $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$ در هر لحظه زمانی ثابت $(t = cte)$

جریان غیر یکنواخت $\frac{\partial y}{\partial x} \neq 0$ در هر لحظه زمانی ثابت $(t = cte)$

۳ـ جریان متغیر تدریجی

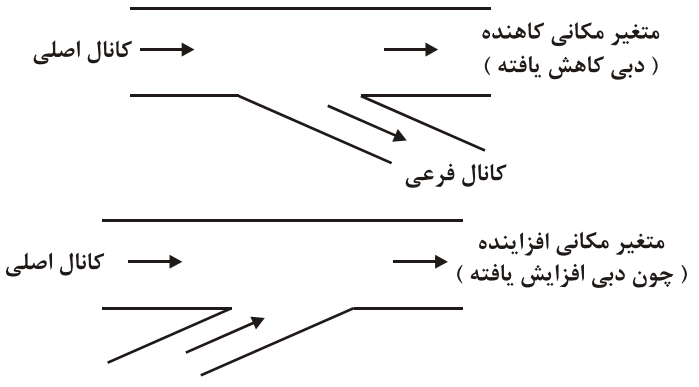
تغییرات عمق جریان در مسیری طولانی صورت گیرد، انحناء سطح آب کم است و می‌توان از قانون توزیع فشار هیدرواستاتیکی جریان استفاده نمود.

۴ـ جریان متغیر سریع

تغییرات عمق جریان در مسیر کوتاهی صورت می‌گیرد و دیگر نمی‌توان از مولفه شتاب در جهت عمود بر خطوط جریان $(\frac{V^2}{r})$ صرفنظر کرد و فشار هیدرواستاتیکی نمی‌باشد. مثل جریان در تاج سرریزها و یا در انحناء پای سرریزها.

۵ـ جریان متغیر مکانی

هرگاه به جریان دبی اضافه و یا کاسته شود آن را جریان متغیر مکانی گویند مثل محل تقاطع کانالهای جریان (شکل ۱-۳)



شکل ۱-۳ جریان متغیر مکانی

۱ـ۴ـ وضعیت جریان در کانال‌های باز

۱ـ۴ـ۱ـ اثر نیروی لزجت

نسبت نیروی شتاب دهنده به نیروی لزجت را عدد رینولدز گویند که مقدار عدد رینولدز (Re) وضعیت جریان را نشان می‌دهد.

$$Re = \frac{\rho UL}{\mu} \propto \sqrt{\frac{\text{نیروی شتاب دهنده}}{\text{نیروی لزجت}}} \qquad (۱-۲)$$

در رابطه (۱-۲) ρ، جرم مخصوص سیال، μلزجت دینامیکی سیال، U سرعت متوسط سیال، L طول مشخصه جریان است که در کانالها، طول مشخصه جریان، شعاع هیدرولیکی (R) در نظر گرفته می شود پس عدد رینولدز به صورت فرمول(۱-۳) خواهد بود که در آن ν، لزجت سیتماتیکی سیال است.

$$Re = \frac{\rho UR}{\mu} = \frac{UR}{\nu} \qquad (۱-۳)$$

بسته به مقدار عدد رینولدز ۳ وضعیت جریان شکل می‌گیرد که در زیر توضیح داده می‌شود.

الف) جریان آرام: نیروی لزجت نسبتا به ۲ وضعیت دیگر جریان، قدرت بیشتری نسبت به نیروی شتاب دهنده دارد. گرادیان سرعت و تنش برش از قانون لزجت نیوتنی پیروی می‌کند.

$$Re < ۵۰۰,\ \Gamma = \mu \frac{dU}{dy}$$

ب) جریان آشفته (متلاطم): نیروی شتاب دهنده قوت بیشتری نسبت به نیروی لزجت دارد. علاوه بر لزجت مطلق، لزجت گردابه‌ای نیز در تعیین تنش برش نقش دارد. ذرات سیال دارای حرکات پراکنده غیر مشخص و نامنظم هستند.

$$Re > ۲۰۰۰$$

ج) جریان انتقالی: جریانی تبدیلی است، نه آشفته و نه آرام است. در این حالت، جریان به آسانی از آشفته به آرام و یا بالعکس تبدیل می‌شود.

$$۵۰۰ < Re < ۲۰۰۰$$

۱ـ۴ـ۲ـ تأثیر نیروی ثقل

تأثیر نیروی ثقل بویژه در کانالهای باز بصورت پارامتر بدون بعدی به نام عدد فرود (Fr) معرفی می‌شود.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL}} \propto \sqrt{\frac{\text{نیروی شتاب‌دهنده}}{\text{نیروی کل}}} \qquad (۱-۴)$$

که در رابطه (۱-۴)، v سرعت متوسط، g شتاب ثقل و L طول مشخصه از جریان می باشد. در کانالهای باز L (طول مشخصه‌ای از جریان) برابر عمق هیدرولیکی (D) گرفته می‌شود یعنی $(Fr = \frac{v}{\sqrt{gD}})$ و در کانالهای مستطیلی $Fr = \frac{v}{\sqrt{gy}}, D = \frac{A}{p} = y$ می‌باشد.

مخرج کسر $\sqrt{gy}$ سرعت انتشار موج سطحی است و براساس میزان عدد فرود وضعیت جریان در کانال مستطیلی به صورت زیر تقسیم‌بندی می‌شود.

الف) فوق بحرانی $Fr > ۱ \ , \ V > \sqrt{gy}$

با توجه به اینکه سرعت در وضعیت فوق بحرانی بیشتر از سرعت موج سطحی است لذا موج حاصله از اغتشاش موضعی در جریان، قابلیت انتقال به بالادست جریان را ندارد (اثبات در مثال ۵-۱).

ب) زیر بحرانی $Fr < ۱ \ , \ V < \sqrt{gy}$

در این حالت موج حاصله در پایین دست از اغتشاش موضعی در جریان توانایی انتقال به بالادست خود را دارد و می توان گفت در جریان زیر بحرانی، رفتار بالادست از پایین دست جریان تاثیر می پذیرد (اثبات مثال ۵-۱).

ج) بحرانی $Fr = ۱ \ , \ V = \sqrt{gy}$

۱ـ۵ـ توزیع سرعت در کانالها

با توجه به شکل ۱ – ۴ توزیع سرعت در کانال‌ها به صورت زیر است:

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

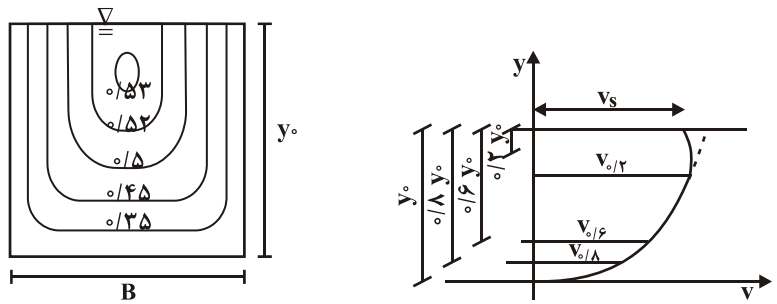
۲ـ گرادیان سرعت در مجاورت مرزها بیشتر است.

۳ـ سرعت ماکزیمم در هر مقطع قائم، در نزدیکی سطح آب و در فاصله ۰/۰۵ تا ۰/۲۵ عمق جریان از سطح آزاد قرار دارد

۴ـ به تجربه سرعت متوسط، میانگین دو سرعت در اعماق $۰/۲y_۰$, $۰/۸y_۰$ می‌باشد.

$$V = \frac{V_{./۲y_۰} + v_{./۸y_۰}}{۲} \qquad (۵-۱)$$

اگر عمق جریان کم باشد، سرعت متوسط در آن مقطع برابر سرعت در عمق $۰/۶y_۰$ از سطح آزاد آب می‌باشد.



شکل ۱ – ۴ توزیع سرعت در کانال باز

سرعت در سطح یک مقطع جریان توسط رابطه $v = kv_s$ به سرعت در مقطع ارتباط می یابد. k ضریبی است که تابع شکل مقطع بوده و بین۰/۸ تا۰/۹۵ تغییر می کند و در کارهایی عمل مقدار دقیق تر آن قابل تعیین است، سرعت متوسط در سطح (v_s) را می توان با استفاده از یک جسم شناور اندازه گیری نمود.

۱ـ۶ـتوزیع فشار در کانالها

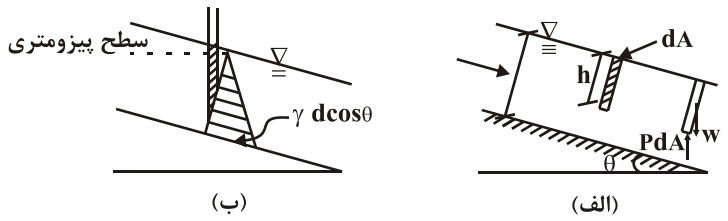
۱ـ۶ـ۱ـ توزیع فشار در جریان یکنواخت

برای یافتن توزیع فشار در مقطعی خاص از جریان یکنواخت، ستونی از آب به عمق h (عمود بر خطوط جریان) و سطح مقطع dA در نظر گرفته و معادله اندازه حرکت را در جهت عمود بر خطوط جریان می‌نویسیم: (به علت اینکه خطوط جریان موازی‌اند، مولفه شتاب در جهت عمود بر خطوط جریان وجود ندارد).

$\sum F_n = \circ \rightarrow$ مولفه وزن در جهت عمود بر خطوط جریان = نیروی فشاری

$$pdA = \gamma h\, dA \cos\theta \rightarrow p = \gamma h \cos\theta$$

$$p = \gamma d \cos\theta = \gamma y \cos^2\theta$$ مقدار فشار در کف کانال (۱-۶)



شکل ۱-۵ توزیع فشار در جریان یکنواخت

P فشار نسبی و h عمق تا سطح آزاد آب در صفحه‌ای عمود بر جهت عمومی جریان و θ زاویه شیب کانال می‌باشد. در کانال با شیب کم، $\theta \approx \circ$ و از عبارت $\cos^2\theta$ می‌توان صرفنظر نمود $(p = \gamma y \cos^2\theta = \gamma y)$ و خط تراز هیدرولیکی منطبق بر سطح آزاد می‌شود.

۱ـ۶ـ۲ـ توزیع فشار در جریانهای متغیر تدریجی

با توجه به انحناء کم جریان، می‌توان از مولفه عمودی شتاب صرفنظر کرد و توزیع فشار را هیدرواستاتیکی و از همان روابط (۱ـ ۶) استفاده نمود.

۱ـ۶ـ۳ـ توزیع فشار در جریانهای با انحنا در صفحه قائم

می‌توان جریان در قسمت تاج و یا در انحناء پای سرریزها را از این دسته نام برد. بدین منظور ستونی از آب به عمق h (در جهت عمود بر جریان) و سطح مقطع dA شکل (۱ - ۶)، در نظر می‌گیریم و معادله حرکت رادر جهت عمود بر خطوط جریان می‌نویسیم.

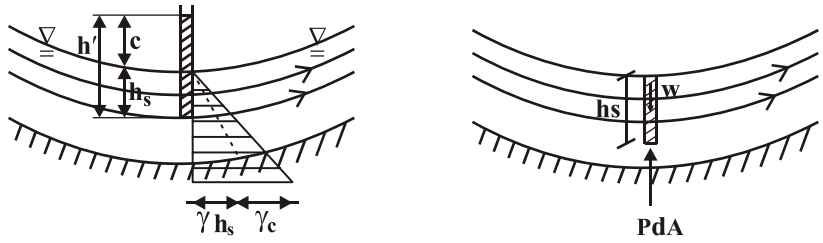
$$\sum F_n = ma_n \rightarrow pdA - \gamma h dA = \rho dA \times h\frac{V^2}{r}$$

$$P = \gamma h + \frac{\gamma V^2 h}{rg} \rightarrow \frac{P}{\gamma} = h' = h + \frac{V^2 h}{rg} = h_s + c$$

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

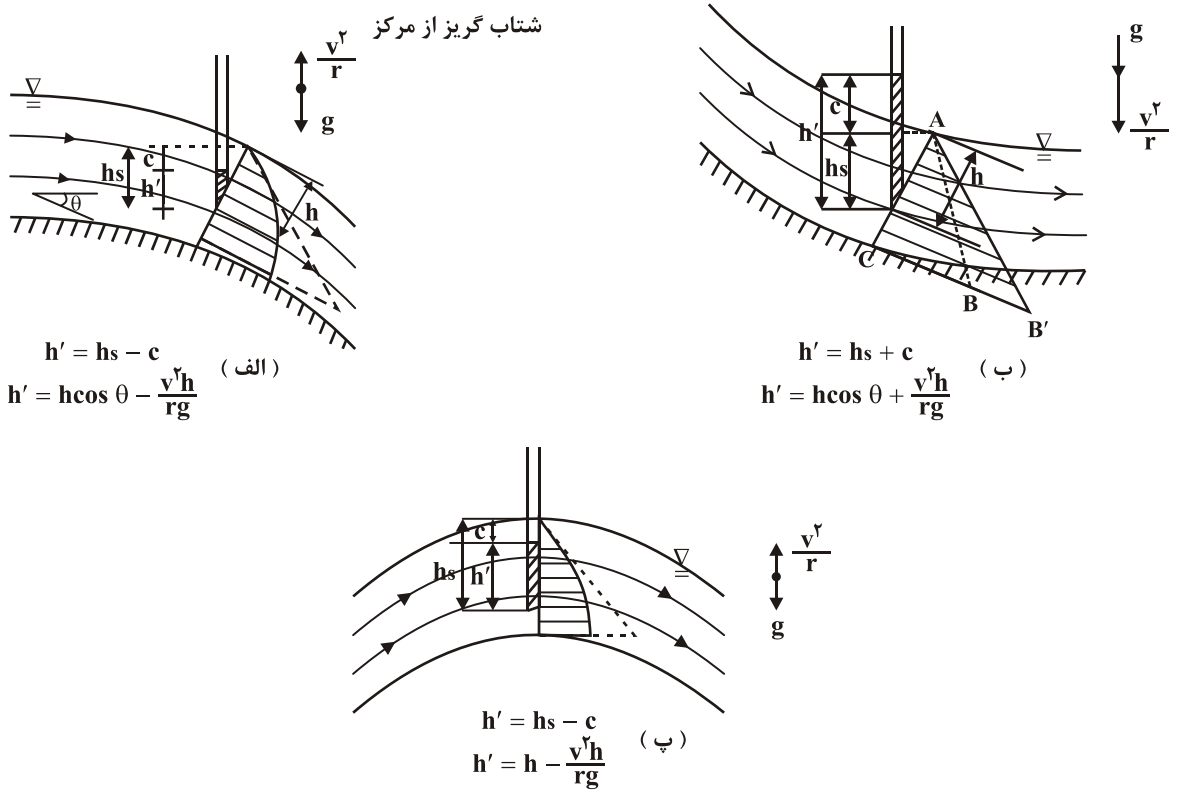
در روابط a_n شتاب جانب مرکز، r شعاع انحنا، v سرعت یکنواخت و متوسط جریان در مقطع مورد نظر، 'h ارتفاع معادل فشار بر حسب ستون آب است.

همان طور که در روابط بالا دیده می‌شود. اگر شتاب گریز از مرکز هم جهت با شتاب ثقل (g) باشد. فشار بیشتر از فشار هیدرواستاتیکی می‌شود زیرا ارتفاع ستون آب به اندازه $\frac{V^2 h}{rg} = \frac{\frac{V^2}{r}(\text{شتاب گریز از مرکز}) \times h(\text{ارتفاع ستون آب})}{\text{شتاب ثقل}}$ زیاد می‌شود که h ستون آب به عمق h و r در این روابط شعاع انحناء مربوط به نصف آن عمق می‌باشد.



شکل ۱ – ۶ جریان در کانال با انحناء مقعر در صفحه قائم

در شکل ۱-۷ توزیع فشار در کانال با انحناء محدب و مقعر نشان داده شده است.



شکل ۱ – ۷جریان در کانال‌های دارای انحناء در صفحه قائم

همانطور که در اشکال ۱ـ۷ دیده می‌شود اگر شتاب گریز از مرکز در خلاف جهت شتاب ثقل باشد. سطح پیزومتر کمتر از فشار هیدرواستاتیک است مانند ۱ ـ۷ـ الف و پ، و اگر شتاب گریز از مرکز هم جهت با شتاب ثقل باشد، سطح پیزومتر بیشتر از فشار هیدرواستاتیکی است.

۱ـ۷ـ روابط اساسی حاکم بر حرکت سیالات در کانالهای باز

۱ـ۷ـ۱ـ روابط پیوستگی

به علت اینکه جریان در کانال باز دائمی است پس تغییرات هر مشخصه‌ای نسبت به زمان صفر است. پس جرم ورودی و جرم خروجی از حجم کنترل ثابت و با توجه به ثابت بودن جرم حجمی دبی ورودی و دبی خروجی برابر می‌شوند،

$$Q = cte \rightarrow V_1A_1 = V_2A_2$$

۱-۷-۲- سرعت متوسط

همانطور که می‌دانیم در هر مقطع از جریان سرعت ثابت نیست و طبق تعریف سرعت متوسط در هر مقطع از جریان سرعتی است که اگر فرض شود تمام ذرات سیال در آن مقطع با این سرعت ثابت عبور کنند، همان میزان دبی با فرض توزیع حقیقی حاصل شود.

$$Q = V = \frac{\int udA}{A} \rightarrow \text{ سرعت متوسط } V = \frac{\int udA}{A} \rightarrow$$

۱-۷-۳- رابطه اندازه حرکت

با توجه به دائمی بودن جریان یعنی صفر بودن تغییرات هر مشخصه‌ای نسبت به زمان، معادله اندازه حرکت بصورت زیر برقرار می‌شود.

$$\sum \vec{F} = \vec{M}_{out} - \vec{M}_{in} \rightarrow Fp_1 - Fp_2 - F_f + w\sin\theta = \rho V_2A_2\beta_2V_2 - \rho V_1A_1\beta_1V_1 = \rho Q(\beta_2V_2 - \beta_1V_1) \qquad (۹-۱)$$

Fp_i نیروی فشار در هر مقطع جریان، w وزن آب داخل حجم کنترل، F_f نیروی اصطکاک کف کانال می‌باشد.

۱-۷-۳-۱- ضریب تصحیح اندازه حرکت β

اگر بخواهیم توزیع حقیقی سرعت را در معادله اندازه حرکت اعمال کنیم ضریب اصلاح β را منظور می‌کنیم. که اگر این ضریب β در سرعت متوسط ضرب شود، اثر توزیع حقیقی سرعت را در معادله اندازه حرکت اعمال می‌کند.

$$\beta = \frac{\int \rho V^2 dA}{\rho AV^2} = \frac{\int V^2 dA}{AV^2} \qquad (۱۰-۱)$$

۱-۷-۴- رابطه انرژی

در یک سیال ایده‌آل (بدون اصطکاک و تراکم ناپذیر) رابطه بر نولی (مجموع عبارات $\frac{p}{\gamma}, z, \frac{V^2}{2g}$) برای هر خط جریان مقداری ثابت است و اگر جریان غیر چرخشی باشد (انحناء سطح آب کم باشد) رابطه برنولی برای تمام نقاط (روی تمام خطوط جریان) یک مقدار ثابت است و می‌توان فرض نمود برای کل نقاط جریان رابطه برنولی صادق است.

$$z + \frac{p}{\gamma} + \alpha\frac{V^2}{2y} = cte \qquad (۱۱-۱)$$

۱-۷-۴-۱- ضرب تصحیح انرژی جنبشی (α)

از آنجا که در معادله برنولی، تحلیل براساس یک بعدی بودن جریان در نظر گرفته شد برای تصحیح انرژی جنبشی می‌توان از ضریب α استفاده کرد:

$$\text{انرژی جنبشی جاری شده از سطح مقطع در واحد زمان بر مبنای توزیع سرعت حقیقی} = \int \rho \frac{U^3}{2} dA = \int \frac{\gamma U^3 dA}{2g}$$

$$\text{انرژی جنبشی جاری شده از سطح مقطع در واحد زمان بر مبنای سرعت متوسط} = \frac{mV^2}{2} = \rho VA \frac{V^2}{2} = \frac{\rho V^3}{2} A = \frac{\gamma V^3}{2g} A$$

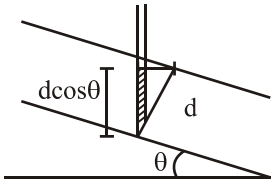
از برابری دو رابطه: $\alpha = \frac{\int U^3 dA}{U^3 A}$ (۱۲ - ۱)

مثال

۱-۱- کف کانال با افق چه زاویه‌ای بسازد که فشار در کف برابر با نصف d (عمق) گردد (فشار بر حسب ارتفاع ستون آب در نظر گرفته شود). **(سال ۱۳۷۳)**

۱) 60° ۲) 30°

۳) 45° ۴) 20°



جواب: «گزینه ۱»

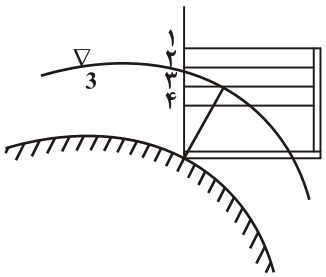
$$\frac{p}{\gamma} = d\cos\theta = \frac{d}{2} \rightarrow \cos\theta = \frac{1}{2} \rightarrow \theta = 60^\circ$$

مثال

۱-۲- سطح تقریبی مایع، در پیزومتری که در کف کانالی با انحنای محدب در صفحه قائم کار گذاشته شود منطبق برکدام تراز داده شده در شکل است؟ **(سال ۱۳۸۰)**

۱) ۱ ۲) ۲

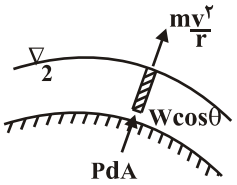
۳) ۳ ۴) ۴



اگر فشار هیدرواستاتیک برقرار بود سطح تراز آب در پیزومتریک منطق بر سطح ۳ بود ولی به علت انحناء جریان عمق آب بصورت $h = h_s \pm c$ تغییر می‌کند که بعلت آنکه شتاب گریزاز مرکز (نه شتاب جانب مرکز) مخالف جهت شتاب ثقل می‌باشد. باعث کم شدن ارتفاع آب در پیزومتر نسبت به حالت فشار هیدرواستاتیکی می‌باشد بنابراین گزینه ۴ درست می‌باشد. با نوشتن معادله اندازه حرکت در جهت عمود بر خطوط جریان برای ستون آبی به عمق h و سطح متغیر dA داریم:

$$\sum F_n = ma_n \rightarrow -pdA + \gamma h_s dA \times \cos\theta = \rho dA \times h\frac{V^2}{r}$$

$$p = \gamma h_s \cos\theta - \frac{\gamma V^2 h}{rg} \rightarrow \frac{p}{\gamma} = h' = h_s - \frac{V^2 h}{rg} = h_s - c$$



فصل دوم

انرژی در کانال‌های باز

عناوین اصلی

- معادله‌ی انرژی
- انرژی مخصوص
- تحلیل جریان ناشی از یک برآمدگی موضعی در کانال مستطیلی
- جریان ناشی از یک تنگنای موضعی در کانال مستطیلی
- بررسی وضعیت جریان در حالت ایجاد تنگنای موضعی از کانال مستطیلی با استفاده از منحنی $q-y$
- منحنی $E-y$ در حالت کلی و برای هر مقطع دلخواه
- محاسبات عمق بحرانی