دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی نظری و عملی بازتوانی نیروگاههای بخار قدیمی

نگارش

عبدالله مهرپناهی

استاد راهنما:دکتر سید مصطفی حسینعلی پور

استاد مشاور:دکتر کامران مبینی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

دررشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

این پایان نامه تحت حمایتهای شرکت مدیریت پروژه های نیروگاهی ایران(مپنا) انجام پذیرفت

مهرماه ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب عبدالله مهرپناهی متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آنها استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و ماخذ ذکر گردیده است. این پایان نامه /رساله قبلا برای احراز هیچ مدرک هم سطح و یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف در هر زمان مدرک صادر شده از طرف دانشگاه از درجه اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی ومعنوی اثر متعلق به دانشگاه شهید رجایی می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو

عبدالله مهرپناهی

امضاء

تهران– لویزان– کدپستی ۱۶۷۸۸– صندوق پستی ۱۶۳– ۱۶۷۸۵ تلفن ۹–۲۲۹۷۰۰۶۰ (داخلی۲۳۴۷) نمابر ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونیکی
sru@sru.ac.ir

دانشکده مهندسی مکانیک

بررسی نظری و عملی بازتوانی نیروگاههای بخار قدیمی

نگارش

عبدالله مهرپناهی

استاد راهنما:دکتر سید مصطفی حسینعلی پور

استاد مشاور:دکتر کامران مبینی

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

دررشته مهندسی مکانیک (تبدیل انرژی)

این پایان نامه تحت حمایتهای شرکت مدیریت پروژه های نیروگاهی ایران(مپنا) انجام پذیرفت

مهرماه ۱۳۸۹

شماره :
تاریخ :
پیوست :

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

صورتجلسهٔ دفاع پایان‌نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) جلسه دفاع از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد آقای **عبداله مهرپناهی** رشتهٔ **مهندسی‌مکانیک–تبدیل‌انرژی** تحت عنوان **بررسی نظری و عملی بازتوانی نیروگاه‌های بخار قدیم**، که در تاریخ **۸۹/۷/۲۹** با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی برگزار گردید و نتیجه به شرح زیر اعلام گردید.

☑ قبول (با درجه عالی امتیاز ۱۹,۸۱) ☐ دفاع مجدد ☐ مردود.

۱ ـ عالی (۲۰ – ۱۸)

۲ ـ بسیار خوب (۱۷/۹۹ – ۱۶)

۳ ـ خوب (۱۵/۹۹ – ۱۴)

۴ ـ قابل قبول (۱۳/۹۹ – ۱۲)

اعضاء	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
استاد راهنما	دکتر سیدمصطفی حسینعلی‌پور	دانشیار	
استاد مشاور	دکتر کامران میبنی	استادیار	
استاد داور داخلی	دکتر کریم مقصودی مهربانی	استادیار	
استاد داور خارجی	دکتر فتح اله امی	استادیار	
نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر غلامحسن پایگانه	استادیار	

دکتر غلامحسن پایگانه
رئیس دانشکده مهندسی مکانیک

تهران ـ ویزان ـ کدپستی: ۱۵۸۱۱ – ۱۶۷۸۸
صندوق پستی: ۱۶۳ – ۱۶۷۸۵
تلفن: ۹– ۲۲۹۷۰۰۶۰ فکس: ۲۲۹۷۰۰۲۲
Email:sru@sru.ac.ir
www.srttu.edu

تقدیم به:

جاودانه‌ترین آهنگ جاری در تارو پودهای وجودم، روح بلند و زلال مادرم
وجود ساده و پرصداقت پدرم
و همسر مهربانم که بی‌ادعا برای تمام روزهای سختی یاورم بوده است

تشکر و قدردانی:

وظیفه خود می دانم سپاسگزار تمام آنهایی باشم که در این دوره ارزشمند بودنشان و امیدشان راهگشای من بود؛ همسر عزیزم که همچون همیشه با مهربانی در کنارم بود و لحظات مشترکمان را صبورانه برای این وظیفه صرف نمود.

اساتید عزیز و گرانقدر, بخصوص جناب آقای دکتر حسینعلی پور که با تلاش‌های بی‌شائبه خود نه‌تنها در انجام این پایان‌نامه بلکه در تمام دوره تحصیلم مرا یاری نمودند و به هنگام نیاز برای حل مشکلات اینجانب از هیچ کمکی دریغ نورزیدند. برای ایشان آرزوی سلامتی، موفقیت و سر بلندی را دارم.

همچنین از استاد گرانقدر جناب آقای دکتر کامران مبینی که در طول مدت تحصیل با اینجانب همکاری لازم را نمودند تشکر می‌کنم استادی که الگوی من در صبور بودن بوده‌اند.

همچنین تشکر و قدردانی می‌نمایم از جناب آقای دکتر کامبیز رضاپور و جناب آقای دکتر کاظم معروفی که در طول انجام مراحل پایان نامه با راهنمای های بی‌دریغشان راهگشای مشکلات انجام آن بودند.

چکیده

بازتوانی به عنوان روشی تجربه شده و تعمیم‌پذیر می‌تواند راهکار موثری برای احیاء شبکه نیروگاههای بخار کشور محسوب شود. در حال حاضر افزایش قابل توجه نیاز به انرژی الکتریکی در کشور و کمبود محسوس توان مورد نیاز، حرکت گردانندگان این بخش از بدنه تولید انرژی کشور در پاسخگویی به آنرا در پی داشته است. . یکی از مشکلاتی که در حال حاضر در شبکه تولید برق کشور احساس می‌شود مسائل مربوط به نیروگاههای بخار است. بسیاری ازاین نیروگاهها به پایان عمر مفید خود رسیده اند و یا در حال رسیدن به آن هستند بعلاوه تعداد قابل توجهی از نیروگاههای بخار با وجود عمر نه چندان زیاد، دارای راندمان قابل قبولی نمی‌باشند. در این میان می‌توان بعنوان راهکاری قابل قبول از تجارب تعمیم پذیر سایر کشورها در انجام روشهای گوناگون بازتوانی نیروگاههای بخار استفاده کرد. در این پایان نامه بعد از معرفی روشهای بازتوانی و نیز خصوصیات نیروگاههای بخار کشور به بررسی اثر انجام روشهای بازتوانی بر آنها پرداخته شده است تا تخمینی از اعمال این روشها بر نیروگاههای ایران حاصل شود. بعلاوه با توجه به تعدد نیروگاههای بخار قدیمی در ایران به بررسی انجام بازتوانی کامل بریکی از نیروگاههای بخار قدیمی (نیروگاه بعثت) توسط مدلسازی و بهینه سازی دو هدفه سیکل نهایی توسط توابع هزینه برق تولیدی و نیز راندمان اگزرژی پرداخته شده است.

واژه‌های کلیدی: بازتوانی، نیروگاه بخار، توربین گاز، بویلر بازیاب حرارت، جعبه هوای داغ

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

فصل ۲: بررسی کلی وضعیت نیروگاههای کشور ۵

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- وضعیت کنونی راندمان نیروگاههای کشور ۶

۲-۳- اقدامات در دست انجام در بخش نیروگاههای کشور ۸

۲-۴- نگاهی به مصرف سوخت در نیروگاههای کشور ۱۰

۲-۵- آماری از وضعیت نیروگاههای بخارکشور ۱۰

۲-۶- هدفمند سازی یارانه ها و وضعیت نیروگاههای بخار موجود در بازار آزاد انرژی..... ۱۱

۲-۷- حد بهره‌وری نیروگاههای بخار ۱۳

۲-۸- نگاهی به بازتوانی نیروگاههای گازی ۱۵

۲-۹-جمع بندی و نتیجه گیری ۱۷

فصل ۳: مبانی نظری انجام بازتوانی ۱۸

۳-۱- مقدمه ۱۹

۳-۲- بحث نظری آمیختن دو سیکل تحتانی و فوقانی ۱۹

۳-۲-۱- سیکل رانکین-رانکین ۲۳

۳-۲-۲- سیکل ژول – رانکین ۲۴

۳-۲-۲-۱ حالت متداول و مرسوم ۲۴

۳-۲-۲-۱ . بازتوانی ۲۵

۳-۲-۲-۱ توربین گاز احتراقی خارجی ۲۶

۳-۳- دسته بندی انواع روشهای بازتوانی ۲۷

۳-۴- نتیجه‌گیری ۲۸

فصل ۴: معرفی انواع روشهای بازتوانی ۲۹

۴-۱- مقدمه ۳۰

۴-۲- بازتوانی به روش جعبه هوای داغ ۳۰

۴-۲-۱- مقایسه بین دوطرح برای استفاده از هوای تازه در روش جعبه هوای داغ ۳۶

۴-۲-۲- بررسی نتایج حاصل از انجام روش جعبه هوای داغ در کشور هلند ۴۱

۴-۲-۴- استفاده از توربینهای گاز از داخل سرد شونده ۴۴

۴-۲-۵- استفاده از توربینهای گاز اکسیداسیون جزیی ۴۷

۴-۲- بازتوانی به روش گرمایش آب تغذیه ۵۲

۴-۲-۱- تجهیزات جدید مورد نیاز ۵۶

۴-۲-۲-۱ گرمکنهای آب تغذیه بهینه شده ۵۶
۴-۲-۲-۲ تدابیرمورد نیاز درنقل وانتقالات و تامین آب سیستم ۵۶
۴-۲-۲-۳ مجموعه توربین گاز ۵۶
۴-۲-۲-۴ وسائل با استفاده مجدد ۵۷
۴-۳- تبدیل به واحد سیکل ترکیبی ۵۸
۴-۳-۱- ملاحظات مربوط به تجهیزات ۵۹
۴-۳-۲- تجهیزات جدیدمورد استفاده ۵۹
۴-۳-۲-۱ بویلر بازیاب حرارت ۶۱
۴-۳-۲-۲ باز گرمکن ۶۲
۴-۳-۲-۳ سطوح فشار بویلر بازیاب حرارت ۶۳
۴-۳-۲-۴ صرفه جوی دما پایین ۶۳
۴-۲-۲-۵ تجهیزات با استفاده مجدد ۶۴
۴-۳-۳- عملکرد ۶۴
۴-۳-۴- انواع سیکلهای ترکیبی ۶۵
۴-۳-۵- طراحی سیکلهای بازتوانی ۶۷
۴-۴- بازتوانی به روش بویلر کمکی ۷۲
۴-۴-۱- تجهیزات جدید مورد استفاده ۷۴
۴-۴-۱-۱ بویلر بازیاب کمکی ۷۴
۴-۴-۱-۲ خنک‌کن گازهای خروجی ۷۴
۴-۴-۱-۳ گرمکن بخاری هوا ۷۵
۴-۴-۲- عملکرد واحد در روش بویلر کمکی ۷۵
۴-۵- نتیجه‌گیری ۷۸

فصل ۵: تخمینی از اثر روشهای بازتوانی بر نیروگاههای کشور ۷۹

۵-۱- مقدمه ۸۰
۵-۱- تعیین هزینه برق تولیدی روشهای بازتوانی ۸۰
۵-۲- هزینه خرید تجهیزات ۸۱
۵-۳- برآورد کلی هزینه های سرمایه گذاری اولیه نیروگاه ۸۵
۵-۴- انتخاب روش مناسب بازتوانی نیروگاههای کشور ۹۲
۵-۵- اثر انجام روشهای بازتوانی بر نیروگاههای بخار کشور ۹۴
۵-۶- نتایج ۱۰۰

فصل ۶: بررسی انجام بازتوانی کامل بر ارتقاء خصوصیات یک نیروگاه بخار ۱۰۷

۶-۱- مقدمه ۱۰۸
۶-۲- معرفی کلی نیروگاه بعثت ۱۰۹
۶-۳- چگونگی انجام عملیات بازتوانی ۱۱۰
۶-۴- مدلسازی سیکل ۱۱۲

۶-۴-۱- توربین بخار ۱۱۲
۶-۴-۲- بویلر بازیاب حرارت ۱۱۳
۶-۴-۳- توربین گاز ۱۱۵
۶-۴-۴- داکت برنر ۱۱۹
۶-۵- توابع هدف ۱۱۹
۶-۵-۱- تابع راندمان اگزرژی سیکل ۱۲۰
۶-۵-۲- تابع نرخ واحد الکتریسیته تولیدی ۱۲۱
۶-۶- دسته بندی حالتهای بهینه سازی ۱۲۴
۶-۶-۱- بهینه سازی تک هدفه توابع هدف ۱۲۵
۶-۶-۲- بهینه سازی دو هدفه توابع هدف ۱۲۶
۶-۷- نتیجه‌گیری ۱۳۳

فصل ۷: جمع‌بندی و پیشنهادها **۱۳۷**

مراجع **۱۴۰**

فهرست اشکال

شکل (۳-۱). آمیختن دو سیکل تحتانی و فوقانی ۲۰
شکل (۳-۲). طریقه همپوشانی دمایی سیکل رانکین و برایتون ۲۱
شکل (۳-۳). بازه های دمایی انواع سیکلهای موجود ۲۲
شکل(۳-۴). سیکل رانکین-رانکین ۲۳
شکل(۳-۵). سیکل ژول – رانکین ۲۴
شکل(۳-۶). سیکل ژول با یک احتراق خارجی به شکل ترکیب شده با سیکل رانکین ۲۶
شکل(۴-۱). دیاگرام روش جعبه هوای داغ ۳۳
شکل(۴-۲). سیکل بخار بازتوانی شده با روش جعبه هوای داغ ۳۴
شکل(۴-۳). روش جعبه هوای گرم ۳۷
شکل(۴-۴). طرح A : اختلاط مستقیم هوای تازه با گازهای خروجی ۴۰
شکل(۴-۵). طرح B: استفاده از پیشگرمکنها وفنهای موجود ۴۰
شکل (۴-۶). شکل سیکل بازتوانی با توربین گاز سرد شونده ۴۷
شکل(۴-۷). بازتوانی با توربین گاز اکسیداسیون جزیی ۴۷
شکل(۴-۸). یک توربین گاز اکسیداسیون جزیی ۴۹
شکل (۴-۹). نمایی از سیکل بازتوانی به روش گرمایش آب تغذیه ۵۵
شکل(۴-۱۰). بازتوانی به روش سیکل ترکیبی ۶۰
شکل(۴-۱۱). سیکل ترکیبی دوفشاره ۶۵
شکل (۴-۱۲). سیکل ترکیبی تک فشاره ۶۵
شکل (۴-۱۳). سیکل ترکیبی سه فشاره بازگرمایشی ۶۶
شکل (۴-۱۴). سیکل ترکیبی دوفشاره با گرمایش آب تغذیه ..... ۶۶.
شکل(۴-۱۵). همه گرمکنهای آب تغذیه در حال سرویس دهی ۶۸
شکل (۴-۱۶). سیکل بازتوانی بدون سرویس دهی گرمکنهای آب تغذیه ۶۸
شکل (۴-۱۷). گرمکنهای آب تغذیه فشار پایین در حال سرویس دهی ۶۸
شکل(۴-۱۸). انواع گزاره های قابل قبول در الحاق اجزای سیستم بازتوانی ۷۱
شکل(۴-۱۹). نمایی از سیکل بازتوانی به روش بویلر کمکی ۷۶
شکل (۶-۱). مدلسازی سیکل اولیه نیروگاه بعثت ۱۱۰
شکل (۶- ۲). بویلر بازیاب دو فشاره با پیش گرمکن ۱۱۳
شکل (۶- ۳). سیکل توربین گاز ساده ۱۱۵
شکل (۶- ۳). مدلسازی محفظه احتراق سیکل توربین گاز ۱۱۷

فهرست جداول

جدول(۲-۱). مقایسه نیروگاههای حرارتی کشور در سال های ۸۴و۸۵ ..... ۷
جدول (۲-۲).تغیرات راندمان نیروگاههای حرارتی طی سالهای ۸۰ تا ۸۵ ..... ۸
جدول(۲-۳). سهم انواع نیروگاهها در واحدهای در دست اقدام تا سال ۱۳۹۲ ..... ۹
جدول(۲-۴). سهم انواع نیروگاههای احداث شده در فاصله سالهای۱۳۸۵-۱۳۵۰ ..... ۹
جدول (۲-۵). انواع سوخت مصرفی نیروگاهها و مقایسه آنها با سایر مصارف این سوختها ۱۱
جدول(۲-۶). لیست نیروگاههای بخارکشور و راندمان آنها ۱۷
جدول(۳-۱). انواع ترکیبهای ممکن سیکلهای فوقانی و تحتانی ۲۲
جدول(۳-۲). مقادیر ممکن برای سیکلهای شکل (۷-۳) ۲۲
جدول(۳-۳). هزینه های سرمایه گذاری اولیه در هر کدام از سیکلهای ترکیبی ۲۵
جدول(۴-۱). برخی خصوصیات روش FWHR , HWBR ۳۱
جدول(۴-۲). اطلاعات روش بازتوانی با توربینهای اکیداسیون جزیی ۵۱
جدول (۵-۱). پارامترهای مختلف سرمایه گذاری ۸۲
جدول(۵-۲). اولویت بندی پارامترهای موثر در انتخاب یک روش ۹۲
جدول (۵-۳). مجموع پتانسیل توان موجود برای انجام بازتوانی ۹۳
جدول(۵-۵). مشخصات و پارامترهای فنی و اقتصادی کلی در روشهای مورد بحث ۹۶
جدول(۵-۶).مشخصات مورد نیاز تعدادی از واحدهای بخار کشور ۹۷
جدول (۵-۷). نتایج حاصل از تاثیر هر کدام از روشها بر نیروگاهها ۹۹
جدول (۵-۸). نتایج کلی انجام روشهای بازتوانی و احداث سایر واحدهای حرارتی ۱۰۲
جدول (۵-۹). هزینه های کلی به ازای هر کیلو وات برق تولیدی ۱۰۴
جدول (۵-۱۰). نسبت هزینه(هرKwh) برق تولیدی نیروگاه گازی به سایر روشها ۱۰۵
جدول(۶-۱). مقادیر متغیرهای مستقل و وابسته در حالتهای مختلف بهینه شده ۱۳۵
جدول(۶-۲) توابع ناشی از کورولایشتن داده ها ۱۳۶

فهرست نمودارها

نمودار(۲-۱). راندمان انواع نیروگاهها ۷
نمودار (۲-۲). روند مصرفی سوخت در نیروگاههای کشور ۱۱
نمودار(۲-۳). اثر بهای سوخت بر هزینه عملکردی نیروگاههای بخار قابل واگذاری ۱۳
نمودار(۲-۴). تعیین حد بهره وری یک نیروگاه بخار با توجه به تغییرات قیمت سوخت ۱۴
نمودار(۲-۵). راندمان سیکل ترکیبی بر اساس توان بخش بخار ۱۵
نمودار(۲-۶). راندمان سیکل ترکیبی بر حسب راندمان سیکل گازی ۱۶
نمودار(۲-۷). راندمان نیروگاههای بخار ۱۷
نمودار (۴-۱). عملکرد واحد در هنگام بار جزیی ۳۵
نمودار(۴-۲).ارتقاء راندمان واحدهای بازتو انی شده در بار ماکزیمم ۴۱
نمودار(۴-۳).ارتقاء راندمان یکی ازواحدهای بازتوانی شده(Eems 20) ۴۲
نمودار(۴-۴). نتایج بازتوانی بر آلودگی ناشی از NO_X ۴۳
نمودار(۴-۵). هزینه سرمایه گذاری اولیه در روش HWBR ۴۴
نمودار(۴-۶). مقایسه اثر توربینهای گاز سرد شونده و متداول بر توان تولیدی ۴۶
نمودار(۹-۴). مقایسه اثر توربینهای گاز سرد شونده و متداول بر راندمان واحدها ۴۶
نمودار(۴-۱۰). دمای احتراق آدیاباتیک گاز برحسب نسبت هوا به گاز ۴۸
نمودار (۴-۱۱). هزینه های بازتوانی در روش گرمایش آب تغذیه ۵۴
نمودار (۵-۱). میزان تغییرات ضریب سویفت مارشال تا سال ۲۰۱۰ ..... ۸۵
نمودار (۵-۲). توربینهای گاز مناسب با توجه به توان سیکل توربین بخار ۹۶
نمودار(۵-۳). مقدار راندمان افزایش یافته نسبت به ظرفیت واحدها در روش HRBR ۱۰۳
نمودار(۵-۴). مقدار راندمان افزایش یافته نسبت به ظرفیت واحدها در روش HWBR ۱۰۳
نمودار(۵-۵). مقدار راندمان افزایش یافته نسبت به ظرفیت واحدها در روش FWHR ۱۰۳
نمودار(۵-۶). هزینه تولید برق در نیروگاه گازی نسبت به سایر روشها ۱۰۵
نمودار(۵-۷). مدت زمان تقریبی برگشت سرمایه ۱۰۶
نمودار(۶- ۱). مدلسازی بویلر بازیاب دو فشاره با پیش گرمکن ۱۱۴
نمودار(۶-۲). اثر افزایش نسبت فشار کمپرسور بر راندمان اگزرژی ۱۲۳
نمودار(۶-۳). اثر افزایش راندمان کمپرسور بر هزینه برق تولیدی ۱۲۴
نمودار(۶-۴). بررسی اثر تغییرات دبی بخارات ورودی به بخش فشار متوسط بر توابع هدف ۱۲۴
نمودار (۶-۵). نقطه بهینه فنی –اقتصادی در حالت بدون احتراق اضافی ۱۲۷
نمودار (۶-۶). نقطه بهینه فنی –اقتصادی در حالت با احتراق اضافی ۱۲۷
نمودار (۶-۷). اثر راندمان ایزنتروپیک توربین و کمپرسور بر تابع اگزرژی ۱۲۸
نمودار (۶-۹).اثر راندمان ایزنتروپیک توربین و نسبت فشار کمپرسور بر ۱۲۹

نمودار (۶-۱۰).اثر راندمان ایزنتروپیک توربین و نسبت فشار کمپرسور بر ۱۲۹
نمودار (۶-۱۲). اثر مقدار بخارات تزریقی به خط اصلی بر توابع هدف ۱۳۰
نمودار (۶-۱۳). اثر مقدار بخارات تزریقی به خط اصلی بر توابع هدف در حالت ۱۳۱
نمودار (۶-۱۴). تغییرات اختلاف نقاط پینچ و اپروچ در نقاط بهینه راندمان اگزرژی ۱۳۱
نمودار (۶-۱۵). تغییرات اختلاف نقاط پینچ و اپروچ در هزینه برق تولیدی بهینه ۱۳۲
نمودار (۶-۱۶). اثر میزان دبی سوخت تزریقی به داکت برنر بر توابع هدف ۱۳۲
نمودار (۶-۱۷). اثردمای محیطی بر راندمان اگزرژی و هزینه برق تولیدی ۱۳۲
شکل(۶-۱۸). اثر دمای محیطی بر توابع هدف در یکی از حالتهای سیکل ۱۳۳

فهرست علایم

علایم و اختصارات

اختلاف دما(°C)	ΔT
راندمان ایزنتروپیک توربین(%)	η_{gt}
دبی جرمی (Kg/s)	$\dot{m}$
راندمان ایزنتروپیک کمپرسور(%)	η_{AC}
نسبت فشار کمپرسور	r_{PC}
آنتالپی (Kj)	h
توان (MW)	$\dot{W}$
تلفات حرارتی(%)	hl
فشار (bar)	P
نسبت فشار توربین گاز	r_{PT}
نسبت فشار محفظه احتراق	r_{PB}
نسبت گرمای ویژه	γ
نسبت هوا به سوخت(%)	AF
گرمای ویژه در فشار ثابت(kj/kg°C)	C_p
اگزرژی مخصوص(kj/kg°k)	e
نرخ حرارتی(MW)	$\dot{Q}$
نرخ حرارتی سیکل (kj/kwh)	HR
ارزش حرارتی پایین سوخت (kj/kg)	LHV
هزینه ($, $/kwh)	Z
اختلاف دمای لگاریتمی(°C)	ΔT_{lm}
نرخ بهره سالیانه(%)	i
نرخ تورم(%)	r_n
فاکتور تعمیر و نگهداری	φ
فاکتور برگشت سرمایه(%)	CRF
عملکرد سالیانه نیروگاه(ساعت)	H
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه ($)	TCI

فاکتور تعمیر و نگهداری	φ
هزینه(کیلووات بر ساعت)	Z
فاکتور برگشت سرمایه(%)	CRF
عملکرد سالیانه نیروگاه(ساعت)	H
هزینه سرمایه‌گذاری اولیه(€)	TCI
توان واحد(MW)	$\dot{W}$
دبی جرمی(Kg/s)	$\dot{m}$
ارزش حرارتی پایین سوخت(Kj/Kg)	LHV
نرخ حرارتی نیروگاه(Kj/Kwh)	HR
هزینه خرید تجهیزات(€)	PEC
سنوات(سال)	N و n
هزینه اجتماعی(€/Kwh)	SC
هزینه عملکردی (€/Kwh)	OC
فایده بر هزینه(€)	BC
درصد بهره سالیانه(%)	APP
بهره سالیانه(€)	AP
ضریب سرمایه‌گذاری اولیه (%)	X
سود فروش(€)	A_t
درصد فایده بر هزینه(%)	BCP
نرخ بهره سالیانه(%)	i
نرخ تورم(%)	r_n
معیار اقتصادی	ES
هزینه تولید برق(Rial/Kwh)	EGC

اندیسها

تعمیر و نگهداری	OM
نقطه پینچ	$Pinch$
نقطه اپروچ	$Approach$
سرمایه گذاری اولیه	C
سوخت	f
نیروگاه	PP
فشار بالا	HP, hp
فشار پایین	LP, lp
پیش گرمکن	$\mathrm{Pr}e$
کمپرسور هوا	AC
مشعل اضافی	DB
سیکل جدید	new
آب تغذیه	fw
اگزرژیکی	ex

فصل اول

مقدمه

۱-۱ مقدمه

از زمانی که توربینهای گاز ونظریه بکارگیری آنها در نیروگاهها مطرح شد (۱۹۴۹میلادی)، بازتوانی با تبدیل نیروگاهها به نیروگاههای سیکل ترکیبی مورد توجه قرار گرفتند. اولین واحد بازتوانی شده بوسیله توربین گازی (که از خروجی توربین گازی بعنوان گرمکن آب تغذیه استفاده شد) نیروگاه اوکلاهاما[1] بود. بعد ازاین حرکت سایر شرکتها و صنایع نیروگاهی نیز در ادامه با جدیت برای استفاده از این مزیت و امتیاز ایجاد شده دست بکار شدند[۱]. این روند از حدود سال ۱۹۶۰ در اروپا نیز آغاز شد. در حقیقت محدودیت و هزینه‌های ناشی از منابع سوختی مورد نیاز در راه‌اندازی نیروگاهها، نیازهای فزاینده و رو به رشد کشورهای در حال توسعه بهمراه مسائل اقتصادی و زیست محیطی عوامل محرک در نگاه جدی به این قضیه از طرف صاحبان صنایع بوده است. لازم به ذکر است که حدود یک سوم از منابع سوخت فسیلی جهان صرف ایجاد انرژی الکتریسیته می‌شود ونیز پیش‌بینی‌ها موید اینست که تا سال ۲۰۵۰ با توجه به رشد کشورهای در حال توسعه، تولید برق در این کشورها ۵۰-۴۰ درصد رشد داشته باشد، این در حالیست که اکثر نیروگاههای موجود نیز از نوع نیروگاههای بخار هستند که تاسیس آنها به سالهای ۱۹۶۰ و بعد از آن بر می‌گردد[۲]. آخرین گزارش جهانی حاکی از آنست که ۶۶درصد از برق تولید شده جهان حاصل از سوختهای فسیلی است که سهم زغالسنگ از این مقدار ۶۳ درصد ،گاز طبیعی ۲۹درصد و نفت ۹ درصد می باشد. میزان استفاده از سوختهای فسیلی در کشورهای OECD[2] حدودا ۱۶ درصد و در کشورهای در حال توسعه ۷۲درصد می باشد[۳]. با توجه به مطالب بیان شده و اینکه میزان قابل توجهی از برق تولیدی کشور از نیروگاههای بخار موجود تامین می‌شود(۳۰٪کل برق تولیدی کشور)، حساسیت بیشتری از لحاظ راندمان تولیدی در آنها را ایجاد می-

[1] Oklahoma Gas and Electric Company Belle Isle Station
[2] Organization for Economic Co-operation and Development