



دانشگاه ارومیه
دانشکده فنی

سازه‌های آبی

شامل اصول و مبانی طراحی:

کانال‌ها، سازه‌های وابسته سد، تریه قوچ و کاویتاسیون،
پمپ‌ها و توربین‌ها

تألیف:

دکتر میرعلی محمدی

دانشیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه ارومیه

دکتر محسن بشارت

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد سقز

محمدی، میرعلی.

بناهای آبی / تألیف میرعلی محمدی و محسن بشارت.

ارومیه: انتشارات دانشگاه ارومیه، ۱۳۹۵.

۴۵۰ ص.: مصور، نمودار، جدول. - (انتشارات دانشگاه ارومیه، ۱۹۵).

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۶۴۸-۸۴-۲

کتابنامه

۱- سازه های شارولکی الف. بشارت، محسن، نویسنده همکار. ب. عنوان. ج. فروست.

TC، ۱۸۰، ۸، ۳۳م/، ۱۳۹۵ - شماره ملی ۴۲۲۴۴۷۷

عنوان: بناهای آبی

مؤلف: دکتر میرعلی محمدی و دکتر محسن بشارت

ناشر: دانشگاه ارومیه

سال نشر: ۱۳۹۵

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۶۶۴۸-۸۴-۲

قیمت: ۲۰۰/۰۰۰ ریال

آدرس: ارومیه - کیلومتر ۱۱ جاده سرو - دانشگاه ارومیه - انتشارات

تلفن ۰۴۴۳۲۷۷۹۹۳۰ - ۰۹۱۴۱۸۶۹۴۲۷

از روزگاران کهن، بشر نیاز به منابع آب قابل دسترس را به خوبی شناخته است و سالیان دراز انسان‌ها از بناها و سازه‌های آبی استفاده نموده است. بناهای آبی و رودخانه‌ها به منظور تأمین نیازهای بشر در توسعه‌ی کشاورزی، حمل‌ونقل، تولید انرژی، مدیریت و کنترل سیلاب و رفع آلودگی همواره مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سکونت اولیه‌ی انسان‌ها در کنار رودخانه‌ها، چشمه‌ها و قنات‌ها بوده است. دسترسی به منابع آب، بشر را بر آن داشت تا این ماده‌ی پرارزش را به خوبی بشناسد. شناخت رفتار و فرآیندهای حاکم بر جریان در بناهای آبی، استفاده‌ی بهینه از پتانسیل بسیار عظیم آب موجود در مناطق مختلف جهان را در پی دارد. آنچه مسلم است در دنیای پیشرفته‌ی آینده، علم مهندسی آب از اهمیت والاتری برخوردار خواهد بود. این مجموعه که بناهای آبی نام‌گذاری شده است، موضوعات مربوط به هیدرولیک جریان و فرآیندهای طراحی سازه‌های هیدرولیکی را ارائه می‌دهد که در آن مفاهیم اساسی هیدرولیک و هیدرودینامیک رفتار جریان در انواع سازه‌های آبی مطرح می‌شود. لازم به ذکر است هدف از تدوین این کتاب تهیه‌ی یک کتاب مرجع و کلی نیست، چراکه مراجع بسیار خوبی در این زمینه به زبان‌های دیگر موجود است که مهندسين و پژوهشگران در مراحل پیشرفته می‌توانند به آنها مراجعه نمایند. در واقع هدف اصلی این کتاب تهیه‌ی مجموعه‌ای برای انجام طراحی‌های معمول با ارائه‌ی آخرین دستاوردها و روش‌های این شاخه و همچنین مطالعه‌ی دانشجویان رشته‌های مهندسی عمران و آب بوده است. امروزه مسائل مربوط به طراحی و تحلیل جریان در سازه‌های آبی مثل سدها، کانال‌ها، رودخانه‌ها و تأسیسات جانبی آنها به‌ویژه در طراحی نقش بسزایی دارد. موضوع درس بناهای آبی، شناسایی و مطالعه‌ی انواع سازه‌های آبی و بررسی رفتار آنها از لحاظ طرح، محاسبه و اجراست که به‌عنوان کلیدی مهم در محیط‌زیست محسوب می‌شود. بالا بردن توان علمی دانشجویان، آشنایی آنان با علم روز بناهای آبی و کمبود کتاب آموزشی

کامل در این زمینه انگیزه‌ی اصلی مؤلفین بوده است. انگیزه‌ی دیگر جمع‌آوری و ارائه‌ی تجربه‌ی مدت‌زمان طولانی تدریس این درس در دانشگاه‌های مختلف و تحقیق روی موضوعات گوناگون مربوط به هیدرولیک جریان و اصول طراحی بناهای آبی و همچنین ارائه‌ی تجربه‌ی کاری ارزشمند در این زمینه توسط مؤلفین بوده است.

به‌منظور تأمین پشتوانه برای مطالب موردبحث در متن اصلی کتاب، در صفحات انتهایی هر بخش تمرینات حل‌شده‌ی گوناگونی همراه با شرح جزییات آنها جهت استفاده‌ی دانشجویان و علاقه‌مندان ارائه‌شده است. همچنین سعی شده است با ارائه‌ی عکس‌های واقعی از پروژه‌های مرتبط و معرفی نشریات مصوب در هر زمینه مطالب کاربردی‌تر و مفیدتر گردد. در خلال تألیف همواره تلاش شده است از آوردن مطالب اضافی که موجب حجیم شدن کتاب می‌شود تا حد ممکن پرهیز شود.

کتاب حاضر برای تدوین در رشته‌های کارشناسی و کارشناسی ارشد رشته‌های مهندسی عمران (عمران، آب، سازه‌های هیدرولیکی و محیط‌زیست) و مهندسی کشاورزی (مهندسی آب و سازه‌های آبی) مناسب است. درعین حال کارشناسان، مهندسان مشاور طراح و مجری طرح‌ها و پروژه‌های مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی می‌توانند آن را مورد استفاده قرار دهند. در تهیه‌ی این کتاب، از مقالات و کتاب‌های منتشرشده در سال‌های اخیر استفاده‌شده است. برای کسانی که علاقه‌مند به اطلاعات و جزییات بیشتری هستند، در انتهای کتاب فهرستی از مراجع آورده شده است.

باوجود صرف زمان زیاد و دقت فراوان در انجام کار تدوین و صفحه‌آرایی کتاب، نمی‌توان ادعا نمود که این مجموعه خالی از عیب و نقص باشد. ازاین‌رو از استادان، دانشجویان عزیز و سایر علاقه‌مندان تقاضا داریم، از موارد اشکال و اشتباهات چشم‌پوشی نکرده، عنایت فرموده و اطلاع دهند تا در بازبینی‌های بعدی اصلاحات لازم انجام پذیرد. لازم است از همکاری و زحمات خانم مهندس اوین دادفر که در تدوین این کتاب همکاری مستمر داشته‌اند، تشکر و قدردانی شود. در خاتمه، امیدواریم که این

تلاش مورد توجه دانشجویان، مهندسان و کارشناسان مسائل آبی کشور قرار گرفته و گامی مفید و مؤثر در بالا بردن سطح علمی آموزش عالی کشور به شمار آید.

میرعلی محمدی - محسن بشارت

پاییز ۱۳۹۵

www.ketab.ir

فهرست مطالب

فصل اول - اصول طراحی و اجرایی در کانال‌های انتقال آب

۱	۱-۱ مقدمه
۱	۲-۱ عوامل مؤثر در طراحی کانال‌ها
۲	۱-۲-۱ اتلاف آب از سطح جریان
۳	۲-۲-۱ اتلاف آب از بدنه‌ی کانال
۷	۳-۱ استنادده‌ار توپوگرافی منطقه برای تعیین مسیر کانال‌ها
۱۰	۴-۱ شیب طولی کانال
۱۱	۵-۱ شکل مقطع کانال و مشخصات آن
۱۴	۶-۱ سرعت مجاز در کانال‌ها
۱۴	۱-۶-۱ حداکثر سرعت مجاز
۱۵	۲-۶-۱ حداقل سرعت مجاز
۱۶	۷-۱ طراحی هیدرولیکی کانال
۱۷	۸-۱ طراحی کانال‌های پوشش‌دار
۲۸	۹-۱ بهترین مقطع هیدرولیکی
۲۹	۱۰-۱ طراحی کانال‌های بدون پوشش
۳۰	۱-۱۰-۱ روش بیشترین سرعت مجاز
۳۳	۲-۱۰-۱ روش تنش برشی
۴۸	۱۱-۱ ارتفاع آزاد آب
۵۱	۱۲-۱ طراحی خم در کانال‌ها
۵۴	۱۳-۱ پوشش کانال‌ها
۵۵	۱۴-۱ انواع پوشش کانال‌ها
۵۵	۱-۱۴-۱ پوشش صلب و یکپارچه
۶۰	۲-۱۴-۱ پوشش نرم
۶۴	نشریات مرتبط

۶۵	 مراحل اجرایی یک کانال دوزنقه‌ای با پوشش بتنی
۶۹	 تمرینات حل شده

فصل دوم - اصول طراحی هیدرولیکی تبدیل‌ها

۸۶	 ۱-۲ مقدمه
۸۷	 ۲-۲ افت انرژی در تبدیل
۹۰	 ۳-۲ محاسبه‌ی پروفیل سطح آب در طول تبدیل
۹۵	 ۴-۲ طراحی تبدیل‌های سهموی جهت جریان زیربحرانی
۹۵	 ۱-۴ روش سهموی اصلاح شده
۹۶	 ۲-۴ روش ساده
۹۸	 ۵-۲ طراحی تبدیل‌ها فوق بحرانی
۹۹	 نشریات مرتبط
۱۰۰	 تمرینات حل شده

فصل سوم - اصول طراحی هیدرولیکی شیب‌شکن‌ها

۱۰۹	 ۱-۳ مقدمه
۱۱۰	 ۲-۳ انتخاب حوضچه آرامش
۱۱۰	 ۳-۳ اتلاف انرژی در دراپ‌ها
۱۱۰	 ۴-۳ انواع دراپ‌ها بر اساس شکل
۱۱۲	 ۵-۳ طراحی هیدرولیکی دراپ‌ها
۱۱۴	 ۶-۳ انواع دراپ‌های قائم بر اساس شکل
۱۱۴	 ۱-۶-۳ دراپ قائم بدون مانع و پله‌ی پایین‌دست
۱۱۷	 ۲-۶-۳ دراپ قائم بدون مانع و با پله‌ی پایین‌دست
۱۱۸	 ۳-۶-۳ دراپ قائم مستغرق بدون مانع و با پله‌ی پایین‌دست
۱۱۹	 ۴-۶-۳ دراپ قائم بدون مانع و با کنترل در بالادست
۱۲۱	 ۷-۳ دراپ مایل

۱۲۳	۸-۳ دراپ شیب دار با بلوک‌های ضربه گیر
۱۲۸	۹-۳ دراپ‌های لوله‌ای
۱۲۸	۱-۹-۳ اجزای هیدرولیکی دراپ لوله‌ای نوع ۱
۱۳۱	نشریات مرتبط
۱۳۲	تمرینات حل شده

فصل چهارم - اصول طراحی هیدرولیکی سیفون معکوس

۱۳۷	۱-۴ مقدمه
۱۳۷	۲-۴ کلیات
۱۳۸	۳-۴ تبدیل‌ها
۱۳۹	۴-۴ بدنه‌ی اصلی سینون (لوله‌ی بارل)
۱۴۱	۵-۴ افت انرژی
۱۴۲	۱-۵-۴ افت در تبدیل ورودی و خروجی
۱۴۴	۲-۵-۴ افت طولی سیفون
۱۴۵	۳-۵-۴ افت در خمیدگی‌ها
۱۴۸	۶-۴ اجزای سیفون‌ها
۱۵۰	۷-۴ طرح هیدرولیکی سیفون‌ها
۱۵۱	نشریات مرتبط
۱۵۳	تمرینات حل شده

فصل پنجم - اصول طراحی هیدرولیکی زیرگذرها

۱۶۰	۱-۵ مقدمه
۱۶۱	۲-۵ انواع مقاطع کالورت‌ها
۱۶۴	۳-۵ تبدیل ورودی کالورت‌ها
۱۶۵	۱-۳-۵ ورودی ساده بدون تبدیل
۱۶۶	۲-۳-۵ تبدیل ورودی دیواره‌دار

۱۷۰	 ۵-۳-۳ تبدیل‌های دیواره‌دار ارتقا داده شده
۱۷۱	 ۵-۴ تبدیل‌های خروجی کالورت‌ها
۱۷۱	 ۵-۵ تعیین موقعیت کالورت
۱۷۲	 ۵-۶ روند طرح هیدرولیکی کالورت‌ها
۱۷۳	 ۵-۷ اطلاعات لازم برای طرح هیدرولیکی یک کالورت
۱۷۴	 ۵-۷-۱ کالورت ایده‌آل
۱۷۵	 ۵-۸ هیدرولیک کالورت‌ها
۱۷۶	 ۵-۹ جریان با کنترل در ورودی
۱۸۲	 ۵-۱۰ جریان با کنترل در خروجی
۱۸۵	 ۵-۱۱ افت انرژی در کالورت‌ها
۱۸۷	 ۵-۱۲ طراحی هیدرولیک کالورت‌ها
۱۸۷	 ۵-۱۲-۱ طراحی کالورت‌های با استفاده از چارت ظرفیت
۱۹۸	 ۵-۱۲-۲ طراحی کالورت با استفاده از نمودارها
۲۰۷	 نشریات مرتبط
۲۰۸	 تمرینات حل شده

فصل ششم - اصول طراحی و اجرایی روگذرها و عبورهای تنظیم تراز آب

۲۱۸	 ۶-۱ مقدمه
۲۲۰	 ۶-۲ مسیر روگذر
۲۲۱	 ۶-۳ ظرفیت روگذر
۲۲۱	 ۶-۴ روگذر نیمکتی
۲۲۲	 ۶-۴-۱ محدودیت‌های هیدرولیکی روگذر نیمکتی
۲۲۴	 ۶-۴-۲ ضوابط طراحی روگذر نیمکتی
۲۲۶	 ۶-۵ روگذر پایه‌دار
۲۲۷	 ۶-۶ ضوابط طراحی روگذر لوله‌ای بر اساس نشریه ۳۳۷
۲۲۷	 ۶-۶-۱ روگذر لوله‌ای

۲۲۹	 ۲-۶-۶ روگذر با مقطع ناو شکل
۲۳۰	 ۷-۶-۶ سازه‌های تثبیت‌کننده سطح آب در کانال‌های روباز
۲۳۰	 ۱-۷-۶ سرریزهای جانبی کانالی
۲۳۲	 ۲-۷-۶ سرریزهای سیفونی
۲۳۳	 ۳-۷-۶ دریچه‌های خودکار
۲۳۳	 ۴-۷-۶ دریچه‌های هدایت شونده
۲۳۳	 ۵-۷-۶ مخازن جانبی
۲۳۵	 نشریات مرتبط

فصل هفتم - سرریزها

۲۳۶	 ۱-۷-۱ مقدمه
۲۳۶	 ۲-۷-۱ عوامل مؤثر در طراحی سرریزها
۲۳۸	 ۳-۷-۱ گروه‌بندی سرریزها بر اساس عملکرد هیدرولیکی
۲۳۸	 ۴-۷-۱ گروه‌بندی سرریزها بر اساس شکل فیزیکی
۲۳۸	 ۱-۴-۷ سرریزهای اوجی
۲۳۹	 ۲-۴-۷ سرریزهای تنداب
۲۴۰	 ۳-۴-۷ سرریزهای سیفونی
۲۴۰	 ۴-۴-۷ سرریز نیلوفری
۲۴۱	 ۵-۴-۷ سرریزهای جانبی
۲۴۲	 ۶-۴-۷ سرریز پلکانی
۲۴۳	 ۷-۴-۷ فیوزگیت و فیوزپلاگ
۲۴۴	 ۸-۴-۷ سرریز تونلی
۲۴۴	 ۹-۴-۷ سرریز آزاد
۲۴۵	 ۵-۷-۲ اصول شکل‌دهی به بخش‌های مختلف آستانه در سرریزها
۲۴۸	 ۶-۷-۲ سرریزهای USBR و طراحی هیدرولیکی آن
۲۵۷	 ۷-۷-۲ سرریزهای تنداب

۲۶۲	۸-۷ سرریز اوجی استاندارد (WES) و طراحی هیدرولیکی آن
۲۶۵	۸-۷-۱ اثر ارتفاع سرریز و ارتفاع آب در سراب بر ضریب C
۲۶۷	۸-۷-۲ اثر شیب بدنه در سراب بر ضریب C
۲۶۸	۸-۷-۳ اثر ارتفاع آب و رقوم کف پایاب بر ضریب C
۲۷۰	۸-۷-۴ اثر پایه‌های پل و دماغه‌ی سواحل بر ضریب C
۲۷۱	۹-۷ طراحی بدنه سرریز استاندارد
۲۷۳	۱۰-۷ طراحی بدنه‌ی سرریز کوتاه بدون دریچه استاندارد در تنداب‌ها
۲۷۵	۱۱-۷ طراحی بدنه‌ی سرریز با دریچه
۲۷۷	تمرینات حل شده

فصل هشتم - اصول طراحی هیدرولیکی حوضچه‌های آرامش و انرژی‌گیرها

۲۸۲	۸-۱ مقدمه
۲۸۳	۸-۲ پرش هیدرولیکی
۲۸۶	۸-۳ حوضچه‌های آرامش
۲۸۹	۸-۴ اصول طراحی حوضچه‌های آرامش
۲۹۰	۸-۴-۱ حوضچه‌ی آرامش USBR تیپ I
۲۹۳	۸-۴-۲ حوضچه‌ی آرامش USBR تیپ II
۲۹۸	۸-۴-۳ حوضچه‌ی آرامش USBR تیپ III
۳۰۰	۸-۴-۴ حوضچه‌ی آرامش USBR تیپ IV
۳۰۴	۸-۴-۵ حوضچه‌ی آرامش USBR تیپ V
۳۰۹	۸-۴-۶ حوضچه‌ی آرامش USBR تیپ VI
۳۱۲	۸-۵ حوضچه‌ی آرامش SAF
۳۱۵	۸-۶ سازه‌های پایانه جامی پرتابی
۳۱۹	۸-۷ سازه‌های پایانه جامی مستغرق
۳۲۶	نشریات مرتبط

۳۲۷	تمرینات حل شده
-----	----------------------

فصل نهم - معرفی پدیده‌های ضربه قوچ و کاویتاسیون

۳۳۵	۱-۹ مقدمه
۳۳۵	۲-۹ اصول اولیه و معادلات پایه
۳۴۷	۳-۹ سرعت موج فشاری در جداره‌های غیرصلب
۳۵۴	۴-۹ نحوه انتشار موج فشاری در زمان
۳۶۰	۵-۹ علل ایجاد ضربه قوچ
۳۶۱	۶-۹ کاویتاسیون
۳۶۵	۷-۹ جدایی ستون آب
۳۶۶	۸-۹ روش‌های کنترل پدیده ضربه قوچ
۳۶۶	۱-۸-۹ بستن تدریجی شیرآلات
۳۶۷	۲-۸-۹ افزایش ممان اینرسی پمپ و پمپ دور متغیر
۳۶۸	۳-۸-۹ تانک ضربه‌گیر یک طرفه
۳۶۹	۴-۸-۹ تانک ضربه‌گیر تحت فشار
۳۷۰	۵-۸-۹ استفاده از شیرهای یک طرفه
۳۷۱	۶-۸-۹ کنترل فشار داخل خط لوله توسط هوای خارج
۳۷۳	نشریات مرتبط

فصل دهم - پمپ‌ها و توربین‌ها

۳۷۴	۱-۱۰ مقدمه
۳۷۵	۲-۱۰ تقسیم‌بندی پمپ‌ها
۳۷۷	۱-۲-۱۰ توربو پمپ‌ها
۳۸۱	۳-۱۰ معرفی برخی تعاریف و اصطلاحات
۳۸۱	۱-۳-۱۰ ادبی پمپ
۳۸۱	۲-۳-۱۰ ارتفاع مانومتریک

۳۸۱	 ۱۰-۳-۳ ارتفاع مکش مثبت خالص
۳۸۵	 ۱۰-۳-۴ توان مفید (توان خروجی)
۳۸۶	 ۱۰-۳-۵ توان مصرفی (توان روی محور، توان ورودی)
۳۸۷	 ۱۰-۴ منحنی‌های مشخصه
۳۹۲	 ۱۰-۵ منحنی سیستم و نقطه کار پمپ
۳۹۶	 ۱۰-۶ قوانین تشابه پمپ‌ها
۳۹۸	 ۱۰-۷ سرعت ویژه
۳۹۹	 ۱۰-۸ انتخاب مدل پمپ
۴۰۶	 ۱۰-۱ به هم بستن پمپ‌ها
۴۰۶	 ۱۰-۹-۱ روش به هم بستن موازی
۴۰۸	 ۱۰-۹-۲ به هم بستن سری پمپ‌ها
۴۱۱	 ۱۰-۱۰ ایستگاه پمپاژ
۴۱۳	 ۱۰-۱۱ توربین‌ها
۴۱۳	 ۱۰-۱۲ انواع توربین‌ها
۴۱۴	 ۱۰-۱۲-۱ توربین ضربه‌ای
۴۱۶	 ۱۰-۱۲-۲ توربین واکنشی
۴۱۸	 ۱۰-۱۲-۱-۱ توربین واکنشی جریان شعاعی
۴۱۸	 ۱۰-۱۲-۲-۲ توربین واکنشی جریان منارط
۴۱۹	 ۱۰-۱۲-۳-۲ توربین واکنشی جریان محوری
۴۲۱	 ۱۰-۱۳ سرعت ویژه توربین‌ها
۴۲۵	 نشریات مرتبط
۴۲۶	 تمرینات حل شده
۲۸۲	 مراجع