

اصول جریان در مجاری باز

(جلد اول)

ویرایش دوم

چاپ اول

نايف:

دکتر محمد محمودی نوشتری

استاد دانشکده مهندسی دانشگاه شهید بهمن

اصول جریان در مجاری باز (جلد اول، ویرایش دوم)

مؤلف: دکتر محمد محمودیان شوشتری

اعضای شورای کمیسیون تخصصی علوم پایه، فنی و مهندسی: دکتر مرتضی زرگر شوشتری، دکتر رحیم چینی‌پرداز، دکتر علی فروغمند، دکتر احسان شاکر زاده، دکتر محسن صدر السادات، دکتر محسن زیوری رضایپور، دکتر عادل ساکی، دکتر کورش حیدری شیرازی، دکتر محمد علی فیروزی

ویراستار علمی: دکتر سید محمود کاشفی‌پور

ویراستار ادبی: دکتر عادل سواری

ناشر: دانشگاه شهید چمران اهواز

چاپ اول: ۱۳۹۶

تیراژ: ۵۰۰ نسخه

قیمت: ۳۰,۰۰۰ تومان

لیتوگرافی چاپ و صفحه‌آرایی: اداره چاپ و انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

سرشناسه	محمودیان شوشتری، محمد، ۱۳۱۹ -
عنوان و نام پدیدآور	اصول جریان در مجاری باز / محمد محمودیان شوشتری.
وضعیت ویراست	ویراست ۲.
مشخصات نشر	اهواز: دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۹۶ -
مشخصات ظاهری	ص، ۸۴، س، مص، جدول، نمودار
شابک	۹۷۸-۶-۱۳۱-۱۳-۴
وضعیت فهرست‌نویسی	فیا
یادداشت	ویراست قبلی: دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۵-۱۳۸۷.
یادداشت	واژه نامه.
موضوع	آبراهه ها
موضوع	Channels (Hydraulic engineering)
موضوع	هیدرولیک
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۶ الف ۶۳/م ۱۷۵ TC
رده‌بندی دیو	۶۲۷/۲۳
شماره کتابشناسی ملی	۴۹۹۰۵۳۴

مراکز بخش و فروش:

- ۱- اهواز، میدان دانشگاه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ابتدای خیابان استاد بیات‌فر، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز
کدپستی: ۶۱۳۵۷۸۳۱۵۱ | تلفکس: ۳۳۳۳۱۵۴۲ - ۶۱ | رایانامه: book@scu.ac.ir
- ۲- واحد کتابفروشی دانشگاه شهید چمران اهواز | تلفکس: ۳۳۳۳۱۰۷۲ - ۶۱
- ۳- تهران: میدان انقلاب، خیابان لبافی‌نژاد، بین خیابان ۱۲ فروردین و اردیبهشت، پلاک ۳۳۸
موسسه کتابیران | تلفن: ۶۶۴۹۴۴۰۹، ۶۶۴۱۱۱۷۳ - ۲۱

کلیه حقوق این کتاب برای ناشر محفوظ است و هرگونه استفاده از مطالب این کتاب اعم از چاپ کاغذی، الکترونیکی و یا قراردادن مطالب بر روی اینترنت و وب سایت بدون اجازه کتبی ناشر ممنوع و بر اساس ماده ۲۳ قانون حمایت از حقوق مولفان و مصنفان و قوانین مربوط به جرایم رایانه ای کشور قابل پیگیری در محاکم قضایی می باشد.

پیش‌گفتار چاپ اول

کتابی که در پیش رو دارید، جلد اول مجموعه دو جلدی کتاب اصول جریان در مجاری باز می‌باشد. مطالب کتاب بر پایه تجربه دو دهه تدریس در دانشگاه و انجام مطالعات در زمینه هیدرولیک تنظیم شده و در تمام کتاب فقط از سیستم متریک استفاده گردیده است. در تهیه مطالب از منابع مختلف، به ویژه مراجع اصلی و شناخته شده این رشته استفاده شده است. سعی بر آن بوده تا آن‌ها با بیانی ساده و قابل فهم با تأکید بر مفاهیم فیزیکی به دست آورده و در آورند. چون مثال‌های عددی به درک راحت‌تر اصول اولیه و قوانین حاکم کمک قابل توجهی می‌کند، اکثر مطالب با حل مسئله نمونه همراه می‌باشد. این کتاب برای دانش‌جویان سال آخر دوره کارشناسی مهندسی عمران و آبیاری و دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی در رشته‌های وابسته به آب کتابی درسی و برای مهندسان و متخصصان هیدرولیک و آبیاری مرتبط یک مرجع می‌باشد.

جلد اول کتاب شامل نه فصل است: در فصل اول اصول و مفاهیم اساسی جریان در مجاری باز و نیز مفاهیمی که در طول کتاب استفاده شده، جمع‌آوری گردیده است. در فصل دوم معادلات حاکم بر جریان در مجاری باز در شکل دیفرانسیلی و جبری، در فصل سوم جریان یکنواخت و روابط نظری و تجربی سرعت، در فصل چهارم انرژی مخصوص و عمق بحرانی، در فصل پنجم تابع اندازه حرکت و پرش هیدرولیکی، در فصل‌های ششم و هفتم به ترتیب جریان متغیر تا ایستایی و محاسبات نیم‌رخ‌های سطح آب مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. فصل هشتم به بررسی کلیات جریان در کانال‌های آبرفتی و فصل نهم به طراحی کانال‌ها اختصاص دارد. در جلد دوم کتاب موضوعاتی چون اندازه‌گیری جریان در مجاری باز، جریان متغیر مکانی، امواج در کانال‌ها، جریان ناپایدار در مجاری باز و روندیابی سیل، انتقال رسوب در کانال‌ها، مکانیسم انتقال آلاینده‌ها در آبراهه‌ها و مدل کردن آبراهه‌ها آورده شده است.

برخود لازم می‌دانم از کلیه افرادی که مرا در تدوین و انتشار این کتاب یاری نموده‌اند تشکر نمایم، به ویژه از داوران و ویراستاران علمی و ادبی کتاب سپاسگزارم. از

خانم‌ها سکینه نورانی و مریم بهارلونی که تایپ متون و آماده کردن شکل‌ها را به عهده داشته‌اند، تشکر و قدردانی می‌نمایم. کمک‌های مسئولان محترم دانشگاه، بویژه کمیته تألیف و ترجمه دانشکده مهندسی، رئیس محترم اداره انتشارات دانشگاه و کلیه کارکنان اداره انتشارات در مورد چاپ و انتشار این کتاب موجب تشکر و تقدیر است. همچنین از تشویق‌ها و صبر و بردباری همسر و فرزندانم در زمان تهیه کتاب صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

خواننده عزیز! به طور قطع این کتاب عاری از نقیصه نیست، بنابراین یادآوری لغزش‌ها، خطاها و کمبودها برای بهبود آن در چاپ‌های بعدی بسیار مفید می‌باشد و این محبت مورد کمال تشکر و امتنان خواهد بود.

محمد محمودیان شوشتری

شهریور ۱۳۸۵

اهواز

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول

اصول و مفاهیم اساسی جریان در مجاری باز

۱	مقدمه	۱
۳	۱-۱ انواع کانال‌های باز	۳
۳	۲-۱ مشخصات هندسی مقطع کانال	۳
۹	۳-۱ سرعت	۹
۱۰	۴-۱ خط جریان و لایه - جریان	۱۰
۱۱	۵-۱ شتاب	۱۱
۱۲	۶-۱ سرعت متوسط	۱۲
۱۲	۷-۱ شدت جریان حجمی	۱۲
۱۶	۸-۱ تقسیم‌بندی جریان در کانال‌ها	۱۶
۱۷	(۱) جریان‌های دائمی و غیر دائمی	۱۷
۱۷	(۲) جریان‌های یکنواخت و غیر یکنواخت	۱۷
۱۸	(۳) جریان‌های ورقه‌ای و متلاطم	۱۸
۲۲	(۴) جریان‌های زیر بحرانی، بحرانی و فوق بحرانی	۲۲
۲۴	(۵) جریان‌های همگن و لایه‌ای	۲۴
۲۵	(۶) جریان‌های یک بعدی، دو بعدی و سه بعدی	۲۵
۲۶	۹-۱ توزیع سرعت در یک مقطع	۲۶
۲۸	۱۰-۱ توزیع فشار هیدرواستاتیک	۲۸
۲۹	۱۱-۱ توزیع فشار در یک سطح مقطع کانال با شیب تند	۲۹
۳۱	۱۲-۱ توزیع فشار در جریان منحنی الخط	۳۱
۳۶	۱۳-۱ معادله‌ی انتقال رینولدز	۳۶
۳۹	۱۴-۱ لایه‌ی مرزی	۳۹
۴۱	۱-۱۴ ضخامت لایه‌ی مرزی	۴۱

۴۵	 ۱-۱۴-۲ توزیع سرعت در لایه‌ی مرزی
۵۱	 ۱-۱۵ تحلیل ابعادی
۵۶	 تمرینات

فصل دوم

معادلات حاکم بر جریان

۵۹	 مقدمه
۶۰	 ۱-۲ شکل دیفرانسیلی رابطه‌ی پیوستگی
۶۵	 ۲-۲ معادله‌ی اندازه حرکت
۶۵	 ۲-۲-۱ زوهای خارجی
۶۷	 ۲-۲-۲ شکل دیفرانسیلی معادله‌ی اندازه‌ی حرکت
۷۲	 ۲-۲-۳ معادلات ست و نانت
۷۲	 ۳-۲ معادله‌ی انرژی
۷۲	 ۳-۲-۱ قانون اول ترمودینامیک
۷۴	 ۳-۲-۲ استخراج معادله انرژی با استفاده از رابطه انتقالی رینولدز
۷۷	 ۴-۲ شکل جبری معادلات حاکم بر جریان
۷۸	 ۴-۲-۱ شکل جبری معادله‌ی پیوستگی
۷۹	 ۴-۲-۲ شکل جبری معادله‌ی اندازه حرکت
۸۰	 ۴-۲-۳ شکل جبری معادله‌ی انرژی
۸۲	 ۵-۲ ضرایب تصحیح اندازه‌ی حرکت و انرژی
۹۱	 ۶-۲ رابطه‌ی انرژی در جریان لایه‌ای
۹۳	 ۷-۲ کاربرد معادلات حاکم بر جریان
۹۸	 تمرینات

فصل سوم

جریان یکنواخت در کانال‌ها

۱۰۳	 مقدمه
۱۰۳	 ۱-۳ تشکیل جریان یکنواخت

۱۰۵	۲-۳ تنش برشی متوسط τ_{θ} در جریان یکنواخت
۱۰۷	۳-۳ تنش برشی متوسط τ_{θ} در جریان غیر یکنواخت
۱۰۸	۴-۳ معادلات سرعت جریان یکنواخت در کانال‌ها
۱۰۸	۳-۴-۱ معادلات نظری سرعت
۱۰۸	- جریان یکنواخت ورقه‌ای (آرام)
۱۱۰	- جریان یکنواخت متلاطم
۱۱۲	۳-۴-۲ معادلات تجربی سرعت
۱۱۲	۳-۴-۲-۱ معادله‌ی شزی
۱۱۳	- تعیین ضریب شزی
۱۱۴	۳-۴-۲-۲ معادله‌ی مانینگ
۱۱۷	۳-۴-۳ رابطه‌ی n و ضریب اصطکاک f
۱۲۴	۳-۴-۴ محدودیت کاربرد معادله‌ی مانینگ
۱۲۶	۳-۴-۵ پیشینه‌ی معادلات شزی و مانینگ
۱۳۰	۳-۴-۶ تعیین ضریب زبری مانینگ
۱۳۳	۳-۴-۷ عوامل موثر در تعیین ضریب زبری مانینگ
۱۳۶	۳-۴-۸ زبری معادل
۱۳۹	۳-۴-۹ ضریب انتقال، فاکتور مقطع و عمق نرمال
۱۳۹	۳-۵ محاسبات جریان یکنواخت
۱۴۰	۳-۵-۱ محاسبه‌ی عمق نرمال
۱۴۳	۳-۵-۲ روش نیوتن - رافسون
۱۴۷	۳-۵-۳ عمق نرمال در کانال‌های مرکب
۱۵۰	۳-۶ بهترین مقطع هیدرولیکی یا اقتصادی
۱۵۱	بهترین مقطع هیدرولیکی کانال دوزنقه‌ای
۱۵۳	بهترین مقطع هیدرولیکی کانال مستطیلی
۱۵۳	بهترین مقطع هیدرولیکی کانال مثلثی
۱۵۷	بهترین مقطع هیدرولیکی کانال دایره‌ای
۱۷۱	تمرینات

فصل چهارم

انرژی مخصوص و عمق بحرانی

۱۷۷	 مقدمه
۱۷۷	 ۱-۴ موج سطحی و سرعت انتقال آن
۱۸۰	 ۲-۴ انتشار موج سطحی در کانال‌های باز
۱۸۲	 ۳-۴ مفهوم انرژی مخصوص
۱۸۴	 ۴-۴ منحنی انرژی مخصوص با دبی ثابت
۱۸۶	 ۵-۴ ویژگی‌های نقطه C
۱۸۸	 ۶-۴ نمودار E - عمق
۱۹۰	 ۷-۴ عمق و سرعت بحرانی در کانال‌های مستطیلی
۱۹۱	 ۸-۴ شیب بحرانی
۱۹۲	 ۹-۴ روابط جریان بحرانی برای شرایط $\alpha \neq 1$ و $\cos \theta \neq 1$
۱۹۳	 ۱۰-۴ خلاصه مشخصات جریان بحرانی
۱۹۴	 ۱۱-۴ فاکتور مقطع در محاسبه عمق بحرانی
۱۹۵	 ۱۲-۴ محاسبه‌ی عمق بحرانی
۲۰۴	 ۱۳-۴ عمق‌های بحرانی در کانال‌های با سطح مقطع مرکب
۲۰۹	 ۱۴-۴ برآمدگی در کف کانال با عرض ثابت
۲۱۶	 ۱۵-۴ کاهش موضعی عرض کانال با کف افقی
۲۲۲	 ۱۶-۴ انسداد
۲۲۴	 ۱۷-۴ مقاطع کنترل
۲۲۵	 ۱۸-۴ محل تشکیل عمق بحرانی
۲۳۹	 تمرینات

فصل پنجم

تابع اندازه‌ی حرکت و پرش هیدرولیکی

۲۴۳	 مقدمه
۲۴۳	 ۱-۵ تابع اندازه‌ی حرکت

۲۴۵	۲-۵ منحنی تغییرات M بر حسب L
۲۵۰	۳-۵ پرش هیدرولیکی
۲۵۱	۴-۵ کاربرد رابطی اندازه‌ی حرکت در پرش هیدرولیکی
۲۵۳	۵-۵ تطابق منحنی‌های انرژی مخصوص و تابع اندازه حرکت برای یک پرش
۲۵۴	۶-۵ مشخصات پرش هیدرولیکی در یک کانال با مقطع مستطیلی
۲۵۴	۶-۵-۱ نسبت عمق‌های مزدوج
۲۵۷	۶-۵-۲ افت انرژی در پرش
۲۵۷	۶-۵-۳ افت انرژی نسبی
۲۵۸	۶-۵-۴ افتاء پرش
۲۶۱	۶-۵-۵ طول پرش
۲۶۲	۶-۵-۶ نیم‌رخ یا پروفیل سطح آب در پرش هیدرولیکی
۲۶۶	۶-۵-۷ انواع پرش هیدرولیکی
۲۶۸	۶-۵-۸ محل تشکیل پرش
۲۷۰	۶-۵-۹ پرش مستغرق
۲۷۱	۷-۵ کنترل پرش
۲۷۱	۷-۵-۱ پله‌ی منفی
۲۷۴	۷-۵-۲ پله‌ی مثبت
۲۷۸	۷-۵-۳ بلوک‌های آرام کننده
۲۸۱	۷-۵-۴ حوضچه‌ی آرامش
۲۸۶	۸-۵ پرش هیدرولیکی در کانال‌های شیبدار
۲۸۸	۸-۵-۱ رابطه بین عمق‌های L_1 و L_2
۲۹۱	۸-۵-۲ طول پرش هیدرولیکی در سطح شیبدار
۲۹۲	۸-۵-۳ افت انرژی در پرش روی سطح شیبدار
۲۹۴	۹-۵ پرش هیدرولیکی در کانال‌های غیر مستطیلی
۲۹۸	۱۰-۵ توان استهلاک انرژی در پرش هیدرولیکی
	۱۱-۵ پرش هیدرولیکی در انبساط ناگهانی در یک کانال با مقطع مستطیلی و
۳۰۲	کف افقی
۳۰۷	تمرینات

فصل ششم

جریان متغیر تدریجی

۳۱۳	 مقدمه
۳۱۴	 ۱-۶ معادلات حاکم بر جریان
۳۱۴	 ۱-۱-۶ رابطه‌ی پیوستگی
۳۱۴	 ۲-۱-۶ رابطه‌ی انرژی
۳۱۷	 ۳-۱-۶ رابطه‌ی اندازه حرکت
۳۱۸	 ۲-۲ شیب سطح آب نسبت به افق
۳۱۹	 ۳-۶ شکل‌های دیگر معادله‌ی دیفرانسیلی جریان متغیر تدریجی
۳۲۲	 ۴-۶ معادله‌ی جریان متغیر تدریجی برای کانال عریض
۳۲۴	 ۵-۶ انواع سبب ایجاد انال
۳۲۶	 ۶-۶ تقسیم‌بندی نهرهای سطح آب
۳۲۷	 ۷-۶ ملاحظات کلی در مورد معادله (۵-۶)
۳۲۹	 ۸-۶ شکل و رسم نیم‌رخ‌های سطح آب
۳۳۲	 ۹-۶ تعیین نوع نیم‌رخ سطح آب و رسم آن
۳۳۹	 ۱۰-۶ تغییرات شیب در یک کانال مستطیل
۳۴۳	 ۱۱-۶ تخلیه یک مخزن در کانال طویل
۳۴۸	 تمرینات

فصل هفتم

محاسبات نیم‌رخ‌های سطح آب

۳۵۳	 مقدمه
۳۵۵	 ۱-۷ فرمول بندی محاسبه نیم‌رخ سطح آب
۳۵۵	 ۲-۷ روش‌های حل معادله‌ی حاکم بر جریان متغیر تدریجی
۳۵۶	 ۱-۲-۷ روش‌های انتگرال‌گیری
۳۵۶	 ۱-۱-۲-۷ روش انتگرال‌گیری مستقیم

۳۵۷	 روش چاو
۳۵۹	 تخمین نماهای هیدرولیکی M و N
۳۶۴	 روش برس
۳۶۸	 بررسی روش چاو در حالات خاص
۳۷۰	 ۲-۱-۲-۷ روش انتگرال گیری ترسیمی
۳۷۴	 ۳-۱-۲-۷ روش انتگرال گیری عددی
۳۷۵	 ۲-۲-۷ روش های حل عددی
۳۷۵	 ۱-۲-۲-۷ روش گام مستقیم
۳۷۷	 ۲-۲-۲-۷ روش گام استاندارد
۳۸۶	 برنامه‌ی رایانه‌ای (۱) HEC-2
۳۸۹	 ۳-۲-۲-۷ روش های عددی پیشرفته
۳۸۹	 الف) روش استاندارد سه سرته بهاررنگ - کوتا (SRK)
۳۸۹	 ب) روش کوتا - مرسون
۳۹۰	 ج) روش ذوزنقه‌ای
۳۹۱	 د) روش اولر
۳۹۲	 ه) روش اولر توسعه یافته
۴۰۱	 ۳-۷ کاربرد محاسبات نیم‌رخ‌های سطح آب در عمل
۴۰۱	 ۱-۳-۷ محاسبه‌ی نیم‌رخ سطح آب در پشت سدها
۴۰۱	 ۲-۳-۷ جریان در کانال‌های منشعب
۴۰۳	 الف) جریان جزیره‌ای ساده
۴۰۴	 ب) جریان چندجزیره‌ای
۴۰۴	 ۳-۳-۷ محاسبه‌ی دبی کانال رابط بین دو دریاچه
۴۰۶	 ۴-۳-۷ اتصال یا تلاقی دو رودخانه
۴۱۲	 تمرینات
۴۱۶	 ضمائم
۴۱۶	 جدول ضمیمه (الف)
۴۲۸	 جدول ضمیمه (ب)

فصل هشتم

جریان در کانال‌های آبرفتی

۴۳۷	 مقدمه
۴۳۸	 ۱-۸ مشخصات رسوب
۴۳۸	 ۱-۱-۸ اندازخی ذرات
۴۴۰	 ۲-۱-۸ شکل ذره
۴۴۱	 ۳-۱-۸ سنگینی ویژه (SG)
۴۴۲	 ۴-۱-۸ سرعت سقوط
۴۴۹	 ۵-۱-۸ توزیع اندازه‌ی ذرات
۴۵۱	 ۶-۱-۸ منحنی مخصوص ظاهری رسوب
۴۵۱	 ۷-۱-۸ تخطیل
۴۵۱	 ۲-۸ آستانه حرکت ذرات
۴۵۲	 نمودار شیلدر
۴۶۰	 ۳-۸ تأثیر شیب کناره کانال بر حرکت ذرات
۴۶۴	 ۴-۸ شکل بستر
۴۶۸	 ۵-۸ پیش‌بینی نوع شکل بستر
۴۷۱	 ۶-۸ تأثیر شکل بستر بر مقاومت جریان
۴۷۵	 ۷-۸ مقاومت در مقابل جریان در کانال‌های آبرفتی
۴۷۶	 ۱-۷-۸ روش مقاومت کل
۴۷۶	 ۲-۷-۸ روش مقاومت شکل و ذره
۴۸۲	 تمرینات

فصل نهم

طراحی کانال‌ها

۴۸۵	 مقدمه
۴۸۶	 ۱-۹ کانال‌های فرسایشی و غیر فرسایشی
۴۸۶	 ۲-۹ ملاحظات کلی در طراحی کانال‌ها
۴۸۶	 ۱-۲-۹ شکل سطح مقطع

۴۸۷	 ۲-۲-۹ بهترین سطح مقطع هیدرولیکی
۴۸۹	 ۳-۲-۹ مسیر و شیب طولی
۴۹۰	 ۴-۲-۹ شیب کناری
۴۹۱	 ۵-۲-۹ ضریب زبری مانینگ
۴۹۱	 ۶-۲-۹ سرعت‌های مجاز
۴۹۸	 ۷-۲-۹ عمق آزاد
۵۰۰	 ۸-۲-۹ نسبت عرض کف به عمق آب $(\frac{b}{h})$
۵۰۲	 ۹-۲-۹ عرض خاکریزهای کانال
۵۰۲	 ۱۰-۲-۹ مصالح ساختمانی
۵۰۲	 ۳-۹ طراحی کانال‌های پوشش‌دار
۵۰۸	 ۴-۹ کانال‌های خاکی و لایه‌های آرمه
۵۰۹	 ۱-۴-۹ پایداری مقطع در کانال‌های خاکی
۵۱۰	 ۲-۴-۹ روش سرعت مجاز
۵۱۲	 ۳-۴-۹ روش تئوری رژیم
۵۱۲	 ۱-۳-۴-۹ تئوری رژیم
۵۱۳	 ۲-۳-۴-۹ رابطه‌ی کندی
۵۱۷	 ۳-۳-۴-۹ معادلات لی سی
۵۱۹	 ۴-۳-۴-۹ طراحی کانال خاکی براساس نظریه‌ی لی سی
۵۲۲	 ۵-۳-۴-۹ توضیحاتی بر معادلات تئوری رژیم
۵۲۲	 ۴-۴-۹ روش نیروی مالشی یا کششی
۵۲۱	 ۱-۴-۴-۹ توزیع تنش برشی بر کف و بدنه‌های کانال
۵۲۵	 ۲-۴-۴-۹ رابطه‌ی لین
۵۲۶	 ۳-۴-۴-۹ تنش برشی مجاز (نیروی کشش مجاز)
۵۲۸	 ۴-۴-۴-۹ مراحل طراحی کانال با روش نیروی کششی
۵۳۱	 ۵-۴-۴-۹ طراحی کانال با پوشش سنگ ریز
۵۳۶	 ۵-۹ جریان در مسیر انحنا
۵۳۶	 ۱-۵-۹ جریان زیر بحرانی در انحنا
۵۳۹	 ۲-۵-۹ جریان فوق بحرانی در انحنا

۵۴۳	تمرینات
۵۴۷	فهرست منابع
۵۵۵	پیوست‌ها
	پیوست ۱. برنامه رایانه‌ای برای محاسبه ضرایب تصحیح انرژی و اندازه حرکت
۵۵۵	در یک کانال مستطیلی با استفاده از قانون دوزنقه‌ای
	پیوست ۲. برنامه رایانه‌ای برای محاسبه عمق نرمال در کانال‌های دوزنقه‌ای،
۵۵۷	مستطیلی و مثلثی
	پیوست ۳. برنامه رایانه‌ای برای محاسبه عمق بحرانی در کانال‌های دوزنقه‌ای،
۵۵۹	مستطیلی و مثلثی
۵۶۱	پیوست ۴. برنامه رایانه‌ای برای محاسبه نیم‌رخ سطح آب با روش گام مستقیم
۵۶۴	پیوست ۱ برنامه رایانه‌ای برای محاسبه نیم‌رخ سطح آب با روش گام استاندارد
۵۶۹	واژه نامه انگلیسی به فارسی
۵۷۹	واژه یاب