

به نام آنکه جان را فکرت آموخت

تجهیزات مکانیکی در
نیروگاه‌های برق آبی

ترجمه

دکتر سیدمسعود تقوایی

مهندس یاسر برزنونی

مهندس حامد سرکرده



سرشناسه	: خوله، آرنه، Kjølle, Arne
عنوان و نام پدیدآور	: تجهیزات مکانیکی در نیروگاه‌های برق آبی / [آرنه خوله] ترجمه سیدمسعود تقوایی، یاسر برزنونی، حامد سرکرده.
مشخصات نشر	: تهران: فدک ایستاتیس، ۱۳۹۲.
مشخصات ظاهری	: ۲۴۴ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۱۰۰۰۰ ریال: ۹-۱۱۴-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی	: عنوان اصلی: Hydropower in norway mechanical equipment...
موضوع	: نیروگاه‌های آبی
موضوع	: توربین‌های آبی
شناسه افزودن	: تقوایی، مسعود، ۱۳۴۵- مترجم
شناسه افزودن	: برزنونی، یاسر، ۱۳۶۲- مترجم
شناسه افزودن	: سرکرده، حامد، ۱۳۶۳- مترجم
رده‌بندی کنگره	: ۱۳۹۲ ت ۳/خ ۹/TK1۰۸۱
رده‌بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۲۱۳۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۱۳۰۸۷۰

تجهیزات مکانیکی در نیروگاه‌های برق آبی



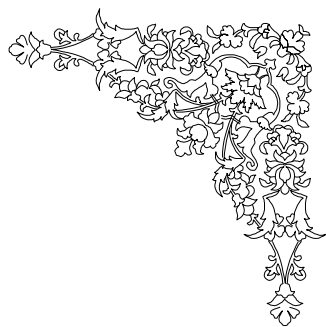
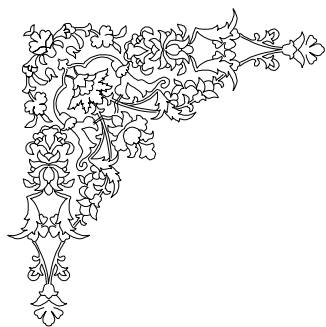
ترجمه	: سیدمسعود تقوایی - یاسر برزنونی - حامد سرکرده
مدیر تولید	: رضا کریمی شاهنده
صفحه‌آرایی	: واحد تولید انتشارات فدک ایستاتیس (مریم یوزباشی)
نوبت چاپ	: اول - ۱۳۹۲
تیراژ	: ۵۰۰
چاپ و صحافی	: گنج‌شایگان
قیمت	: ۱۰۰۰۰ ریال
شابک	: ۹-۱۱۴-۱۶۰-۶۰۰-۹۷۸

دفتر انتشارات:	تهران - خیابان انقلاب - خیابان اردیبهشت - بین‌لبافی نژاد و جمهوری - ساختمان ۱۰ تلفن: ۶۶۴۶۵۸۳۱ - ۶۶۴۸۱۰۹۶ - ۶۶۴۸۲۲۲۱
نمایندگی تهران:	خیابان انقلاب - نیش ۱۲ فروردین - پلاک ۱۳۱۲ - انتشارات صانعی تلفن: ۶۶۴۰۹۹۲۴ - ۶۶۴۰۵۳۸۵
فروشگاه یزد:	میدان آزادی (باغ ملی) - ابتدای خیابان فرخی - جنب مجتمع ستاره تلفن: ۶۲۲۷۴۷۵ - ۶۲۲۶۷۷۱ - ۶۲۲۶۷۷۲

ایمیل و وبسایت: www.fadakbook.ir - info@fadakbook.ir

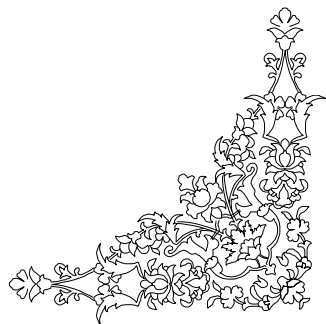
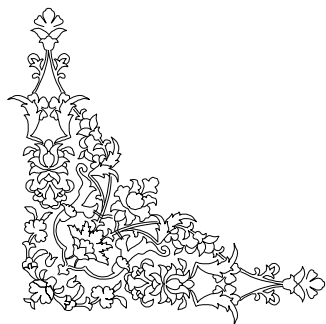
کلیه حقوق و حق چاپ متن و عنوان کتاب که به ثبت رسیده است؛ مطابق با قانون حقوق مولفان و مصنفان مصوب ۱۳۴۸ محفوظ و متعلق به انتشارات فدک ایستاتیس می‌باشد. هرگونه برداشت، تکثیر، کپی برداری به هر شکل (چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی) بدون اجازه کتبی از انتشارات فدک ایستاتیس ممنوع بوده و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار خواهند گرفت.

معاونت حقوقی
انتشارات فدک ایستاتیس



تقدیم بہ شہدای کرا تندر

وزارت نیرو



مقدمه مترجمین

انرژی برق مورد نیاز در جهان از روش‌های مختلفی استحصال می‌شود که در حال حاضر نیروگاه‌های حرارتی و آبی بیشترین سهم را در این زمینه دارا می‌باشند. به دلیل مشکلات و محدودیت‌های تولید برق در نیروگاه‌های حرارتی (با سوخت فسیلی یا هسته‌ای) و به لحاظ مسایل فنی، رعایت ضوابط و معیارهای زیست محیطی، محدودیت منابع و ...، در حال حاضر گرایش عمومی تولید برق در جهان، بیشتر متوجه احداث نیروگاه‌های برق آبی است که به عنوان یکی از مهمترین منابع تامین انرژی مورد توجه جدی قرار گرفته‌اند. برای تولید این نوع انرژی، نیاز به احداث سد بر روی رودخانه و استفاده از تجهیزات هیدرومکانیکی مناسب با پارامترهای طراحی می‌باشد. در کتاب حاضر که ترجمه‌ای از مجموعه‌ای با عنوان "Mechanical Equipment" نوشته استاد بازنشسته دانشگاه علم و صنعت نروژ، آقای Arne Kjølle می‌باشد، تلاش شده است به اصول و مبانی تجهیزات هیدرومکانیکی در نیروگاه‌های برق آبی با نگاهی مهندسی پرداخته شود.

امید است کتاب حاضر بتواند، با توجه به کمبود چنین منابعی به زبان فارسی، مورد استفاده فعالان صنعت برق آبی کشور قرار گیرد. بدیهی است کتاب حاضر با توجه به محتوی آن، خالی از لغزش و خطای علمی و چاپی نخواهد بود و انتظار می‌رود با همکاری استادان و دانش پژوهان این لغزش‌ها و کاستی‌ها مشخص و مرتفع گردد. در انتها از جناب آقای مهندس مرتضی ماروسی، کارشناس ارشد موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو و تمامی دوستانی که ما را در نگارش کتاب حاضر یاری کرده اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

سیدمسعود تقوایی - یاسر برزنونی - حامد سرکرده

پاییز ۱۳۹۱

فهرست مطالب

فصل ۱ ماشین‌های برق آبی ۱

مقدمه ۱	
نگاه اجمالی به ماشین‌های برق آبی ۳	۱.۱
قدیمی‌ترین ماشین‌های برق آبی ۳	۱.۱.۱
توربین ۵	۲.۱.۱
طرح کلی نیروگاه‌های برق آبی ۸	۲.۱

فصل ۲ تبدیل انرژی ۱۳

مقدمه ۱۳	
اصول و تعاریف اولیه ۱۳	۱.۲
تبدیل انرژی هیدرولیکی به انرژی مکانیکی ۱۶	۲.۲
ملاحظات کلی ۱۶	۱.۲.۲
توربین ضربه‌ای (پلتون) ۱۷	۲.۲.۲
توربین‌های عکس‌العملی (فرانسیس، کاپلان و حیابی) ۲۱	۳.۲.۲
معادله اساسی توربین‌ها ۲۶	۴.۲.۲
مفاهیم مختصری از طراحی هیدرولیکی توربین‌ها ۲۸	۳.۲
بازدهی ۳۱	۴.۲

فصل ۳ دسته‌بندی توربین‌ها - مشخصه‌های اصلی ۳۳

مقدمه ۳۳	
ملاحظات اساسی تشابه ۳۳	۱.۳
روابط تشابه ۳۳	۱.۱.۳
عدد سرعت ۳۵	۲.۱.۳
دسته‌بندی توربین‌ها ۳۷	۳.۱.۳
منحنی‌های عملکرد ۳۸	۴.۱.۳
خلایبی و هدمکش ۴۱	۵.۱.۳

توربین پلتون ۴۴	۲.۳
اندازه‌های هیدرولیکی اصلی ۴۴	۱.۲.۳
ابعاد جام پلتون ۴۴	۲.۲.۳
نمودار عملکرد ۴۴	۳.۲.۳
توربین‌های فرانسس ۴۶	۳.۳
ابعاد هیدرولیکی اصلی ۴۶	۱.۳.۳
نمودار عملکرد ۴۸	۲.۳.۳
خلازایی، هد مکش و نسبت عکس‌العمل ۴۹	۳.۳.۳
توربین کاپلان ۵۱	۴.۳
ابعاد هیدرولیکی اصلی ۵۱	۱.۴.۳
نمودار عملکرد ۵۲	۲.۴.۳
خلازایی، هد مکش و نسبت عکس‌العمل ۵۲	۳.۴.۳
انتخاب توربین ۵۳	۵.۳
انتخاب بین توربین‌های پلتون و فرانسس ۵۴	۱.۵.۳
انتخاب بین توربین‌های کاپلان و فرانسس ۵۸	۲.۵.۳

فصل ۴ مبانی کنترلی ۶۱

مقدمه ۶۱	
بازخورد سیستم کنترلی ۶۲	۱.۴
دستگاه‌های تنظیم گاورنر ۶۵	۲.۴
توابع نسبتی-انتگرالی-مشتقی (PID) ۶۵	۱.۲.۴
کاهش سرعت دائمی ۶۵	۲.۲.۴
نیازهای حاکم بر توربین ۶۶	۳.۴
تنظیم فرکانس و بار ۶۶	۱.۳.۴
شروع و توقف، کنترل ترتیبی ۶۷	۲.۳.۴
قطع، بار برگشتی ۶۷	۳.۳.۴
حدود بار ۶۷	۴.۳.۴
ملزومات تنظیم توان نیروگاه‌های آبی ۶۷	۴.۴
نوسانات جرم ۶۸	۱.۴.۴
افزایش فشار ضربه قوچ بر حسب زمان و سرعت بسته شدن ۷۰	۲.۴.۴
پایداری حاکم ۷۵	۵.۴
حالت‌های بهره‌برداری ۷۵	۱.۵.۴
حساب سرانگشتی ۷۷	۲.۵.۴

فصل ۵ آزمایش‌های کارایی ۷۹

مقدمه ۷۹

آزمایش‌های مدل اصلی ۸۰	۱.۵
اصولی برای آزمایش ۸۰	۱.۱.۵
اندازه‌گیری توان توربین ۸۰	۲.۱.۵
روش‌هایی برای اندازه‌گیری دبی ۸۱	۳.۱.۵
روش مولینه ۸۱	۱.۳.۱.۵
لوله پیتوت ۸۳	۲.۳.۱.۵
روش فشار-زمان یا روش گیسون ۸۴	۳.۳.۱.۵
روش ردیاب ۸۶	۴.۳.۱.۵
روش مافوق صوت ۸۸	۵.۳.۱.۵
سرریز ۹۱	۶.۳.۱.۵
وسایل استاندارد شده اختلاف فشار ۹۲	۷.۳.۱.۵
روش اندازه‌گیری حجمی ۹۳	۸.۳.۱.۵
اندازه‌گیری نسبی دبی ۹۳	۹.۳.۱.۵
اندازه‌گیری ترمودینامیکی افت‌های جریان ۹۴	۴.۱.۵
اندازه‌گیری افت‌های توان ۹۴	۱.۴.۱.۵
بازدهی و انرژی مخصوص ۹۵	۲.۴.۱.۵
روش‌های اندازه‌گیری ۹۷	۳.۴.۱.۵
تصحیحاتی برای نشتی و اصطکاک ۹۸	۴.۴.۱.۵
خواص دینامیکی توربین ۹۹	۵.۱.۵
رفتار خلازایی در نمونه اصلی ۹۹	۶.۱.۵
آزمون گاورنر-آزمون‌های برگشتی ۹۹	۷.۱.۵
آزمون‌های مدل و اثرات مقیاس بر روی بازدهی، از مدل تا نمونه اصلی ۱۰۰	۲.۵
شرایط آزمایشگاهی ۱۰۰	۱.۲.۵
آزمون‌های مدل ۱۰۱	۲.۲.۵
اثرات مقیاس بر روی بازدهی، از مدل تا نمونه واقعی ۱۰۳	۳.۲.۵

فصل ۶ توربین پلتون ۱۰۵

مقدمه ۱۰۵

ترکیب‌بندی توربین پلتون افقی ۱۰۶	۱.۶
ترکیب بندی توربین پلتون قائم ۱۰۷	۲.۶

اجزای اصلی توربین و وظایف آنها ۱۰۸	۳.۶
چرخ دوار ۱۰۹	۱.۲.۶
محور توربین ۱۱۱	۲.۲.۶
یاتاقان‌های شعاعی توربین ۱۱۱	۳.۲.۶
زانویی و توزیع‌کننده ۱۱۲	۴.۲.۶
تزریق‌کننده مستقیم جریان ۱۱۴	۵.۲.۶
مکانیزم منحرف‌کننده ۱۱۵	۶.۲.۶
محفظه توربین ۱۱۶	۷.۲.۶
کنترل شرایط ۱۱۷	۳.۶
یاتاقان‌های هادی توربین ۱۱۷	۱.۳.۶
چرخ دوار ۱۱۷	۲.۳.۶
تزریق‌کننده‌های اصلی به همراه سوزن‌های سروموتور ۱۱۷	۳.۳.۶
حلقه‌های درزبندی در یاتاقان‌های منحرف‌کننده ۱۱۸	۴.۳.۶
فیلتر ۱۱۸	۵.۳.۶
دستگاه‌های نمایش ۱۱۸	۴.۶
مونتاز و پیاده‌سازی قطعات ۱۱۹	۵.۶

فصل ۷ توربین فرانسسیس ۱۲۱

مقدمه ۱۲۱	
توربین‌های فرانسسیس افقی ۱۲۲	۱.۷
توربین‌های فرانسسیس قائم ۱۲۲	۲.۷
اجزای اصلی و وظایف آنها ۱۲۴	۳.۷
حلزونی ۱۲۵	۱.۳.۷
زنجیره پره‌های هادی ۱۲۵	۲.۳.۷
پوشش‌های توربین ۱۲۵	۳.۳.۷
چرخ دوار ۱۲۶	۴.۳.۷
محور و یاتاقان ۱۲۶	۵.۳.۷
درزبندهای محور ۱۲۸	۶.۳.۷
مکانیسم تنظیم ۱۲۹	۷.۳.۷
لوله مکش ۱۳۰	۸.۳.۷
ترکیب‌بندی زهکشی و پر کردن ۱۳۱	۴.۷
کنترل شرایط ۱۳۲	۵.۷
تجهیزات نمایش ۱۳۳	۶.۷

فصل ۸ توربین کاپلان ۱۳۵

مقدمه ۱۳۵	
۱.۸ ساختار توربین کاپلان ۱۳۶	
۱.۱.۸ ترکیب بندی ۱۳۶	
۲.۱.۸ ساختار توربین کاپلان ۱۳۶	
۲.۸ اجزاء اصلی و وظیفه آنها ۱۳۸	
۱.۲.۸ حلزونی ۱۳۸	
۲.۲.۸ زنجیره پره‌های هادی ۱۳۸	
۳.۲.۸ پوشش‌ها ۱۴۰	
۴.۲.۸ چرخ دوار ۱۴۰	
۵.۲.۸ سروموتور پره‌های چرخ دوار ۱۴۱	
۶.۲.۸ مکانیسم تنظیم پره‌های چرخ دوار ۱۴۲	
۷.۲.۸ همکاری سیستم تنظیم پره‌های هادی و پره‌های چرخ دوار ۱۴۳	
۸.۲.۸ محفظه چرخ دوار ۱۴۳	
۹.۲.۸ محور توربین ۱۴۴	
۱۰.۲.۸ یاتاقان توربین ۱۴۴	
۱۱.۲.۸ جعبه آب بند محور ۱۴۵	
۱۲.۲.۸ لوله مکش ۱۴۶	
۳.۸ سیستم‌های تخلیه و پر کردن ۱۴۷	
۴.۸ کنترل شرایط ۱۴۷	
۱.۴.۸ چرخ دوار ۱۴۷	
۲.۴.۸ محفظه چرخ دوار ۱۴۷	
۳.۴.۸ مکانیسم پره‌های هادی ۱۴۷	
۴.۴.۸ جعبه درزبند محور ۱۴۷	
۵.۸ تجهیزات نمایش ۱۴۸	
۶.۸ مونتاز و پیاده‌سازی ۱۴۸	

فصل ۹ توربین جابی ۱۴۹

مقدمه ۱۴۹	
۱.۹ ترکیب کلی ۱۵۰	
۲.۹ اجزای اصلی ۱۵۱	

مخروطی ثابت ۱۵۱	۱.۲.۹
محفظه چرخ دوار و مخروط لوله مکش ۱۵۲	۲.۲.۹
دریچه ژنراتور ۱۵۲	۳.۲.۹
پوسته ثابت ۱۵۳	۴.۲.۹
اجزای دوار ۱۵۴	۵.۲.۹
چرخ دوار ۱۵۴	۱.۵.۲.۹
محور توربین ۱۵۵	۲.۵.۲.۹
جعبه درزبند محور ۱۵۶	۶.۲.۹
یاتاقان‌های توربین ۱۵۷	۷.۲.۹
مکانیسم بازخورد و لوله‌کشی روغن ۱۵۸	۸.۲.۹
مجموعه انتقال روغن ۱۵۹	۱.۸.۲.۹
مکانیسم پره‌های هادی ۱۵۹	۹.۲.۹
کنترل شرایط ۱۶۱	۳.۹
چرخ دوار ۱۶۱	۱.۳.۹
محفظه چرخ دوار ۱۶۱	۲.۳.۹
مکانیسم پره‌های هادی ۱۶۱	۳.۳.۹
جعبه درزبند چرخ دوار ۱۶۱	۴.۳.۹
کلیاتی برای توربین‌های حیابی ۱۶۱	۵.۳.۹
تجهیزات نمایش ۱۶۲	۴.۹
موتناژ و پیاده‌سازی ۱۶۲	۵.۹

فصل ۱۰ • گاورنر ۱۶۳

ساختار سیستم گاورنر ۱۶۳	۱.۱۰
کنترل‌کننده‌های الکترومکانیکی ۱۶۴	۲.۱۰
کنترل‌کننده‌های آنالوگ ۱۶۴	۱.۲.۱۰
کنترل‌کننده‌های دیجیتال ۱۶۵	۲.۲.۱۰
سیستم‌های سروو ۱۶۵	۳.۱۰
میز گاورنر ۱۶۶	۱.۳.۱۰
سرووموتور کنترل اصلی ۱۶۸	۲.۳.۱۰
تجهیزات کنترلی خاص توربین ۱۶۹	۴.۱۰
کنترل دوطرفه توربین‌های پلتون ۱۶۹	۱.۴.۱۰
کنترل کنارگذر توربین فرانسسیس ۱۶۹	۲.۴.۱۰
عملکرد و ترکیب اصلی ۱۶۹	۱.۲.۴.۱۰
سیستم کنترل شیر ۱۷۱	۲.۲.۴.۱۰
کنترل دو طرفه توربین‌های کاپلان / حیابی ۱۷۲	۳.۴.۱۰

فصل ۱۱ شیرآلات ۱۷۳

مقدمه ۱۷۳

- ۱.۱۱ شیرهای کروی ۱۷۴
- ۱.۱.۱۱ محفظه و چرخ دوار شیر ۱۷۴
- ۲.۱.۱۱ مفصل‌های مهار چرخ دوار و یاتاقان‌ها ۱۷۴
- ۳.۱.۱۱ درزبندهای شیر بسته ۱۷۶
- ۱.۳.۱.۱۱ درزبند اصلی ۱۷۷
- ۲.۳.۱.۱۱ درزبند کمکی ۱۷۸
- ۴.۱.۱۱ مکانیسم بهره‌برداری ۱۷۸
- ۴.۱.۱۱ سیستم کنترل ۱۸۰
- ۲.۱۱ شیرهای پروانه‌ای ۱۸۰
- ۱.۲.۱۱ محفظه شیر ۱۸۱
- ۲.۲.۱۱ صفحه شیر ۱۸۱
- ۳.۲.۱۱ یاتاقان ۱۸۲
- ۴.۲.۱۱ درزبند ۱۸۳
- ۵.۲.۱۱ مکانیسم بهره‌برداری ۱۸۳
- ۳.۱۱ شیرهای کشویی ۱۸۴
- ۴.۱۱ شیرهای حلقوی ۱۸۵
- ۵.۱۱ شیرهای کنارگذر ۱۸۶
- ۶.۱۱ اصول کلی برای بازرسی شیرها ۱۸۷

فصل ۱۲ تجهیزات کمکی ۱۸۹

مقدمه ۱۸۹

- ۱.۱۲ سیستم فشار روغن ۱۸۹
- ۱.۱.۱۲ ساختار سیستم ۱۹۰
- ۲.۱.۱۲ عملکرد سیستم ۱۹۶
- ۲.۱۲ سیستم تأمین هوا ۱۹۷

فصل ۱۳ نیروهای منتقل شدن به فنداسیون ۲۰۱

مقدمه ۲۰۱

- ۱.۱۳ توربین‌های افقی ۲۰۲
- ۲.۱۳ توربین‌های قائم ۲۰۲

فصل ۱۴ ۲۰۵ دلایل خرابی

مقدمه ۲۰۵	
خلازایی ۲۰۶	۱.۱۴
خوردگی در اثر برخورد ذرات شن ۲۰۶	۲.۱۴
شکست مواد ۲۰۸	۳.۱۴
خستگی ۲۰۹	۴.۱۴

فصل ۱۵ ۲۱۳ کنترل شرایط

مقدمه ۲۱۳	
فعالیت‌های لازم برای توربین پلتون ۲۱۴	۱.۱۵
فعالیت‌های لازم برای توربین فرانسیس ۲۱۵	۲.۱۵
فعالیت‌های لازم برای توربین کاپلان و حبایی ۲۱۶	۳.۱۵

فصل ۱۶ ۲۱۹ تضمین کیفیت

مقدمه ۲۱۹	
منابع و مراجع ۲۲۱	
فهرست الفبایی ۲۲۵	