

مقدمه‌ای بر

هیدرولیک جریان‌های ناپایدار

تألیف

صلاح کوچک‌زاده

عاطفه پرورش‌ریزی



انتشارات دانشگاه تهران

شماره ۲۶۸۸

شماره مسلسل ۵۰۰۸

کوچک زاده، صلاح، ۱۳۳۷-

مقدمه ای بر هیدرولیک جریان های ناپایدار / تألیف صلاح کوچک زاده، عاطفه پرورش ریزی - تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۴.

۲۹۲ ص: جدول، نمودار - (انتشارات دانشگاه تهران: شماره ۲۶۸۸).

ISBN 964-03-5008-7: ۲۵۰۰۰ ریال

فهرست نویسی بر اساس اطلاعات فیبا.

واژه نامه. کتاب نامه: ص. [۲۸۳].

۱. جریان ناپایدار (دینامیک سیالات) (Unsteady Flow (Fluid dynamics)

الف. پرورش ریزی، عاطفه، ۱۳۵۵- ب. دانشگاه تهران. مؤسسه انتشارات و چاپ. ج. عنوان.

ک ۴ ج / ۵ / ۳۵۷ / ۵ / ۶۲۰ / ۱۰۶۴ TA

۴۸۶۰-۸۴م

کتابخانه ملی ایران

شابک ۹۶۴-۰۳-۵۰۰۸-۷ ISBN 964-03-5008-7

عنوان: مقدمه ای بر هیدرولیک جریان های ناپایدار

تألیف: دکتر صلاح کوچک زاده، عاطفه پرورش ریزی

ناشر: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

تاریخ انتشار: ۱۳۸۴ (چاپ اول)

چاپ و صحافی: مؤسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران

مسئولیت صحت مطالب کتاب با مؤلفان است.

«کلیه حقوق برای دانشگاه تهران محفوظ است»

بها: ۲۵۰۰۰ ریال

پست الکترونیک: Press@ut.ac.ir - آدرس سایت: Press.ut.ac.ir

فهرست

ح	مقدمه
۱	فصل اول: جریان ناپایدار در مجاری تحت فشار
۲	۱-۱- طبقه بندی جریان های ناپایدار
۳	۲-۱- جریان شبه پایدار
۸	۳-۱- جریان ناپایدار کامل
۸	۱-۳-۱- معادله اولر
۱۱	۲-۳-۱- جریان ستون صلب در لوله با قطر ثابت
۲۲	۳-۳-۱- ضربه آبی
۲۷	مسائل حل نشده
۲۹	فصل دوم: تئوری کشسانی در هیدرولیک جریان ناپایدار
۲۹	۱-۲- معادله حاکم بر تغییرات ارتفاع فشار (ΔH)
۳۲	۲-۲- سرعت انتشار موج در لوله ها با دیواره نازک
۳۲	۱-۲-۲- خالص جرم ورودی
۳۳	۲-۲-۲- تغییرات حجم مایع در اثر قابلیت تراکم
۳۳	۳-۲-۲- تغییرات حجم لوله بر اثر خاصیت کشسانی
۳۹	۳-۲- سرعت انتشار موج در انواع دیگری از مجاری
۴۰	۱-۳-۲- لوله های جدار ضخیم
۴۴	۲-۳-۲- تونل های مدور و لوله های بتنی مسلح
۴۵	۴-۲- تأثیرات ورود هوا بر سرعت موج
۴۷	۵-۲- معادلات دیفرانسیل حاکم بر جریان ناپایدار
۴۷	۱-۵-۲- بقای جرم
۵۱	۲-۵-۲- تعبیر معادلات دیفرانسیل
۵۲	مسائل حل نشده

فصل سوم روش: حل معادلات اندازه حرکت و پیوستگی در جریان ناپایدار تحت فشار.....	۵۵
۱-۳- معادلات مشخصه.....	۵۶
۲-۳- شرایط مرزی.....	۶۴
۱-۲-۳- مخزن بالادست با رقوم ثابت سطح آب.....	۶۵
۲-۲-۳- مخزن پایین‌دست با رقوم ثابت سطح آب.....	۶۷
۳-۲-۳- شیر کنترل جریان یا روزنه در انتهای پایین‌دست.....	۶۹
۴-۲-۳- اتصال سری لوله‌ها.....	۷۱
۵-۲-۳- اتصال شاخه‌ای لوله‌ها.....	۷۲
۶-۲-۳- پمپ گریز از مرکز در انتهای بالادست.....	۷۳
۳-۳- پایداری و همگرایی در روش‌های عددی حل معادلات.....	۷۴
۱-۳-۳- خطای ناشی از گسسته کردن معادلات.....	۷۴
۲-۳-۳- خطای بریدگی (ناشی از حذف جملات مربوط به سری تیلور).....	۷۴
۳-۳-۳- سازگاری.....	۷۴
۴-۳-۳- همگرایی.....	۷۵
۵-۳-۳- پایداری.....	۷۵
۴-۳- روش گام‌های معین در حل معادلات مشخصه.....	۷۸
۵-۳- انتخاب گام زمانی برای یک سیستم خط لوله.....	۸۱
۶-۳- حل معادلات حرکت و بقای جرم به روش خطوط مشخصه کامل.....	۸۹
۷-۳- روش تفاضل‌های محدود.....	۹۳
۱-۷-۳- روش تفاضل‌های محدود صریح.....	۹۳
۲-۷-۳- روش تفاضل‌های محدود ضمنی.....	۹۵
۸-۳- مقایسه روش‌های عددی.....	۹۷
مسائل حل‌نشده.....	۹۸
فصل چهارم: نقش پمپ‌ها در جریان ناپایدار.....	۱۰۱
۱-۴- شرایط ناپایداری در هنگام بهره‌برداری از پمپ.....	۱۰۱
۲-۴- نمایش ریاضی پمپ.....	۱۰۲
۳-۴- شرایط مرزی برای از کار افتادن پمپ.....	۱۰۷

۱۰۹	۱-۳-۴- معادلات نمایش پمپ‌ها.....
۱۱۱	۲-۳-۴- معادله دیفرانسیل اجزای چرخشی.....
۱۱۲	۳-۳-۴- معادله مشخصه برای لوله رانش.....
۱۱۲	۴-۳-۴- معادله پیوستگی.....
۱۱۲	۴-۴- حل معادلات حاکم بر سیستم.....
۱۱۵	۵-۴- شرایط مرزی برای حالت‌های خاص.....
۱۱۵	۱-۵-۴- پمپ‌های موازی.....
۱۱۹	۲-۵-۴- پمپ‌های سری.....
۱۲۶	۶-۴- شروع به کار پمپ.....
۱۲۷	مسائل حل نشده.....
۱۲۹	فصل پنجم: شرایط مرزی تأسیسات کنترل و شبکه‌های مرکب در جریان ناپایدار.....
۱۲۹	۱-۵- عوامل ایجاد ناپایداری جریان و پیامدهای آن.....
۱۲۹	۱-۱-۵- باز و بسته کردن شیرهای کنترل جریان.....
۱۳۰	۲-۱-۵- شیرهای یکطرفه.....
۱۳۰	۳-۱-۵- هوای درون لوله‌ها.....
۱۳۱	۴-۱-۵- شروع به کار پمپ.....
۱۳۲	۵-۱-۵- قطع انرژی پمپ.....
۱۳۲	۵-۲- ادوات متداول کنترل ناپایداری جریان.....
۱۳۳	۱-۲-۵- کنترل در باز و بسته کردن شیرها.....
۱۳۴	۲-۲-۵- شیرهای یکطرفه.....
۱۳۷	۳-۲-۵- شیرهای ایمنی.....
۱۳۸	۴-۲-۵- مخازن موج‌گیر.....
۱۳۸	۱-۴-۲-۵- مخزن موج‌گیر ساده.....
۱۳۹	۲-۴-۲-۵- مخزن موج‌گیر یکطرفه.....
۱۴۰	۳-۴-۲-۵- شرایط مرزی مخزن موج‌گیر ساده.....
۱۴۲	۵-۲-۵- مخزن هوای تحت فشار.....
۱۴۴	۱-۵-۲-۵- شرایط مرزی مخزن هوای تحت فشار.....
۱۴۸	۲-۵-۲-۵- اندازه مخزن هوای تحت فشار.....

۱۴۹	 ۲-۵-۳-ضمائم مخازن تحت فشار
۱۵۰	 ۲-۵-۶-مخزن موج گیر هوادهی شده
۱۵۱	 ۲-۵-۷-روش های دیگر در کنترل امواج
۱۵۱	 ۲-۵-۷-۱- شیرهای خلأ - هوا
۱۵۲	 ۲-۵-۷-۲- شیرهای پیش بینی موج
۱۵۲	 ۲-۵-۷-۳- کنترل اینرسی پمپ
۱۵۳	 ۵-۳-۳- شرایط مرزی در شبکه تحت فشار مرکب
۱۵۳	 ۵-۳-۱- معادلات حاکم در مرزهای شبکه مرکب
۱۵۷	 ۵-۳-۲- دسته بندی معادلات در شبکه
۱۵۷	 ۵-۳-۱-۱- معادلات گره های شبکه
۱۶۱	 ۵-۳-۲-۲- معادلات پمپ های شبکه
۱۶۳	 ۵-۳-۲-۳- معادلات مربوط به مخازن ذخیره در شبکه مرکب
۱۶۳	 ۵-۳-۳- حل دستگاه معادلات شبکه مرکب
۱۶۳	 ۵-۳-۱-۳- حل معادلات گره های شبکه مرکب
۱۶۶	 ۵-۳-۲-۳- حل معادلات گره های شامل پمپ
۱۶۶	 ۵-۳-۳-۳- معادلات شامل گره های مخازن
۱۶۷	 مسائل حل نشده

۱۶۹	 فصل ششم: ضوابط انتخاب روش کنترل ناپایداری هیدرولیکی
۱۶۹	 ۶-۱- نگاه کلی به تدابیر کنترل ناپایداری هیدرولیکی
۱۷۰	 ۶-۲- تدابیر توصیه شده برای سیستم های انتقال فاضلاب
۱۷۳	 ۶-۳- روش های نامناسب برای سیستم های فاضلاب
۱۷۴	 ۶-۴- تدابیر مناسب برای سیستم های آبی
۱۷۴	 ۶-۵- روش های مقابله با نتایج قطع انرژی پمپ ها
۱۷۵	 ۶-۶- روش مقابله با جدایی ستون مایع
۱۷۶	 ۶-۷- راه اندازی پمپ ها
۱۷۶	 ۶-۸- خاموش کردن پمپ ها
۱۷۷	 ۶-۹- بسته شدن آبی شیر یکطرفه
۱۷۷	 ۶-۲- انتخاب شیرهای یکطرفه

۱۷۸	۶-۱۰- پر کردن خطوط لوله خالی
۱۷۹	۶-۱۱- کنترل پمپ‌ها
۱۷۹	۶-۱۱-۱- توالی پمپ‌ها
۱۷۹	۶-۱۱-۲- شیرهای کنترل جریان پمپ
۱۸۰	۶-۱۱-۳- افزایش ممان اینرسی چرخشی
۱۸۰	۶-۱۱-۴- موتورهای با دور متغیر
۱۸۱	فصل هفتم: معادلات حاکم بر جریان ناپایدار در مجاری روباز
۱۸۱	۷-۱- مقدمه
۱۸۳	۷-۲- استخراج معادلات سنت و نانت
۱۸۴	۷-۲-۱- معادله بقای جرم
۱۸۶	۷-۲-۲- معادله اندازه حرکت
۱۹۰	۷-۳- تبدیل معادلات سنت و نانت به شکل معادلات مشخصه
۱۹۴	۷-۴- تعبیر ریاضی امتدادهای مشخصه
۱۹۶	۷-۵- شرایط اولیه و شرایط مرزی
۲۰۰	۷-۶- موج ساده
۲۰۴	۷-۶-۱- مسئله شکست سد
۲۱۱	مسائل حل نشده
۲۱۳	فصل هشتم: روش‌های ساده شده روندیابی جریان روباز
۲۱۳	۸-۱- مقدمه
۲۱۵	۸-۲- روندیابی هیدرولوژیکی
۲۱۸	۸-۲-۱- روندیابی مخزن
۲۲۱	۸-۲-۲- روندیابی رودخانه
۲۲۸	۸-۳- روندیابی موج سینماتیک
۲۳۸	۸-۴- روندیابی دیفیوژن
۲۴۴	۸-۵- روش ماسکینگام-کونز
۲۵۳	مسائل حل نشده

ضمیمه الف: برنامه کامپیوتری مثال ۲-۳ ۲۵۵

ضمیمه ب: برنامه کامپیوتری مثال ۱-۴ ۲۶۴

ضمیمه ج: جدول مشخصات پمپ ۲۷۹

مراجع ۲۸۳

واژه‌نامه ۲۸۵

www.ketab.ir

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمه

استحصال و بهره‌برداری مناسب از منابع آب برای سرزمینی که متوسط نزولات آسمانی آن حدود یک سوم متوسط جهانی است از اهمیت زیادی برخوردار است. افزایش جمعیت و لزوم تامین نیازهای مختلف آبی از یک سو و کم‌بودن مقدار بارش‌ها و توزیع نامناسب زمانی و مکانی آنها از سویی دیگر، ذخیره‌سازی و سپس انتقال آب را به نقاط دور دشت، آفری اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. از این رو در دو دهه گذشته به منظور تامین نیروی انسانی مورد نیاز صنعت آب کشور، دوره‌های رسمی مختلفی در مراکز آموزش عالی کشور برگزار گردید که منجر به تربیت نیروی انسانی، با مسئولیت طرح، اجرا، و بهره‌برداری از تاسیسات آبی گردید.

توجهی که در چند سال اخیر نسبت به طراحی و اجرای سیستم‌های انتقال تحت فشار معطوف گردیده و تشویق به استفاده از سیستم‌های آبیاری تحت فشار به منظور بهبود بهره‌برداری از منابع آب کشور، به شناخت بهتر مسائل خاص این سیستم‌ها نیاز دارد. اگرچه معمولاً طراحی سیستم‌های انتقال روباز و تحت فشار با استفاده از روابط جریان پایدار صورت می‌گیرد، اما بررسی آثار ناپایداری جریان بر این سیستم‌ها از جنبه‌های مختلف ضروری است. ناپایداری جریان در مجاری تحت فشار می‌تواند به تولید فشارهای بزرگی منجر شود که امنیت و عملکرد نرمال سیستم را به مخاطره می‌اندازد. در شبکه‌های انتقال و توزیع آب آبیاری، جریان‌های ناپایدار بر عملکرد و راندمان مورد انتظار شبکه تاثیر مستقیم دارند؛ چنانکه این مقوله در چند سال اخیر مورد توجه جدی مدیران منابع آب و بهره‌برداران از شبکه‌ها نیز قرار گرفته است. همچنین، مطالعه طغیان و روندیابی آن در رودخانه‌ها و مخازن اساساً باید به کمک روابط جریان ناپایدار صورت گیرد.

با وجود اهمیت مهندسی جریان‌های ناپایدار و نیاز به مراجع درسی و کاربردی در این زمینه، منابع فارسی محدودی در اختیار است و به نظر می‌رسد تدوین کتبی در باب هیدرولیک جریان‌های ناپایدار برای دسترسی آسان‌تر به موضوعات این مقوله، و تأکید بر اهمیت کاربردی آن ضرورت دارد.

برای نامگذاری جریان‌های متغیر با زمان، تعبیرهای مختلفی در زبان فارسی از قبیل جریان‌های ناپایدار، غیرمماندگار، غیردائم، میرا و ... مصطلح شده است. گرچه استفاده از کلمه ناپایدار (غالباً برای مجاری تحت فشار) و غیرمماندگار (برای جریان‌های با سطح آزاد) بیشتر

متداول شده است، اما در این کتاب به منظور ایجاد یکنواختی در متن از عبارت "ناپایدار" برای جریان متغیر با زمان استفاده شده است.

پیش‌نیاز مطالعه هیدرولیک جریان‌های ناپایدار، مباحث مکانیک سیالات، هیدرولیک و هیدرولیک کانال‌ها است. اما با عنایت به وجود کتاب‌های متنوع و مفید در موضوعات یادشده و به منظور رعایت اختصار، فرض بر این بوده است که خواننده با مفاهیم بنیادی مکانیک سیالات و هیدرولیک آشنا است. اگرچه مباحث جریان‌های تحت فشار و روباز هر دو در این کتاب آمده است، اما کتاب بر بیان مبانی جریان‌های تحت فشار تأکید بیشتری دارد. همچنین سعی شده است تا تدوین مطالب کتاب به گونه‌ای باشد که بتواند مورد استفاده دانشجویان دوره‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته‌های مرتبط با آب از قبیل آبیاری، عمران، و مکانیک قرار گیرد. امیدواریم که این کوشش ناچیز مورد قبول و استفاده دانشجویان گرامی و کارشناسان محترم صنعت آب کشور واقع شود و خوانندگان عزیز ضمن انعکاس ایرادهای کتاب و نظرات ارزنده خود، ما را در رفع نواقص آن برای چاپ‌های بعدی یاری نمایند.

صلاح کوچکزاده و عاطفه پرورش‌ریزی

زمستان ۱۳۸۳