بازتوانی نیروگاه‌های بخار

همراه با مبانی ارزیابی عملکردی

نویسندگان:

محمدرضا شاه‌نظری

علی صابری

www.ketab.ir

انتشارات پژوهشگاه نیرو

۱۴۰۰

TJ ۷۳۵

شاه‌نظری، محمدرضا، ۱۳۴۵-

بازتوانی نیروگاه‌های بخار: همراه با مبانی ارزیابی عملکردی/ نویسندگان محمدرضا شاه‌نظری، علی صابری.
تهران: پژوهشگاه نیرو، ۱۴۰۰.

۴۰۰ ص.: مصور، جدول، نمودار

ISBN: ۹۷۸-۶۲۲-۹۸۰۰۱-۹-۵؛ ۹۸۰،۰۰۰ ریال

فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا
کتابنامه

۱. نیروگاه‌های حرارتی. ۲. توربین‌های بخار -- نگهداری و تعمیر. ۳. نیروگاه‌های حرارتی—ایران. ۴. Heating plants ۵. Steam-turbines -- Maintenance and repair ۶. Heating plants-- Iran

الف. صابری، علی، ۱۳۷۰-

شماره کتابشناسی ملی: ۸۵۶۱۹۰۹ رده‌بندی دیویی: ۶۲۱/۱۶۵

www.ketab.ir

انتشارات پژوهشگاه نیرو

نوبت چاپ: اول
تیراژ: ۲۰۰ نسخه

کلیه حقوق قانونی این اثر متعلق به پژوهشگاه نیرو است.

نشانی: تهران، شهرک‌غرب، انتهای بلوار شهیددادمان، پژوهشگاه نیرو، کدپستی: ۱۴۶۸۶۱۳۱۱۳
تلفن: ۹-۸۸۰۷۹۴۰۱
نمابر: ۸۸۰۷۸۲۹۶
وبگاه: *www.nri.ac.ir*
پست الکترونیک انتشارات: *publications@nri.ac.ir*

پیشگفتار

اگرچه تغییرات آب‌وهوایی و چالش‌های محیط‌زیستی، امروزه در جهان رویکرد جدیدی از استفاده از منابع انرژی را طلب می‌کنند و زمینه اقبال بیشتر از انرژی‌های نوین را گسترده ساخته است؛ ولی نگاهی اجمالی به ساختار فعلی و افق پیش روی نشان می‌دهد که حداقل در آینده نزدیک سهم مهمی از تولید قدرت همچنان به نیروگاه‌های حرارتی اختصاص خواهد داشت؛ ازاین‌رو پایش وضعیت، بهسازی و بازسازی این نیروگاه‌ها یکی از مسائل اساسی صنعت برق خواهد بود.

وجود نیروگاه‌های متعدد قدیمی در کشور و مسائل مبتلابه آن‌ها، نیازمند ارائه یک رویه مقتضی بر اساس یک مدل مناسب فنی اقتصادی جهت تحلیل تجهیزات و سیستم‌ها به‌صورت مستقل و یکپارچه است. تغییرات شرایط واحد و فاصله‌گرفتن تجهیزات و سیستم‌ها از شرایط طراحی، تعمیرات جزئی و اساسی صورت‌گرفته بر آن‌ها سبب تغییرات کلی وضعیت واحد نسبت به واحدهای نو گردیده است. دسترسی واحد به بهینه ظرفیت، نیازمند اصلاح، بهبود، ارتقا یا تعمیرات اساسی در تجهیزات یا سیستم‌ها است. از سوی دیگر اتخاذ تصمیم مناسب جهت انتخاب هریک از روش‌های نوسازی و ارتقای واحد جهت استمرار کارکرد یا حتی تصمیم به نداشتن استمرار کارکرد واحد علاوه بر بررسی فنی اقتصادی، نیازمند بررسی عمر ماندهٔ تجهیزات، قطعات و سیستم‌های اصلی نیروگاه است. ایجاد یک ساختار کلی مدل فنی و اقتصادی مبتنی بر تخمین عمر ماندهٔ قطعات اصلی، آزمون‌های کارایی و آزمون پایش می‌تواند در اتخاذ تصمیم مناسب مبنی بر چگونگی روش بهبود وضعیت کارکرد واحد جهت استمرار یا اصولاً نداشتن استمرار واحد سهولت ایجاد نماید. استفاده از این ساختار کلی در تلفیق طرح پایش تصادفی[1] ابزار مناسبی جهت اخذ تصمیم در خصوص وضعیت نیروگاه برای مجموعه مدیریت کلان تلقی می‌گردد.

نیروگاه‌های قدیمی به‌دلیل انحراف از وضعیت طراحی و کاهش کارایی و راندمان آن‌ها، جدا از کاهش ظرفیت کلی توان تولید برق کشور، سبب انحراف از وضعیت راندمان ایدئال و تولید قدرت نسبت به مصرف سوخت می‌گردد. تعیین یک رویه جهت تعیین وضعیت سیستم، زیرسیستم‌ها، فرایندها و تجهیزات و انحراف آن‌ها از وضعیت ایدئال طراحی و همچنین یافتن شرایط بهینه عملکرد برای آن‌ها که وابسته به تحلیل اقتصادی نیز خواهد

---

[1] Random Site Surveillance

www.ketab.ir

بود، علاوه بر اینکه سبب نزدیک‌شدن شرایط به شرایط مطلوب می‌گردد، ابزار لازم جهت امکان اخذ تصمیمات لازم جهت مدیریت بهبود و ارتقای واحد را در بر خواهد داشت. اجرای این طرح سبب افزایش کارایی واحد، بهبود مصرف سوخت و از سوی دیگر افزایش عمر کلی نیروگاه خواهد شد. جهت اخذ تصمیم به‌لحاظ استمرار یا نداشتن استمرار کارکرد واحد اصولاً مبتنی بر تعیین رویه فوق‌الذکر و تهیه یک مدل مناسب جهت برآورد شرایط کلی واحد، زیرسیستم‌ها و تجهیزات است. تصمیم‌گیری جهت ارتقا و نوسازی واحد بر مبنای شرایط واحد صورت می‌گیرد. مهم‌ترین نکته در برآورد شرایط واحد بحث تخمین عمر واحد و تلاش در افزایش عمر آن است. از سوی دیگر شرایط واحد به‌لحاظ کارایی و شرایط عملکردی و همچنین قابلیت دسترسی و قابلیت اعتماد، نقش تعیین‌کننده‌ای در نحوهٔ ارتقا و نوسازی واحد دارد. همچنین میزان مصرف سوخت و ملاحظات زیست‌محیطی از دیگر مسائل مهمی هستند که بایستی مدنظر قرار گیرند. بهسازی و نوسازی واحدهای نیروگاهی قدیمی یک روش مناسب جایگزین جهت بهبود در توسعهٔ توان تولیدی در مجموعه برنامه تولید حرارتی است.

بازتوانی نیروگاه‌های بخاری که بر پایهٔ افزودن توربین‌های گاز به سیکل بخار نیروگاه موجود طراحی و انجام می‌شود، یکی از روش‌های مؤثر به‌کاررفته در بسیاری از کشورهای توسعه‌یافته جهت بهبود شرایط و افزایش توان و صرفه‌جویی در هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی و اداری است. استفاده از این روش به‌عنوان یک گزینه مناسب جهت افزایش کارایی و بهبود وضعیت نیروگاه‌های موجود، نیازمند تبیین اصول، محدودیت‌ها و فرصت‌های آن است.

این کتاب که حاصل سال‌ها تجربه، دانش‌اندوزی و انجام پروژه‌های متعدد پژوهشی مؤلفان در این حوزه است، با هدف تبیین و ارائه برخی از مطالب لازم در بازتوانی نیروگاه‌ها تحریر شده است. محتوای اصلی کتاب را سه محور اصلی معرفی اجمالی تجهیزات اصلی نیروگاه‌های حرارتی، روش‌های برآورد کارایی این تجهیزات و در نهایت مبانی روش بازتوانی تشکیل می‌دهند.

فصل اول مقدمه‌ای در خصوص تبیین اهداف کتاب و نتیجه‌گیری در خصوص اصلاح، استمرار یا نداشتن استمرار واحد را تبیین می‌کند، همچنین معرفی تجهیزات اصلی نیروگاه‌های حرارتی در سیکل بخار، گازی و سیکل ترکیبی به‌ترتیب در فصول دو تا شش ارائه می‌شود. با توجه به نقش تعیین‌کننده ارزیابی عملکرد واحد، بخش دوم کتاب به

www.ketab.ir

روش‌های استاندارد تعیین عملکرد تجهیزات اصلی واحدهای حرارتی می‌پردازد. در این بخش به روش‌های تعیین عملکرد بویلر، راندمان توربین و نمونه محاسبات تعیین راندمان برای واحدها به‌صورت کامل پرداخته می‌شود.

در نهایت در بخش سوم کتاب، ضمن ارائه مبانی بازتوانی، نحوه ارزیابی، گزینه‌های بازتوانی و چگونگی بررسی فنی و اقتصادی آن‌ها بحث شده است. همچنین تاریخچه بازتوانی شامل نمونه‌هایی از انواع روش‌های انجام‌شده بازتوانی در فصل یازدهم بررسی شده است. معرفی و مقایسه روش‌های مختلف بازتوانی شامل بازتوانی کامل و ناقص، موضوع فصل بعدی کتاب است. در این فصل علاوه بر بررسی مشخصه‌های هریک از روش‌ها، چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی، هرکدام بررسی می‌شود. فصل سیزدهم شامل روش‌های محاسبات و برآورد فنی و اقتصادی بر هریک از روش‌ها است و در نهایت روش بررسی اقتصادی هرکدام در مقایسه با یکدیگر در فصل چهاردهم بررسی شده‌اند.

هرگونه نقد و ارائه مشکلات و ایرادهای احتمالی کتاب از سوی پژوهشگران، اساتید، دانشجویان و صاحب‌نظران مایه خوشنودی مؤلفان خواهد بود

دکتر محمدرضا شاه‌نظری
دانشیار دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی

www.ketab.ir

فهرست

۱- مقدمه ۱

۱-۱ بررسی وضعیت واحدها در بهسازی و نوسازی نیروگاه‌های قدیمی ۱

۱-۲ روش‌های تصمیم‌گیری ۹

۱-۲-۱ اصول فرایند تحلیل سلسه‌مراتبی ۱۰

۱-۲-۲ مدل فرایند تحلیل سلسه‌مراتبی ۱۰

۲- توربین‌های بخار ۱۵

۲-۱ مقدمه ۱۵

۲-۲ موارد کاربرد ۱۵

۲-۳ شرح فناوری توربین بخار ۱۶

۲-۳-۱ فرایند و اجزای اصلی ۱۶

۲-۳-۲ انواع توربین‌های بخار ۱۷

۲-۴ مشخصات عملکردی ۲۰

۲-۴-۱ بازده توربین بخار ۲۰

۲-۴-۲ هزینه سرمایه‌گذاری ۲۰

۲-۴-۳ نگهداری ۲۱

۲-۴-۴ سوخت‌ها ۲۲

۲-۴-۵ قابلیت دسترسی ۲۲

۲-۴-۶ بهبود کارایی و بازدهی ۲۲

۳- بویلر ۲۵

۳-۱ کلیات ۲۵

۳-۲ طبقه‌بندی بویلرها ۲۵

۳-۲-۱ طبقه‌بندی از نظر فشار سیکل آب و بخار ۲۵

www.ketab.ir

۳-۲-۲ طبقه‌بندی از نظر محتوای لوله‌ها ۲۶
۳-۲-۳ طبقه‌بندی از نظر نوع چرخه سیال عامل ۲۷
۳-۳ آشنایی با بویلرهای لوله‌آبی ۲۷
۳-۳-۱ کوره (اتاق احتراق) ۲۷
۳-۳-۲ مشعل‌ها ۲۹
۳-۳-۳ فوق‌گرم‌کننده‌ها ۳۰
۳-۳-۴ بازگرمکن‌ها ۳۱
۳-۳-۵ اکونومایزر ۳۱
۳-۳-۶ پیش‌گرمکن هوا ۳۲
۳-۳-۷ دی‌سوپرهیترها ۳۳
۳-۳-۸ دودکش ۳۴
۳-۳-۹ درام (استوانه بخار) ۳۵
۳-۴ عوامل مؤثر بر راندمان بویلر لوله‌آبی ۳۶
۳-۴-۱ تلفات حرارتی ۳۶
۳-۴-۲ احتراق ناقص ۳۷
۳-۵ پارامترهای مؤثر بر راندمان بویلر لوله‌آبی ۳۷
۳-۵-۱ تأثیر هوای احتراق بر راندمان ۳۸
۳-۵-۲ اثر دمای آب ورودی بر راندمان ۳۸
۳-۵-۳ اثر جرم‌گرفتگی بر سطوح دیگ بخار ۳۹
۳-۵-۴ اثر ترکیبات سوخت بر راندمان ۳۹
۳-۶ احتراق و تعریف آن ۴۰
۳-۶-۱ حداقل هوای لازم برای احتراق ۴۱
۳-۶-۲ هوای اضافی ۴۲
۳-۶-۳ علل نیاز به هوای اضافی ۴۲
۳-۶-۴ محاسبه هوای حقیقی مصرفی در کوره ۴۵

www.ketab.ir