

۳	فهرست مطالب
۷	فهرست اشکال و نمودارها
۱۱	فهرست جداول
۱۲	چکیده

## فهرست مطالب

۱۴	فصل اول: مقدمه
۱۴	۱-۱ کلیات
۱۴	۲-۱ ضرورت انجام و هدف تحقیق
۱۵	۳-۱ موارد تحقیقی مورد بررسی و تشریح فصول
۱۸	۲ فصل دوم: مروری بر ادبیات پیشینه موضوع و سابقه تحقیق
۱۸	۱-۲ مقدمه ای بر هیدرولیک کانالهای باز
۱۸	۱-۱-۲ مقایسه جریان در کانالهای باز و جاری تحت فشار
۲۰	۲-۱-۲ کانالهای باز و مشخصات هندسی مقاطع آنها
۲۰	۱-۲-۱-۲ تقسیم بندی کانالها
۲۱	۲-۱-۲-۲ مشخصات هندسی مقاطع کانالهای باز
۲۲	۱-۲-۳ طبقه بندی و تشخیص انواع جریان در کانالهای باز
۲۴	۱-۲-۴ حالات جریان در کانالهای باز
۲۴	۱-۲-۴-۱ تاثیر نیروی لزجت:
۲۶	۱-۲-۴-۲ تاثیر نیروی ثقل
۲۶	۱-۲-۴-۳ رژیم جریان
۲۷	۲-۲ توزیع سرعت در کانالها
۳۰	۱-۲-۲ روابط توزیع سرعت :
۳۱	۲-۲-۲ جریان آرام
۳۲	۲-۲-۳ جریان آشفته هموار
۳۴	۳-۲ توزیع سرعت متوسط عمقی و تنش برشی
۳۵	۱-۳-۲ معرفی مدل ها
۳۵	۱-۳-۲-۱ مدل چيو (Chiu)

۳۶	۲-۳-۱-۲ مدل سارما و همکاران (Sarma et al.)
۳۸	۲-۳-۱-۳ مدل یانگ (Yang)
۳۸	۲-۴-الگوهای جریان ثانویه در کانال های باز
۴۱	۲-۵-تحقیقات مشابه صورت گرفته بر روی کانال
۴۳	۳فصل سوم : مواد و روش ها
۴۳	مقدمه
۴۳	۳-۱-جریان یکنواخت در کانال ها
۴۳	۳-۱-۱-برقراری جریان یکنواخت (Establishment of Uniform Flow)
۴۵	۳-۱-۲-سرعت متوسط در جریانهای یکنواخت
۴۵	۳-۱-۲-۱-فرمول شزی (Chezy Equation)
۴۷	۳-۱-۲-۲-رابطه ی مانینگ (Manning Equation)
۴۷	۳-۱-۲-۳-رابطه ی دارسی - ویسباخ (Darcy-Weisbach Equation)
۴۷	۳-۱-۳- نحوه ایجاد جریان یکنواخت در فلوم
۴۸	۳-۱-۴- نمودارهای دبی - اشل در کانال های روباز
۴۸	۳-۱-۴-۱- روابط دبی-اشل
۴۹	۳-۱-۴-۲- منحنی دبی-اشل جریان پایدار یکنواخت
۵۰	۳-۱-۴-۳- دشواری های تعریف روابط دبی-اشل
۵۰	۳-۱-۵- ارائه روابط دبی-اشل
۵۱	۳-۱-۵-۱- قالب گرافیکی
۵۱	۳-۱-۵-۲- قالب جدولی
۵۲	۳-۱-۵-۳- قالب معادله ای و تحلیلی
۵۲	۳-۱-۶- ترسیم خودکار و دستی
۵۲	۳-۱-۷- آثار تغییرات کنترلی روی منحنی های دبی-اشل

۵۳	۲-۳ معرفی دستگاههای تست
۵۳	۱-۲-۳ فلوم آزمایشگاهی تحقیقاتی (Research Experimental Flume)
۵۴	۱-۱-۲-۳ مخزن آب
۵۵	۲-۱-۲-۳ پمپ ها
۵۵	۳-۱-۲-۳ جکهای هیدرولیکی
۵۶	۴-۱-۲-۳ کانال فلوم
۵۶	۵-۱-۲-۳ کانال ورودی
۵۷	۶-۱-۲-۳ کانال خروجی
۵۷	۷-۱-۲-۳ عمق سنج
۵۸	۸-۱-۲-۳ مرکز کنترل فلوم
۵۸	۲-۲-۳ دبی سنج
۵۹	۳-۲-۳ سرعت سنج
۵۹	۱-۳-۲-۳ اصحت سنجی
۶۰	۳-۳ تهیه و ساخت نمونه های آزمایشگاهی
۶۰	۱-۳-۳ کایبره نمودن کف کانال در شبیههای مختلف
۶۲	۲-۳-۳ مشخصات فیزیکی مصالح بکار رفته
۶۳	۳-۳-۳ کانال تقرب
۶۳	۴-۳-۳ نمونه های ساخته شده در کانال
۶۷	۴ فصل چهارم: تجزیه و تحلیل داده های آزمایشگاهی
۶۷	۱-۴ مقدمه
۶۷	۲-۴ پروفیل عمق جریان
۹۱	۳-۴ بررسی اجمالی رژیم جریان
۹۲	۴-۴ نمودار دبی - اشل

۹۵	۴-۵ نمودار ضریب زبری n مانینگ - عمق جریان
۹۸	۴-۶ نمودار ضریب اصطکاک f دارسی - ویسباخ
۱۰۰	۴-۷ نمودار شیب - دبی - عمق
۱۰۲	۴-۸ توزیع سرعت
۱۰۲	۴-۸-۱ پروفیل عرضی سرعت
۱۰۵	۴-۸-۲ نمودار بیشینه سرعت
۱۰۸	۵ فصل پنجم: مدل سازی عددی و تجزیه تحلیل داده ها
۱۰۸	۵-۱ مقدمه
۱۰۸	۵-۲ معرفی نرم افزار FLOW-3D و مدل سازی
۱۰۹	۵-۲-۱ معادلات حاکم
۱۱۲	۵-۲-۲ مدل آشفتگی
۱۱۲	۵-۲-۳ مشخصات مقاطع مورد بررسی و بکار رفته در آزمایشگاه
۱۱۴	۵-۲-۴ زمان شبیه سازی
۱۱۶	۵-۲-۵ حساسیت سنجی
۱۱۹	۵-۲-۶ ایجاد هندسه مرزهای جامد و شبکه بندی مدل عددی
۱۲۰	۵-۲-۷ شرایط مرزی
۱۲۲	۵-۲-۸ مدل سازی مقاطع مثلثی
۱۲۳	۵-۳ نتایج بحث داده های عددی
۱۲۳	۵-۳-۱ پروفیل عمق جریان
۱۲۴	۵-۳-۲ منحنی دبی - اشل
۱۲۷	۵-۳-۳ پروفیل عرضی فشار
۱۲۸	۵-۳-۴ پروفیل عرضی سرعت
۱۳۰	۵-۳-۵ نمودار بیشینه سرعت

۱۳۴	فصل ششم : نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات
۱۳۴	۶-۱ نتیجه گیری
۱۳۵	۶-۲ ارائه ی پیشنهادات
۱۳۶	منابع و مراجع

### فهرست اشکال و نمودارها

۱۹	شکل ۱-۲ مقایسه جریان در لوله های تحت فشار و کانالهای روباز
۲۳	شکل ۲-۲ جریان دائمی در کانالهای باز
۲۸	شکل ۳-۲ توزیع سرعت
۲۹	شکل ۴-۲ منحنی های هم سرعت در مقاطع مختلف
۳۰	شکل ۵-۲ توزیع سرعت در یک مقطع قائم
۳۳	شکل ۶-۲ نمودار توزیع تنش برشی، $\tau_{xy}(z)$ ، و سرعت $u(z)$ برای جریان یکنواخت
۳۶	شکل ۷-۲ سیستم مختصات مستقل $\xi-\eta$ در مدل چپو
۳۷	شکل ۸-۲ نواحی مختلف در مدل سارما و همکاران
۳۸	شکل ۹-۲ تقسیم سطح مقطع برای کانال مستطیلی در مدل یانگ
۴۰	شکل ۱۰-۲ توزیع سرعت
۴۳	شکل ۱-۳ جریان یکنواخت پس از خروج آب از دریاچه
۴۵	شکل ۲-۳ جریان یکنواخت در یک کانال منشوری
۴۹	شکل ۳-۳ نمونه های از منحنی دبی-اشل
۵۱	شکل ۴-۳ مثالی از فرم گرافیکی منحنی دبی-اشل (Braca, 2008)
۵۱	شکل ۵-۳ مثالی از منحنی دبی-اشل در فرمت جدولی و معادله ای (Braca, 2008)
۵۳	شکل ۶-۳ فلوم آزمایشگاهی
۵۴	شکل ۷-۳ نمایی کلی فلوم
۵۴	شکل ۸-۳ مخزنهای آب فلوم
۵۵	شکل ۹-۳ پمپ ها
۵۵	شکل ۱۰-۳ جک تنظیم شیب
۵۶	شکل ۱۱-۳ کانال فلوم
۵۶	شکل ۱۲-۳ کانال ورودی جریان

۵۷	شکل ۳-۱۳ کانال خروجی .....
۵۷	شکل ۳-۱۴ عمق سنج .....
۵۸	شکل ۳-۱۵ محفظه ی کنترل .....
۵۸	شکل ۳-۱۶ دبی سنج و سنسورهای اولتراسونوتیک .....
۵۹	شکل ۳-۱۷ سرعت سنج H32-1-A .....
۶۰	شکل ۳-۱۸ نمودار و رابطه ی واسنجی دستگاه سرعت سنج مولینهای (نوع Armfield) .....
۶۰	شکل ۳-۱۹ نمودار تغییرات شیب کف کانال در حالت شیب صفر .....
۶۱	شکل ۳-۲۰ نمودار تراز عمق سنج با سطح آزاد آب .....
۶۱	شکل ۳-۲۱ نمودار دبی-عمق برای شیب ۰/۰۰۵ .....
۶۲	شکل ۳-۲۲ مهارهای چوبی برای وجه جانبی مقطع ۴۵° .....
۶۳	شکل ۳-۲۳ کانال تقرب برای مقطع ۳۰° .....
۶۴	شکل ۳-۲۴ مقطع ۳۰° ساخته شده در آزمایشگاه .....
۶۴	شکل ۳-۲۵ مقطع ۴۵° ساخته شده در آزمایشگاه .....
۶۵	شکل ۳-۲۶ مشخصات کلی فلوم .....
۶۸	شکل ۴-۱ نمودار تراز سطح آزاد آب ( $Q=5.65 \text{ LPS}$ , $S_0=0.1\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۶۸	شکل ۴-۲ تنظیمات دریچه با عمق نرمال ( $Q=5.65 \text{ LPS}$ , $S_0=0.1\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۶۹	شکل ۴-۳ نمودار تراز سطح آزاد آب ( $Q=11.80 \text{ LPS}$ , $S_0=0.1\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۶۹	شکل ۴-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال ( $Q=11.80 \text{ LPS}$ , $S_0=0.1\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۰	شکل ۴-۵ نمودار تراز سطح آزاد آب ( $Q=16.95 \text{ LPS}$ , $S_0=0.1\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۰	شکل ۴-۶ تنظیمات دریچه با عمق نرمال ( $Q=16.95 \text{ LPS}$ , $S_0=0.1\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۱	شکل ۴-۷ نمودار تراز سطح آزاد آب ( $Q=20.55 \text{ LPS}$ , $S_0=0.1\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۱	شکل ۴-۸ تنظیمات دریچه با عمق نرمال ( $Q=20.55 \text{ LPS}$ , $S_0=0.1\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۲	شکل ۴-۹ نمودار تراز سطح آزاد آب ( $Q=5.65 \text{ LPS}$ , $S_0=0.2\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۲	شکل ۴-۱۰ تنظیمات دریچه با عمق نرمال ( $Q=5.65 \text{ LPS}$ , $S_0=0.2\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۳	شکل ۴-۱۱ نمودار تراز سطح آزاد آب ( $Q=11.80 \text{ LPS}$ , $S_0=0.2\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۳	شکل ۴-۱۲ تنظیمات دریچه با عمق نرمال ( $Q=11.80 \text{ LPS}$ , $S_0=0.2\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۴	شکل ۴-۱۳ نمودار تراز سطح آزاد آب ( $Q=16.95 \text{ LPS}$ , $S_0=0.2\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۴	شکل ۴-۱۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال ( $Q=16.95 \text{ LPS}$ , $S_0=0.2\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....
۷۵	شکل ۴-۱۵ نمودار تراز سطح آزاد آب ( $Q=20.55 \text{ LPS}$ , $S_0=0.2\%$ , $\theta = 30^\circ$ ) .....

- شکل ۱۶-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=20.55$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۵
- شکل ۱۷-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۶
- شکل ۱۸-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۶
- شکل ۱۹-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=11.80$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۷
- شکل ۲۰-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=11.80$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۷
- شکل ۲۱-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=16.95$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۸
- شکل ۲۲-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=16.95$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۸
- شکل ۲۳-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=20.55$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۹
- شکل ۲۴-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=20.55$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 30^\circ$  ) ..... ۷۹
- شکل ۲۵-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=20.55, Q=16.95, Q=11.80, Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.8\%$ , ) ..... ۷۹
- .....  $\theta = 30^\circ$  ۸۰
- شکل ۲۶-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=20.55, Q=16.95, Q=11.80, Q=5.65$  LPS,  $S_0=1.6\%$ , ) ..... ۸۰
- .....  $\theta = 30^\circ$  ۸۰
- شکل ۲۷-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.1\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۱
- شکل ۲۸-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.1\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۱
- شکل ۲۹-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=11.80$  LPS,  $S_0=0.1\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۲
- شکل ۳۰-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=11.80$  LPS,  $S_0=0.1\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۲
- شکل ۳۱-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=16.95$  LPS,  $S_0=0.1\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۳
- شکل ۳۲-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=16.95$  LPS,  $S_0=0.1\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۳
- شکل ۳۳-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=20.55$  LPS,  $S_0=0.1\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۴
- شکل ۳۴-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=20.55$  LPS,  $S_0=0.1\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۴
- شکل ۳۵-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۵
- شکل ۳۶-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۵
- شکل ۳۷-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=11.80$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۶
- شکل ۳۸-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=11.80$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۶
- شکل ۳۹-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=16.95$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۷
- شکل ۴۰-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=16.95$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۷
- شکل ۴۱-۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=20.55$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۸
- شکل ۴۲-۴ تنظیمات دریچه با عمق نرمال (  $Q=20.55$  LPS,  $S_0=0.2\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۸



- شکل ۴-۴۳ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.4\%$ ,  $\theta = 45^\circ$  ) ..... ۸۹
- شکل ۴-۴۴ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=20.55$ ,  $Q=16.95$ ,  $Q=11.80$ ,  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.4\%$ , ) ..... ۸۹
- شکل ۴-۴۵ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=20.55$ ,  $Q=16.95$ ,  $Q=11.80$ ,  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=0.8\%$ , ) ..... ۹۰
- شکل ۴-۴۶ نمودار تراز سطح آزاد آب (  $Q=20.55$ ,  $Q=16.95$ ,  $Q=11.80$ ,  $Q=5.65$  LPS,  $S_0=1.6\%$ , ) ..... ۹۰
- شکل ۴-۴۷ نمودار دبی - اشل برای مقطع مثلثی  $30^\circ$  (برازش منحنی درجه دو) ..... ۹۲
- شکل ۴-۴۸ نمودار دبی - اشل برای مقطع مثلثی  $30^\circ$  (برازش منحنی  $Qh = C(h)b$ ) ..... ۹۳
- شکل ۴-۴۹ نمودار دبی - اشل برای مقطع مثلثی  $45^\circ$  (برازش منحنی درجه دو) ..... ۹۳
- شکل ۴-۵۰ نمودار دبی - اشل برای مقطع مثلثی  $45^\circ$  (برازش منحنی  $Qh = C(h)b$ ) ..... ۹۴
- شکل ۴-۵۱ نمودار دبی - مانینگ شبیه‌های مختلف برای مقطع مثلثی  $30^\circ$  ..... ۹۶
- شکل ۴-۵۲ نمودار مانینگ - عمق شبیه‌های مختلف برای مقطع مثلثی  $30^\circ$  ..... ۹۶
- شکل ۴-۵۳ نمودار دبی - مانینگ شبیه‌های مختلف برای مقطع مثلثی  $45^\circ$  ..... ۹۷
- شکل ۴-۵۴ نمودار مانینگ - عمق شبیه‌های مختلف برای مقطع مثلثی  $45^\circ$  ..... ۹۷
- شکل ۴-۵۵ نمودار دبی - دارسی ویسباخ شبیه‌های مختلف برای مقطع مثلثی  $30^\circ$  ..... ۹۸
- شکل ۴-۵۶ نمودار دارسی ویسباخ - عمق شبیه‌های مختلف برای مقطع مثلثی  $30^\circ$  ..... ۹۹
- شکل ۴-۵۷ نمودار دبی - دارسی ویسباخ شبیه‌های مختلف برای مقطع مثلثی  $45^\circ$  ..... ۹۹
- شکل ۴-۵۸ نمودار دارسی ویسباخ - عمق شبیه‌های مختلف برای مقطع مثلثی  $45^\circ$  ..... ۱۰۰
- شکل ۴-۵۹ نمودار ۳ بعدی شیب-دبی - عمق برای مقطع  $30^\circ$  ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۶۰ نمودار ۳ بعدی شیب-دبی - عمق برای مقطع  $45^\circ$  ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۶۱ نمودار توزیع سرعت در مقطع عرضی مثلثی  $45^\circ$  ..... ۱۰۳
- شکل ۴-۶۲ نمودار دبی - بیشینه سرعت برای مقطع  $30^\circ$  ..... ۱۰۵
- شکل ۴-۶۳ نمودار دبی - بیشینه سرعت برای مقطع  $45^\circ$  ..... ۱۰۶
- شکل ۴-۶۴ نمودار مقایسه دبی - بیشینه سرعت برای مقاطع  $30^\circ$  و  $45^\circ$  ..... ۱۰۶
- شکل ۵-۱ نحوه عبور جریان از روی کانال بدون دریچه ی تحتانی در بازه‌های زمانی مختلف ..... ۱۱۵
- شکل ۵-۲ نحوه عبور جریان از روی کانال با دریچه ی تحتانی در بازه‌های زمانی مختلف ..... ۱۱۶
- شکل ۵-۳ ..... ۱۱۷

شکل ۴-۵ نحوه عملکرد روش FAVOR با مرزهای جامد	۱۱۸
شکل ۵-۵ الگوی شبکه بندی	۱۱۹
شکل ۶-۵ هندسه مرزهای جامد	۱۲۰
شکل ۷-۵ شرایط مرزی اعمال شده	۱۲۱
شکل ۸-۵ پروفیل عمق جریان بدست آمده بعد از آنالیز مدل عددی ( $Q=16.95, S=0.001, \theta=45^\circ$ )	۱۲۳
شکل ۹-۵ نمودار دبی - اشل برای مقطع مثلثی $30^\circ$ (برازش منحنی $Qh = C(h)b$ )	۱۲۵
شکل ۱۰-۵ نمودار مقایسه دبی - اشل آزمایشگاهی با عددی برای مقطع مثلثی $30^\circ$	۱۲۵
شکل ۱۱-۵ نمودار دبی - اشل برای مقطع مثلثی $45^\circ$ (برازش منحنی $Qh = C(h)b$ )	۱۲۶
شکل ۱۲-۵ نمودار مقایسه دبی - اشل آزمایشگاهی با عددی برای مقطع مثلثی $45^\circ$	۱۲۶
شکل ۱۳-۵ پروفیل عرضی فشار بدست آمده بعد از آنالیز مدل عددی ( $Q=16.95, S=0.008, \theta=30^\circ$ )	۱۲۷
شکل ۱۴-۵ پروفیل عرضی فشار بدست آمده بعد از آنالیز مدل عددی ( $Q=11.8, S=0.001, \theta=30^\circ$ )	۱۲۸
شکل ۱۵-۵ نمودار توزیع سرعت در مقطع عرضی مثلثی $30^\circ$ ( $Q=16.95, S=0.002$ )	۱۲۹
شکل ۱۶-۵ نمودار توزیع سرعت در مقطع عرضی مثلثی $45^\circ$ ( $Q=20.55, S=0.001$ )	۱۲۹
شکل ۱۷-۵ نمودار دبی - بیشینه سرعت برای مقطع $30^\circ$	۱۳۰
شکل ۱۸-۵ نمودار دبی - بیشینه سرعت برای مقطع $45^\circ$	۱۳۱
شکل ۱۹-۵ نمودار مقایسه دبی - بیشینه سرعت آزمایشگاهی با مدل عددی مقطع $30^\circ$	۱۳۱
شکل ۲۰-۵ نمودار مقایسه دبی - بیشینه سرعت آزمایشگاهی با مدل عددی مقطع $45^\circ$	۱۳۲

## فهرست جداول

جدول ۱-۴ ضرائب C و b برای معادله $Qh = C(h)b$	۹۵
جدول ۲-۴ تعیین مختصات نقطه ی بیشینه سرعت	۱۰۴
جدول ۱-۵ مشخصات مدل های عددی	۱۱۳
جدول ۲-۵ مرزهای جامد و شبکه بندی مدل های عددی	۱۲۲
جدول ۳-۵ عمق جریان برای کلیه حالت های آزمایش و مدل های عددی	۱۲۴

## چکیده

کانال‌ها یکی از با ارزش‌ترین و ضروری‌ترین ساخته‌های بشر در طول تاریخ بوده، چرا که این سازه‌ها، انتقال آب از مکانی به مکان دیگر را میسر می‌سازد و امری اجتناب‌ناپذیر برای برآورد نیازهای بشری در راستای تامین آب و همچنین انتقال آب از سطح معابر شهری و جاده‌ای به رودخانه‌ها می‌باشد. موضوع مقاومت جریان و نحوه‌ی توزیع آن در کانال‌ها، همیشه از موضوعات مورد بحث محققان و دانش‌پژوهان این زمینه بوده است. کانال‌های مثلثی با دیواره‌ی قائم (کانیوو) از مهمترین و پرکاربردترین نوع کانال‌ها در جمع‌آوری آب‌های سطحی در معابر شهری و جاده‌ها می‌باشد. با توجه به مطالعات کم و کمبود داده‌ها و مطالعات آزمایشگاهی، انجام تحقیقات آزمایشگاهی در این زمینه می‌تواند کمک شایانی به فهم موضوعات مهم جریان در این نوع کانال‌ها داشته‌باشد. برای تحقق این امر، کانال‌های مثلثی شکل کانیوو با جداره‌ی شیشه‌ای بر روی فلوم آزمایشگاهی ساخته شدند. دو نوع کانال با شیب دیواره‌ی جانبی  $30^{\circ}$  و  $45^{\circ}$  ساخته و بر روی هر یک برای ۴ دبی و ۵ شیب مختلف آزمایشات انجام گردیده‌است. برای مطالعات بر روی این کانال‌ها، جریان یکنواخت در کانال مثلثی ایجاد گردید چرا که تحقیقات بر روی جریان یکنواخت، نتایج مطمئن‌تر و امکان مقایسه نتایج با یکدیگر می‌باشد. در جریان‌های زیر بحرانی برای ایجاد جریان یکنواخت در فلوم از دریچه‌ی تحتانی استفاده شده و با انجام آزمایشات با زاویه‌ی دریچه تحتانی متفاوت، زاویه‌ی مناسب برای ایجاد جریان یکنواخت بدست آمده‌است. همچنین در کنار مدل‌های آزمایشگاهی، مدل عددی (نرم‌افزار Flow-3D) نیز طراحی گردیده و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج بدست آمده در آزمایشات برای نمودار دبی-اشل، دبی- $n$  مانینگ، دبی- $f$  داریسی-ویسباخ و پروفیل سرعت جریان در کانال استفاده شده است. منحنی دبی-اشل برای تخمین دبی در کانال‌های روباز طبیعی و یا مصنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرد که در این تحقیق این منحنی‌ها برای شیب‌های متفاوت آزمایش برای هر سطح مقطع خاص آورده شده‌است. نتایج حاصل از آزمایشات با نتایج حاصل از مدل عددی مطابقت خوبی داشته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که سطح مقطع  $30^{\circ}$  نسبت به سطح مقطع  $45^{\circ}$  مقاومت بیشتری در مقابل جریان عبوری آب از کانال را دارد. رابطه‌ای ریاضی برای تخمین عمق جریان با استفاده از وارد کردن دبی و شیب، و بدون اعمال ضرایب  $n$  مانینگ یا  $f$  داریسی-ویسباخ از جمله دیگر نتایج تحقیق حاضر می‌باشد.

کلمات کلیدی: کانال مثلثی - مقاومت جریان - فلوم - Flow-3D - جریان یکنواخت

## فصل اول:

### مقدمه

## ۱ فصل اول: مقدمه

### ۱-۱ کلیات

با توجه به رشد روز افزون ساخت و سازهای شهری و توسعه بزرگراه‌ها، پل‌ها، خیابان‌های ارتباطی بر اساس اصول فنی، و همچنین رعایت شرایط مساعد زیست‌محیطی برای مردم شهری، استفاده از شبکه‌ی به‌هم پیوسته برای جمع‌آوری و زهکشی آبهای سطحی از معابر شهری بیش از پیش احساس می‌شود.

اغلب از کانال‌های مثلثی در دبی‌های کم و در جمع‌آوری آب‌های سطحی در پل‌ها، جاده‌ها و معابر شهری به عنوان کانال استفاده می‌گردد. به علت محدودیت استفاده از مقاطع مثلثی جهت انتقال و هدایت آب، محققین زیاد بدان نپرداخته‌اند و تحقیقات کمتری در این مقاطع صورت پذیرفته است و در نتیجه اطلاعات آزمایشگاهی و میدانی زیادی نیز در این زمینه وجود ندارد. از طرفی مقاومت جریان و توزیع سرعت از مهمترین پارامترها در تمام مطالعات جریان و طراحی کانال‌های روباز می‌باشد به دلیل اینکه برای سرعت متوسط و ماکزیمم و برآورد دبی و ارزیابی تنش برشی در کناره‌ها مورد نیاز می‌باشد. لذا پروفیل طولی سرعت جریان، درون مقطع عرضی از یک کانال سالها مورد تحقیق پژوهشگران مختلف بوده است. همچنین منحنی‌های دبی-اشل همیشه برای بررسی جریان در کانال‌ها از اصول اولیه تحقیق می‌باشد.

### ۲-۱ ضرورت انجام و هدف تحقیق

تابع دبی-اشل را می‌توان مهمترین و تعیین‌کننده‌ترین پارامتر یک کانال روباز به شمار آورد. اصولا بدون وجود یک رابطه یا منحنی دبی-اشل برای یک کانال، هرگونه محاسباتی از جمله مقاومت جریان، تنش برشی، سرعت جریان و غیره تقریبا ناممکن خواهد بود.

رابطه تجربی یا تئوری موجود بین تراز سطح آب (یعنی رقوم آب) و دبی متناظر جریان در یک کانال روباز به عنوان رابطه دبی-اشل یا منحنی دبی-عمق (Stage-Discharge Curve) شناخته می‌شود. منحنی دبی-اشل یک ابزار بسیار مهم در هیدرولوژی آبهای سطحی است زیرا اعتبار اطلاعات اندازه‌گیری شده دبی در محل، به شدت وابسته به یک رابطه دبی-اشل قابل اعتماد می‌باشد. منحنی دبی-اشل یک ابزار سودمند در هیدرولیک برای تخمین دبی در کانال‌های روباز طبیعی و یا مصنوعی می‌باشد. در اوایل قرن نوزدهم اندازه‌گیری دبی

رودخانه‌ها در زمان‌هایی مناسب، رویکرد رایج در تخمین دبی بود. همچنین ارتفاع آب متناظر نیز اندازه‌گیری می‌شد، سپس یک منحنی از مقادیر دبی در مقابل ارتفاع آب به طریق همسان‌سازی این اطلاعات با یک منحنی توانی یا چندجمله‌ای ساخته می‌شد.

برای کانال‌های مثلثی داشتن نمودارهای دبی-اشل با دقت بالا می‌تواند کمک شایانی برای طراحی و ساخت این کانال‌ها باشد. همچنین بدست آوردن پروفیل سرعت جریان در این مقاطع مثلثی می‌تواند برای محاسبات تنش برشی و فرسایش جداره کانال استفاده گردد. روشهای پیشین مورد استفاده در تخمین ظرفیت دبی عبوری و توزیع سرعت در کانال مثلثی صرفاً آزمایشگاهی بوده و برای یک سطح مقطع خاصی از مثلث انجام پذیرفته است. در این تحقیق بنا داریم تا منحنی‌های دبی - اشل برای دو سطح مقطع متفاوت مثلثی با شیب‌های متفاوت را با بکارگیری مدل آزمایشگاهی و همچنین مدل عددی استخراج نماییم.

### ۳-۱ موارد تحقیقی مورد بررسی و تشریح فصول

در این پایان‌نامه مقاومت جریان آب در کانال و همچنین نحوه‌ی توزیع سرعت آب در کانال‌ها با مقطع مثلثی، با استفاده از فلوم آزمایشگاهی مورد بررسی قرار می‌گیرد. آزمایشات برای شیب‌های متفاوت کانال، دبی‌های مختلف و همچنین برای زوایای متفاوت جانبی کانال مثلثی انجام می‌پذیرد. نتایج به‌دست آمده با نتایج حاصل از نرم‌افزار رایانه‌ای مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بنابراین رفتار و عملکرد هیدرولیکی جریان در این نوع کانال‌ها با تفاسیر و ارزیابی‌های جدید تشریح شده و ضمن درک صحیح‌تر موضوع، می‌توان نتایج حاصله از این تحقیق را در طراحی کانال‌های انتقال آب با انواع شرایط جریان به کار برد.

در این پژوهش با دو مقوله عددی و آزمایشگاهی مقاومت جریان و توزیع سرعت و همچنین روابط دبی-اشل رو به رو هستیم. بر این اساس فصل بندی رساله به منظور حفظ انسجام مطلب و ایجاد ارتباط بین این دو مقوله به صورت زیر ارائه می‌گردد:

فصل اول؛ مقدمه، شامل بیان کلیات موضوع، ضرورت و هدف از انجام این تحقیق و موارد تحقیقی مورد بررسی و تشریح موضوع کلی رساله است.

در فصل دوم به مروری بر ادبیات پیشینه موضوع و سابقه تحقیق پرداخته شده‌است.

در فصل سوم برای آشنایی با جریان یکنواخت، ابتدا اطلاعات کلی در مورد جریان یکنواخت و معادلات مهم مورد استفاده برای تخمین سرعت و دبی جریان‌های یکنواخت آورده شده‌است. در ادامه، نحوه‌ی ایجاد کردن

جریان یکنواخت در فلوم آزمایشگاهی با استفاده از نمودارهایی که بدست می‌آوریم توضیح داده شده است. روابط دبی اشل و شکل‌های مختلف آن نیز از دیگر مباحث این فصل می‌باشد. همچنین نحوه‌ی تولید نمودارهای دبی-اشل نیز در ادامه آمده است و در آخر دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه که در انجام تست‌ها بکار رفته و تهیه و ساخت نمونه‌های آزمایشگاهی به‌طور مفصل شرح داده شده‌است.

فصل چهارم؛ در این فصل به بررسی چگونگی تشکیل جریان یکنواخت برای حالت‌های مختلف جریان (شیب و دبی‌های مختلف) پرداخته شده است. برای شیب‌های تند نیز پروفیل طولی عمق جریان آورده شده است. در ادامه منحنی‌های دبی-اشل به صورت جامع برای تمامی حالت‌های آزمایش آورده شده‌است. نمودارهای مربوط به ضرائب زبری مانینگ و دارسی-ویسباخ نیز در ادامه این فصل آورده شده است. همچنین پروفیل‌های نحوه توزیع سرعت جریان در مقطع عرضی کانال، منحنی ۳ بعدی شیب - دبی - عمق و رابطه‌ی ریاضی برای تخمین عمق جریان و نمودار بیشینه سرعت در مقاطع نیز در آخر فصل آمده است.

فصل پنجم؛ جهت انجام این تحقیق از نرم‌افزار Flow-3D استفاده شده‌است، که به معادلات و روش‌های حل این معادلات و همچنین مدل آشفتگی مورد استفاده اشاره شده است. تحقیق حاضر بر مبنای مدل‌های آزمایشگاهی، صورت گرفت. مراحل مختلف صحت سنجی نرم‌افزار که شامل شبکه بندی، شرایط مرزی و زمان انجام محاسبات می‌باشد بطور کامل اشاره شده و نتایج آن در ادامه فصل ارائه شده است. همچنین مراحل مختلف مدلسازی کانال برای مقاطع مثلثی  $30^\circ$  و  $45^\circ$  آورده شده است. در ادامه‌ی فصل به پروفیل‌های عمق جریان بدست آمده از تحلیل عددی پرداخته شده است. برای شیب‌های تند نیز پروفیل طولی عمق جریان آورده شده است. منحنی‌های دبی-اشل به صورت جامع برای تمامی حالت‌های آزمایش آورده شده‌است و هم‌زمان نمودارهای مقایسه‌ای برای ارزیابی نتایج عددی با آزمایشگاهی برای منحنی‌های دبی - اشل آورده شده است. از دیگر قابلیت‌های برنامه Flow-3D، نمایش پروفیل عرضی فشار در هر نقطه از کانال می‌باشد که در این فصل اشاره‌ای به نحوه‌ی توزیع فشار در مقاطع مثلثی گردیده است. همچنین پروفیل نحوه توزیع سرعت جریان در مقطع عرضی با استفاده از نرم‌افزار مربوطه آورده شده است و در آخر نمودار بیشینه سرعت در مقاطع  $30^\circ$  و  $45^\circ$  آورده شده و همچنین نمودارهای دبی - بیشینه سرعت مقاطع  $30^\circ$  و  $45^\circ$  در نموداری مورد مقایسه قرار گرفته‌اند.

فصل ششم؛ نتیجه گیری نهایی و ارائه پیشنهادات

**فصل دوم:**

**مروری بر ادبیات پیشینه موضوع و سابقه تحقیق**



## ۲ فصل دوم: مروری بر ادبیات پیشینه موضوع و سابقه تحقیق

### ۱-۲ مقدمه‌ای بر هیدرولیک کانال‌های باز

#### ۱-۱-۲ مقایسه جریان در کانالهای باز و جاری تحت فشار

جریان سیال مایع در یک مجرا ممکن است به دو صورت تحت فشار و یا جریان آزاد صورت پذیرد و از این نظر می‌توان هیدرولیک مجاری را به هیدرولیک مجاری تحت فشار و هیدرولیک کانالهای باز تقسیم نمود. در جریان تحت فشار که می‌توان آن را جریان در مجرای بسته نیز نامید، تمام مایع، درون یک مرز جامد محصور شده است. مرزهای حرکت مایع در تماس با جداره جامد می‌باشد ولی در کانال روباز مایع در حرکت، در تمام مرزها در تماس با جدار جامد نمی‌باشد بلکه یک مرز جریان در تمام مسیر در معرض فشار اتمسفر قرار دارد و لایه جدایی محیط مایع با فضای اطراف در تعادل با این فشار ثابت عمل می‌کند. البته این نکته را نباید از نظر دور بماند که یک مجرای بسته نیز می‌تواند به صورت کانال باز عمل کند و این امر مستلزم این است که جریان تعریف عمومی کانال باز را ارضاء نموده و سطح آزاد آن را در معرض یک فشار ثابت قرار داشته باشد.

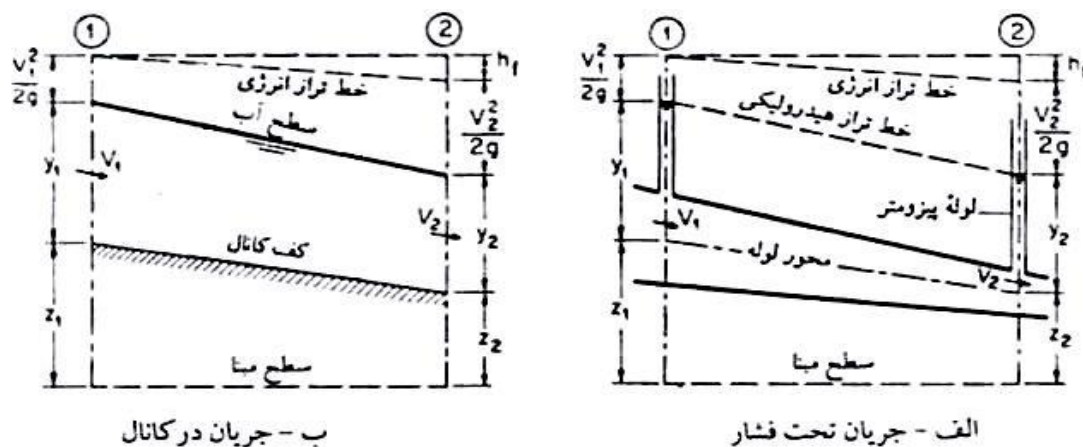
در مهندسی عمران جریان تحت فشار عمدتاً شامل جریان آب در شبکه‌های انتقال آب، شبکه‌های توزیع آب شهری و لوله‌کشی ساختمان‌ها می‌باشد ولی جریان در کانالهای باز، حرکت آب در آبراهه‌های طبیعی (نظیر رودخانه‌ها و نهرها)، آبراهه‌های مصنوعی (نظیر کانالهای آبرسانی و کانالهای آبیاری و زهکشی)، شبکه‌های جمع‌آوری و انتقال فاضلاب، جریان آب سطحی در آبروهای جاده‌ها و یا حاشیه خیابانها را شامل می‌گردد. چنانکه دیده می‌شود در کانالهای باز جریان در سطح بالایی خود آزاد بوده و در این مرز جریان همواره با فشار ثابت اتمسفر روبرو می‌باشد. رفتار عمومی جریان در کانال باز را می‌توان در مقایسه با جریان در مجاری تحت فشار در شکل ۱-۲ که این مقایسه را در قالب دو تعریف هیدرولیک تحت عنوان خط تراز انرژی و خط تراز هیدرولیکی نشان می‌دهد، دریافت. شکل ۱-۲ الف جریان آب در یک لوله را نشان می‌دهد. جریان در این لوله تحت فشار بوده و چنانچه یک پیژومتر در بدنه لوله نصب گردد، آب در درون پیژومتر بالا خواهد رفت. با توجه به علائم نشان داده شده انرژی مکانیکی در هر مقطع از جریان عبارت از جمع ارتفاع معادل سرعت  $(\frac{U^2}{2g})$ ، ارتفاع معادل فشار  $(\frac{P}{\rho g})$  و ارتفاع معادل مبنا  $(Z)$  خواهد بود. انرژی کل در هر مقطع از جریان که در واحد وزن بیان می‌شود  $(\frac{N.m}{N})$  دارای بعد طول می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$H = \frac{U^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z$$

عبارات بالا به ترتیب بیانگر ارتفاع معادل انرژی جنبشی، کار نیروی فشار و انرژی پتانسیل ذرات آب می باشند. در مسیر حرکت آب در لوله قدری از انرژی صرف گرم کردن آب می شود و یا در صورت گرما از محیط خارج می گردد که افت انرژی در مسیر حرکت نامیده می شود. خط پیوسته ای که مقدار انرژی را در مقاطع مختلف جریان نشان می دهد خط تراز انرژی نامیده می شود و قاعدتا به دلیل کاهش انرژی در دسترس، در مسیر حرکت دارای شیب منفی (کاهش یابنده) می باشد. خط تراز هیدرولیکی یا خط پیزومتری به مقدار ارتفاع معادل سرعت  $(\frac{U^2}{2g})$ ، از خط انرژی فاصله دارد و فقط جمع دو عبارت  $Z$  و  $\frac{P}{\rho g}$  را شامل می شود.

در شکل ۱-۲ الف، خطوط تراز انرژی و هیدرولیکی در مورد جریان در لوله ترسیم گردیده اند و مقدار افت انرژی  $(h_f)$  نیز نمایش داده شده است.

در شکل ۱-۲ ب، خط تراز انرژی و هیدرولیکی مربوط به جریان آب در یک کانال باز نشان می دهد. در این حالت سطح پیزومتری در کانال منطبق بر سطح آب بوده و اگر مقدار ارتفاع معادل سرعت به فاصله سطح آزاد آب تا سطح مبناء دلخواه افزوده شود خط تراز انرژی به دست خواهد آمد.



شکل ۱-۲ مقایسه جریان در لوله های تحت فشار و کانال های روباز

در ترسیم این خطوط انحناء جریان و شیب کانال ناچیز فرض شده اند و ارتفاع معادل سرعت بر مبنای سرعت متوسط تعریف شده است. علیرغم این که جریان در مجاری تحت فشار و جریان در کانالهای باز از اصول اساسی حاکم بر حرکت سیالات تبعیت می کنند ولی نکاتی چند سبب می شود تا جریان در کانالهای باز از پیچیدگی های بیشتری برخوردار باشد و مطالعه این گونه جریانها تحقیقات تجربی و آزمایشگاهی بیشتری را طلب می کند. در زیر به پاره ای از این نکات اشاره می گردد:

کانال‌های باز، محدوده وسیعتری از جریان آب را شامل می‌شوند زیرا جریان در رودی به بزرگی رود نیل تا جریان در یک نهر کوچک و حتی جریان ورقه‌ای ناشی از رواناب بارندگی از قوانین عمومی کانال‌های باز پیروی می‌کنند. لذا در کانال‌های باز دامنه‌ی تغییرات مشخصات هندسی (نظیر سطح مقطع) و مشخصات دیگر (نظیر زبری) بیشتر می‌باشد. جریان در کانال‌های باز درجه آزاد بیشتری نسبت به جریان در مجاری تحت فشار دارد و این درجه‌ی آزادی قابلیت تغییر عمق می‌باشد، لذا با تغییر در شیب کانالها و یا ایجاد موانع و تغییرات در مسیر جریان نیروی ثقل تغییر نموده و در نتیجه موقعیت سطح آزاد آب و به دنبال آن سایر مشخصات جریان تغییر خواهد نمود. در کانال‌های باز وابستگی بیشتری بین پارامترهای هیدرولیکی مشاهده می‌شود. به عنوان مثال در یک جریان تحت فشار، سرعت هنگامی تغییر می‌کند که مقطع جریان تغییر کند ولی سرعت در کانال باز، بستگی به شیب طولی کانال، زبری جدار مقطع، مساحت مقطع، شکل مقطع و سایر پارامترهای هیدرولیکی جریان دارد.

بر اساس اطلاعات موجود، داده‌های تجربی و آزمایشگاهی در دسترس محققین از جریان در مجاری تحت فشار بیش از جریان در کانال‌های باز می‌باشد.

## ۲-۱-۲ کانال‌های باز و مشخصات هندسی مقاطع آنها

### ۲-۱-۲-۱ تقسیم بندی کانالها

کانالها را می‌توان از دیدگاه‌های گوناگون تقسیم بندی نمود و در این طبقه بندی معیارهای متفاوتی را مبنا قرار داد. ساده ترین تقسیم بندی بر مبنای مصنوعی و یا طبیعی بودن کانال می‌باشد:

کانال‌های طبیعی، این کانالها به صورت طبیعی در سطح زمین ایجاد گردیده، نقش بشر در شکل‌گیری آنها ناچیز می‌باشد. رودخانه‌هایی که در خط القعر یک حوزه آبریز جریان داشته وظیفه هدایت و انتقال آب را به سمت نقطه تمرکز دارا می‌باشند، مثال مشخصی از این کانالها هستند. برخی مشخصات هندسی و هیدرولیکی این کانالها با زمان و مکان تغییر می‌کنند که در جریان‌های متغیر زمانی و مکانی مشهود می‌شود.

کانال‌های مصنوعی، این کانالها توسط بشر و به منظور و مقاصد مختلف آبرسانی، آبیاری، جمع آوری و انتقال فاضلابها یا آبهای سطحی ساخته می‌شوند.

تقسیم بندی دیگر کانالها می‌تواند بر مبنای تغییرات در سطح مقطع کانالها صورت پذیرد:

کانال های منشوری، کانالهایی هستند که در مسیرشان دارای سطح مقطع و شیب ثابت می باشند .

کانالهای مصنوعی عمدتاً منشوری بوده که بر اساس طراحی مقاطع آنها اشکال هندسی متفاوتی به خود می‌گیرند.

کانالهای غیر منشوری، کانالهایی هستند که در مسیر آنها سطح مقطع و یا شیب کانال تغییر می‌کند. کانالهای طبیعی حالت غیر منشوری داشته و در مسیر جریان سطح مقطع و شیب کانال دستخوش تغییرات می‌شوند.

## ۲-۲-۱-۲ مشخصات هندسی مقاطع کانالهای باز

با توجه به محاسبات هیدرولیکی در طراحی کانال‌های باز، برخی از مشخصات مقاطع که بیشتر مورد لزوم بوده عبارتند از:

عمق جریان ( $h$ ): در یک محل فاصله قائم پایین‌ترین نقطه کف کانال تا سطح آزاد آب عمق جریان گفته می‌شود. این فاصله در جهت عمود بر کف و یا در صفحه در جهت عمومی جریان با  $d$  نمایش داده می‌شود که در مورد کانال‌هایی با شیب کم ( $\theta < 6^\circ$ ) این دو مشخصه یکسان در نظر گرفته می‌شود ولی در کانال‌هایی با شیب تندتر باید بین  $y$  و  $d$  تفاوت قائل شد. ارتباط ریاضی ساده‌ی  $d = h \cos \theta$  بین  $h$  و  $d$  وجود دارد.

سطح مقطع جریان ( $A$ ): در یک محل، مساحت مقطع جریان در صفحه عمود بر جهت عمومی جریان سطح مقطع جریان گفته می‌شود.

عرض سطح آزاد ( $B$ ): به طولی از مقطع جریان گفته می‌شود که با هوای آزاد در تماس باشد.

پیرامون مرطوب ( $P$ ): در صورتی از محیط کلی مقطع جریان عرض سطح آزاد آب را کم نماییم پیرامون مرطوب بدست 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، یعنی:

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

عمق هیدرولیکی ( $D$ ): بنا بر تعریف نسبت سطح مقطع جریان به عرض سطح آزاد آب ( $B$ ) عمق هیدرولیکی نامیده می‌شود، یعنی:

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