

نیروگاه آبی

از دیدگاه مهندسی مکانیک

تألیف

دکتر آزاده شامیدیان

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

مهندس علی سوهانی



دانشگاه تهران (دانشگاه ملی)

شماره ۴۴۳

سرشناسه: شهیدیان، آزاده، ۱۳۵۸ -

عنوان و نام پدیدآور: نیروگاه آبی کوچک از دیدگاه مهندسی مکانیک/ مؤلفان آزاده شهیدیان، علی سوهانی.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، انتشارات، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری: ۳۶۷ ص.: مصور، جدول، نمودار.

فروست: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛ شماره ۴۴۳.

شابک: 978-600-7867-57-0

وضعیت فهرست نویسی: فایلی

موضوع: نیروگاه‌های برق آبی.

موضوع: Hydroelectric power plants

موضوع: مهندسی مکانیک

موضوع: Mechanical Engineering

شناسه افزوده: سوهانی، علی، ۱۳۶۹ -

رده بندی کنگره: ۱۳۹۶ ۹ن ۹ش/TK1081

رده بندی دیویی: ۶۲۱/۳۱۲۱۳۴

شماره کتابشناسی ملی: ۴۹۱۸۲۴۴

<http://press.kntu.ac.ir>

ناشر: دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

عنوان: نیروگاه آبی کوچک از دیدگاه مهندسی مکانیک

مؤلفان: دکتر آزاده شهیدیان و مهندس علی سوهانی

نوبت چاپ: اول

تاریخ انتشار: آبان ۱۳۹۶، تهران

شمارگان: ۲۰۰ جلد

ویرایش: گروه ویراستاری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چاپ: دیرین نگار

صحافی: گرنامی

قیمت: ۲۹۰۰۰ تومان

تمام حقوق برای ناشر محفوظ است

خیابان میرداماد غربی - پلاک ۴۷۰ - انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - تلفن: ۸۸۸۸۱۰۵۲

میدان ونک - خیابان ولی عصر (عج) - بالاتر از چهارراه میرداماد - پلاک ۲۶۲۶ - مرکز پخش و فروش انتشارات

تلفن: ۸۸۷۷۲۲۷۷ رایانامه: press@kntu.ac.ir - تارنما (فروش برخط): www.press.kntu.ac.ir

فهرست مطالب

فصل اول : آشنایی با انواع نیروگاه‌ها ۱

۱.۱ تاریخچه صنعت برق در ایران ۱

۲.۱ روش‌های مختلف تولید انرژی برق ۵

۱.۲.۱ نیروگاه بخار ۵

۲.۲.۱ نیروگاه گازی ۶

۳.۲ نیروگاه سیکل ترکیبی ۷

۴.۲.۱ نیروگاه سته ۷

۵.۲.۱ نیروگاه آبی ۷

۶.۲.۱ نیروگاه بادی ۱۱

۷.۲.۱ نیروگاه خورشیدی ۱۲

۸.۲.۱ نیروگاه زمین گرمایی (ژئوترمال) ۱۲

۹.۲.۱ پیل سوختی ۱۳

۱۰.۲.۱ نیروگاه بیولوژیکی ۱۳

۳.۱ مقایسه‌ای بین نیروگاه‌های آبی و دیگر نیروگاه‌ها ۱۳

۴.۱ انواع نیروگاه‌های آبی ۱۳

۱.۴.۱ دسته‌بندی بر اساس قدرت تولیدی ۱۴

۲.۴.۱ دسته‌بندی نیروگاه‌ها بر اساس نوع بار ۱۵

۳.۴.۱ دسته‌بندی بر اساس ارتفاع ریزش آب ۱۶

۱۶	۵.۱ پتانسیل منابع نیروگاه‌های برق‌آبی در جهان
۱۷	۱.۵.۱ وضعیت نیروگاه‌های برق‌آبی کوچک در نقاط مختلف دنیا
۲۱	۶.۱ وضعیت بارندگی و پتانسیل‌های آبی در کشور ایران
۲۴	۷.۱ جایگاه نیروگاه آبی در میان دیگر نیروگاه‌ها در ایران
۲۵	۸.۱ مسائل زیست‌محیطی نیروگاه‌های آبی
۲۸	پرسش
۲۹	فصل دوم : سد و سرریز
۲۹	۱.۲ مقدمه
۲۹	۲.۲ طبقه‌بندی سدها
۲۹	۱.۲.۲ طبقه‌بندی بر اساس کاربرد
۳۱	۲.۲.۲ طبقه‌بندی به صورت سدهای بزرگ و کوچک
۳۱	۳.۲.۲ طبقه‌بندی بر اساس مصالح
۴۵	۳.۲ نیروهای وارد بر سد
۴۵	۴.۲ عمر سد
۴۵	۵.۲ تأثیر گل و لای بر ظرفیت سد
۴۶	۶.۲ اثرات زیان‌باری که سدها ممکن است داشته باشند
۴۶	۷.۲ نکاتی در مورد مراحل مطالعاتی پروژه‌های سدسازی
۴۹	۸.۲ سرریز
۶۶	پرسش
۶۷	فصل سوم : مکانیک سیالات در نیروگاه آبی
۶۸	۱.۳ توضیح‌هایی کلی در مبحث هیدرولیکی نیروگاه‌های آبی کوچک

۶۸	۱.۱.۳ موقعیت مکانی نیروگاه‌های با ارتفاع زیاد
۶۸	۲.۱.۳ موقعیت پروژه‌های با ارتفاع کم
۷۱	۲.۳ معادله‌های حاکم بر جریان سیال
۷۴	۳.۳ محاسبه قدرت تولیدی در نیروگاه آبی
۷۹	۴.۳ جریان پایدار در کانال‌های باز
۸۱	۱.۴.۱ افت انرژی در جریان کانال‌های باز
۸۱	۲.۳ جریان در لوله‌ها یا کانال‌های سر بسته
۹۶	پرسش
۹۷	فصل چهارم: محوری آب در نیروگاه آبی
۹۷	۱.۴ مقدمه
۹۷	۲.۴ مجاری سر باز
۹۸	۳.۴ مجاری هدایت آب به سمت توربین
۹۹	۱.۳.۴ انتخاب قطر لوله پستاک
۱۰۲	۲.۳.۴ محاسبه ضخامت دیواره لوله پستاک
۱۰۴	۴.۴ محفظه توربین
۱۰۴	۱.۴.۴ محفظه توربین‌های ضربه‌ای
۱۰۷	۲.۴.۴ محفظه توربین‌های فرانسسیس و کاپلان
۱۱۳	۵.۴ لوله مکش
۱۲۳	پرسش
۱۲۵	فصل پنجم: شیرها و دریچه‌ها
۱۲۵	۱.۵ مقدمه

- ۲.۵ درجه‌های کنترل‌کننده ارتفاع ۱۲۵
- ۱.۲.۵ درجه تخلیه موقتی ناگهانی ۱۲۵
- ۲.۲.۵ درجه تخلیه دائمی ۱۲۷
- ۳.۲.۵ درجه لولا شده از پایین (مایل) ۱۲۷
- ۴.۲.۵ درجه تله انداز ۱۲۷
- ۵.۲.۵ درجه جمع‌کننده (قوس دار) ۱۲۹
- ۳.۵ درجه‌های کنترل‌کننده دبی ۱۳۰
- ۱.۳.۵ درجه کشویی ساده ۱۳۰
- ۲.۳.۵ درجه شعاعی ۱۳۰
- ۳.۳.۵ درجه چرخشی غلطکی ۱۳۱
- ۴.۳.۵ درجه استونی ۱۳۱
- ۵.۳.۵ درجه زنجیری غلطکی ۱۳۳
- ۶.۳.۵ درجه چرخان ۱۳۳
- ۴.۵ دیگر درجه‌ها ۱۳۵
- ۱.۴.۵ تیغه‌های سدکننده (فراز بند) ۱۳۵
- ۲.۴.۵ درجه‌های هدایت‌کننده آب به سمت پره‌های توربین ۱۳۷
- ۳.۴.۵ درجه اشغال‌گیر ۱۳۸
- ۵.۵ محاسبه وزن پایه‌بر و نیروهای بالابر درجه‌های عمودی ۱۳۹
- ۶.۵ انواع شیرهای موجود در نیروگاه‌های آبی ۱۴۱

۱۴۱	 شیر پروانه‌ای	۱.۶.۵
۱۴۲	 شیر کروی با آب بند توپی	۲.۶.۵
۱۴۴	 شیر کشویی	۳.۶.۵
۱۴۴	 شیرسوزنی	۴.۶.۵
۱۴۵	 شیر حلقوی	۵.۶.۵
۱۴۵	 شیر هاول بانگر(مخروط ثابت)	۶.۶.۵
۱۴۷	 شیر بالو جت	۷.۶.۵
۱۴۷	 شیر استونی(غلاف)	۸.۶.۵
۱۵۰	 پریش	
۱۵۱	 فصل ششم : توربین‌های آبی	
۱۵۱	 ۱.۶ مقدمه	
۱۵۱	 ۲.۶ معرفی توربین‌های آبی	
۱۵۳	 ۳.۶ انواع توربین‌های آبی	
۱۵۳	 ۱.۳.۶ توربین‌های ضربه‌ای	
۱۵۷	 ۲.۳.۶ توربین‌های عکس‌العملی	
۱۶۲	 ۴.۶ بازده توربین	
۱۶۴	 ۵.۶ کنترل سرعت در توربین‌های آبی	
۱۶۴	 ۱.۵.۶ سرعت گریز	
۱۶۵	 ۲.۵.۶ کنترل سرعت و تنظیم‌گر سرعت	

۱۶۶	.....	۳.۵.۶ انواع تنظیم‌گر سرعت و مشخصات آن‌ها
۱۶۷	.....	۶.۶ اعداد بدون بعد در توربین‌ها
۱۶۷	.....	۱.۶.۶ تعاریف
۱۶۹	.....	۲.۶.۶ کاربرد اعداد بی بعد در بررسی عملکرد توربین تحت شرایط محل جدید
۱۷۳	.....	۳.۶.۶ چنی‌های تجربی عملکرد
۱۷۳	.....	۷.۶ سرعت مخصوص توربین
۱۷۸	.....	۸.۶ حفره‌زایی
۱۷۸	.....	۱.۸.۶ مبنای
۱۸۲	.....	۲.۸.۶ روش اندیس حفره‌زایی توربا
۱۸۴	.....	۳.۸.۶ روش U.S.A.C.E
۱۹۲	.....	۹.۶ انتخاب توربین برای نیروگاه آبی
۲۰۸	.....	پرسش
۲۱۱	.....	فصل هفتم : ضربه قوچ
۲۱۱	.....	۱.۷ مقدمه‌ای بر شناخت پدیده ضربه قوچ
۲۱۱	.....	۱.۱.۷ کلیات
۲۱۳	.....	۲.۱.۷ محل و علل وقوع ضربه قوچ
۲۱۴	.....	۲.۷ پدیده ضربه قوچ
۲۱۵	.....	۳.۷ تغییرهای فشار بر اثر تغییر ناگهانی سرعت
۲۱۸	.....	۴.۷ انتشار و انعکاس موج در یک خط لوله
۲۲۶	.....	۵.۷ نظریه‌های مربوط به ضربه قوچ

۲۲۶	۱.۵.۷ نظریه رفتار صلب ستون آب
۲۲۶	۲.۵.۷ نظریه رفتار کشسانی
۲۲۷	۶.۷ بررسی ضربه قوچ در رفتار کشسانی
۲۲۷	۱.۶.۷ سرعت امواج در ضربه قوچ
۲۲۹	۲.۶.۷ معادله‌های حاکم بر ضربه قوچ
۲۵۳	۴.۷ انعکاس موج ضربه قوچ در چند لوله متصل به یکدیگر
۲۵۴	۱.۱.۷ محاسبه طول و قطر معادل خط انتقال
۲۵۶	۲.۷.۷ انعکاس موج ضربه قوچ
۲۶۶	۸.۷ معرفی نرم‌افزارهای بررسی پدیده ضربه قوچ و قابلیت‌های آن‌ها
۲۶۷	۱.۸.۷ معرفی نرم‌افزار Trans
۲۷۳	۲.۸.۷ معرفی نرم‌افزار AIT Impulse
۲۷۴	۳.۸.۷ معرفی نرم‌افزار HAMMERV8i
۲۷۵	۹.۷ الگوسازی مخزن خیزآب
۲۸۰	پیش
۲۸۱	فصل هشتم: ژنراتور
۲۸۱	۱.۸ مقدمه
۲۸۱	۲.۸ قانون القای فارادی
۲۸۲	۳.۸ نحوه عملکرد ژنراتور
۲۸۶	۴.۸ ژنراتورهای به کار رفته در نیروگاه‌های آبی
۲۹۱	۵.۸ توان فعال، توان غیرفعال، توان ظاهری و ضریب قدرت

۶.۸ ترانسفورماتور	۲۹۳
۱.۶.۸ اصول عملکردی	۲۹۳
۲.۶.۸ انتخاب ترانسفورماتورها	۲۹۶
۷.۸ دستگاه‌های حفاظتی (رله‌ها)	۲۹۷
۸.۸ موازی بستن (سنکرونیزه کردن) ژنراتورها	۲۹۹
۹.۸ مصارف داخلی برق در نیروگاه‌های آبی	۲۹۹
۱.۹.۸ مصرف داخلی نیروگاه آبی	۲۹۹
۲.۹.۸ تأمین جریان متناوب صرف داخلی	۳۰۱
۳.۹.۸ تأسیسات جریان دائم و زمین‌افطاری	۳۰۱
پرسش	۳۰۴
فصل نهم: تجهیزات کمکی	۳۰۵
۱.۹ مقدمه	۳۰۵
۱.۱.۹ مشخصات فنی عمومی	۳۰۵
۲.۱.۹ مشخصات فنی خاص	۳۰۵
۲.۹ آب‌خنک‌کن	۳۰۸
۱.۲.۹ منابع تأمین آب‌خنک‌کن	۳۰۸
۲.۲.۹ طراحی سامانه	۳۰۸
۳.۲.۹ خنک‌سازی ژنراتور و ترانسفورماتور	۳۰۹
۳.۹ تأمین آب آشامیدنی و سرویس	۳۰۹

۳۱۰	 ۱.۳.۹ طراحی سامانه
۳۱۰	 ۴.۹ سامانه تخلیه آب توربین و تونل‌ها
۳۱۱	 ۱.۴.۹ طراحی سامانه
۳۱۱	 ۵.۹ زهکشی آب
۳۱۱	 ۱.۵.۹ کارکرد سامانه
۳۱۲	 ۲.۵.۹ طراحی سامانه
۳۱۲	 ۶.۹ سازه کنتینر و دفع فاضلاب
۳۱۳	 ۷.۹ اطفای حریق
۳۱۳	 ۱.۷.۹ طراحی سامانه
۳۱۴	 ۸.۹ هوای فشرده (Compressed Air)
۳۱۴	 ۱.۸.۹ طراحی سامانه
۳۱۴	 ۹.۹ انتقال و تصفیه روغن
۳۱۵	 ۱.۹.۹ طراحی سامانه
۳۱۵	 ۱۰.۹ گرمایش، هوارسانی و تهویه مطبوع (HVAC)
۳۱۶	 ۱.۱۰.۹ طراحی سامانه
۳۱۶	 ۲.۱۰.۹ هوای ورودی و خروجی
۳۲۴	 پرسش
۳۲۵	 پیوست الف: اطلاعات سد و سرریزهای ایران
۳۴۳	 پیوست ب: اطلاعات مربوط به نیروگاه‌های آبی ایران

پیش گفتار

نیروی برق آبی یا هیدروالکتریسیته اصطلاحی است که به انرژی الکتریکی تولیدی از آب گفته می‌شود. البته استفاده از انرژی آب از زمان‌های قدیم برای تولید انرژی و مصارف گوناگون دیگر مورد توجه بوده است. در سال‌های اخیر این منبع انرژی تبدیل پذیر با توجه به ملاحظه‌های زیست محیطی، هزینه‌ها و در دسترس بودن در مناطقی خاص، مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. از انواع کاربردهای انرژی آب، نیروگاه برق آبی با توجه به تنوع ظرفیت تولیدی و مزایای دیگر آن در بسیاری از نقاط جهان ساخت و بهره‌برداری قرار می‌گیرد.

در ایران با توجه به فراوانی و ارزانی سوخت‌های فسیلی، نیروگاه‌های آبی مورد توجه قرار نگرفتند. البته از حدود ۱۰ سال پیش عزم جدی در ساخت نیروگاه‌های آبی بزرگ آغاز شد و بسیاری از این طرح‌ها به بهره‌برداری و استفاده در شبکه سراسری رسیدند. در حقیقت استحصال انرژی از منابع آبی بزرگ موجود در کشور به نحو مطلوبی به سرانجام رسید. به دنبال آن ساخت نیروگاه‌های آبی کوچک و متوسط در حال ساخت و بهره‌برداری هستند.

وجود سد و سازه‌های نیروگاه آبی، تجهیزهای مکانیکی الکتریکی تولید و انتقال انرژی الکتریکی، سبب شده است تا مهندسان عمران، برق و مکانیک به بررسی و طراحی سازه و تجهیزهای این صنعت بپردازند. از این رو کتاب‌های مربوطه در حیطه بررسی مسایل مرتبط با این حوزه نوشته می‌شوند.

هدف اصلی از نگارش این کتاب، تألیف کتابی از دیدگاه مهندسان مکانیک و با در نظر گرفتن تجهیزات مکانیکی نیروگاه است. کتاب حاضر در ۹ فصل تهیه شده است. در فصل اول معرفی و توضیح اجمالی انواع نیروگاه‌ها گفته شده است. مشخصات و خصوصیات سد و سرریز به عنوان سازه‌های اصلی نیروگاه آبی در فصل دوم مورد

مطالعه قرار گرفته است. از آنجاکه شناخت و مطالعه حرکت آب ضروری است، بنابراین در فصل سوم به مطالعه مکانیک سیالات و قوانین مربوطه در نیروگاه آبی پرداخته می‌شود. آب پشت سد برای رسیدن به توربین از پنستاک عبور کرده و در انتها از لوله مکش خارج می‌شود، پس در فصل چهارم مجاری عبور آب در نیروگاه آبی مانند پنستاک، لوله مکش و ... مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرند. یکی از تجهیزهای مهم و اساسی در نیروگاه آبی، شیرها و دریچه‌ها هستند که در انواع مختلف و ابعاد گوناگون وجود دارند و وظیفه کنترل عبور سیالات را برعهده دارند. فصل پنجم، مطالعه شیرها و دریچه‌های مهم موجود در نیروگاه آبی می‌پردازد. دو بخش اصلی تولید توان مکانیکی و الکتریکی در نیروگاه آبی، توربین آبی و ژنراتور مربوط به آن است. بررسی وظیفه تبدیل انرژی آب به انرژی مکانیکی و ژنراتور وظیفه تبدیل این انرژی مکانیکی به انرژی الکتریکی را دارد. این دو تجهیز اصلی نیروگاه در فصل ششم و هفتم مطالعه می‌شوند.

مطالعه ضربه قوچ به عنوان پدیده‌ای که در جریان سیالات که طراحی‌ها بر مبنای اجتناب از وقوع آن صورت می‌گیرد. در فصل هفتم مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در انتها در فصل نهم، تجهیزهای کلیدی نیروگاه آبی که جهت کارکرد بهینه آن ضروری است، ارائه و مطالعه شده است.

مطالب تهیه شده حاصل چندین سال تجربه همکاری نویسنده اول با شرکت فرآب در زمینه نیروگاه‌های آبی و تدریس این درس در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی است. با توجه به نقش مهم نیروگاه‌های آبی در تولید انرژی الکتریکی و تنظیم شبکه سراسری برق، امید است که کتاب حاضر بتواند مورد استفاده مهندسان محترم قرار گیرد. در ضمن با توجه به مثال‌ها و پرسش‌های هر فصل تلاش شده است که کتاب برای دانشجویان مهندسی مکانیک، عمران و برق نیز مفید و مؤثر واقع شود.

در انتها از راهنمایی همکاران و دانشجویان محترم و زحمات آقای مهندس امیرحسین برجی مؤخر که با نظرهای خود، در تهیه کتاب ما را یاری کردند،

سپاسگزاری و تشکر می‌نماییم. دیگر آن که، جا دارد از خانم‌ها سیده مینا طباطباییان و سپیده افشار که زحمت تایپ، صفحه آرایی، طراحی جلد و رسم شکل‌ها را بر عهده داشتند هم تشکر و قدردانی کنیم. افزون بر این، بر خود لازم می‌دانیم از زحمات تیم ویراستاری انتشارات دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی به سرپرستی جناب آقای دکتر سید حجت الحق حسینی نهایت قدردانی را داشته باشیم.

بسیار خوشحال و سپاسگزار خواهیم شد اگر با نظرها و راهنمایی‌های سازنده خود ما را در بهبود مطالب و رفع نقایص کتاب در چاپ‌های بعدی یاری نمایید.

Shahidian@kntu.ac.ir

با آرزوی ایرانی آباد و مهندسانی با ایمان و دانا

آزاده شهیدیان، استادیار دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

علی سوهانی، کارشناس ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی