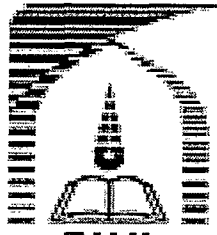


الله الرحمن الرحيم



T.M.U.

دانشگاه تربیت مدرس  
دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل

کنترل بویلر و اتریوب با استفاده از شبکه‌های عصبی

نگارش:

محمد قاسم کاظمی

استاد راهنما:

دکتر بهشتی

استاد مشاور:

دکتر مومنی

زمستان ۱۳۸۶

۱۳۸۷ / ۱۵ / ۲۲

۹۹.۶۰

۹۹۵۶۰



بسمه تعالی

## تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان

آقای محمداقاسم کاظمی پایان نامه ۹ واحدی خود را با عنوان طراحی کنترلر بویلر و اترتیوب با استفاده از شبکه های عصبی در تاریخ ۱۳۸۶/۱۲/۱ ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق - کنترل پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و پرتنام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی	استادیار	
استاد مشاور	دکتر حمیدرضا مومنی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر وحید جوهری مجد	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر بهزاد مشیری	استاد	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر وحید جوهری مجد	دانشیار	

۹۹۵۶۰

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه / رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

## آیین نامه چاپ پایان نامه (رساله) های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله) ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ رساله دکتری نگارنده در رشته \_\_\_\_\_ است که در \_\_\_\_\_ سال در دانشکده \_\_\_\_\_ دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی سرکار خانم/جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_، مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_

و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر \_\_\_\_\_ از آن

دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت چاپ) را به «دفتر نشر آثار علمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب \_\_\_\_\_ دانشجوی رشته \_\_\_\_\_

محمدحسین کاظمی  
مقطع کارشناسی ارشد

تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: \_\_\_\_\_ محمدحسین کاظمی

تاریخ و امضا:



۱۳۸۷/۱۱/۲۴

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان‌نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه / رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشند. تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه / رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین‌نامه‌های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم‌الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری خواهد بود.

تقديم:

به پدر و مادر عزیزم

## تشر و قدردانی

در اینجا بر خود لازم می‌دانم که از زحمات بی‌دریغ اساتید بزرگوارم  
دکتر محمدتقی حمیدی بهشتی و دکتر حمیدرضا مومنی  
تشر و قدردانی نمایم. برای این بزرگواران از درگاه ایزد منان  
سلامت و موفقیت روزافزون را خواستارم.

## چکیده

در این پایان‌نامه به کنترل بویلر با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی پرداخته شده است. تاکنون بویلرها با روش‌های مختلفی مدلسازی و کنترل شده‌اند که از دلایل وجود و ادامه این کار اهمیت بویلر در صنعت است. بویلرها استفاده‌های متعددی از قبیل تولید بخار و آب داغ در منازل مسکونی و نیروگاه‌ها دارند. شبکه‌های عصبی بطرز موفقیت‌آمیزی در شناسایی و کنترل سیستم‌های دینامیکی استفاده شده‌اند. قابلیت گسترده پرسپترون‌های چند لایه‌ای، آنرا گزینه رایجی برای مدلسازی سیستم‌های غیرخطی و بکار بردن کنترل‌کننده‌های همه منظوره ساخته است. در این پایان‌نامه، مدل‌های غیرخطی و خطی شده یک بویلر چهار ورودی-چهار خروجی بیان شده است. در ادامه مدلسازی عصبی این بویلر مورد بررسی قرار گرفته است. مدل خطی بدست آمده بنتسمان-پلگرینتی توسط یک کنترل‌کننده عصبی با استفاده از پرسپترون‌های چند لایه‌ای کنترل شده و ردیابی خوب این سیستم با استفاده از کنترل‌کننده فوق به نمایش درآمده است. همچنین دفع اغتشاش وارد شده به سیستم توسط کنترل‌کننده عصبی مورد استفاده نیز نشان داده شده است. در انتها نیز مقایسه‌ای بین کنترل‌کننده عصبی و کنترل‌کننده PID سنتی انجام شده و نتایج هر کنترل‌کننده بیان شده است.

**کلید واژه:** بویلر، کنترل عصبی مدل پیش‌بین، پرسپترون چند لایه‌ای، کنترل‌کننده عصبی، مدلسازی عصبی



## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ج	فهرست علایم و نشانه‌ها
د	فهرست جدول‌ها
ه	فهرست شکل‌ها
۲	<b>فصل ۱- مقدمه</b>
۲	۱-۱- معرفی
۶	۲-۱- نگاهی اجمالی به مطالب فصل‌ها
۸	<b>فصل ۲- بویلر</b>
۸	۱-۲- مقدمه
۸	۲-۲- دسته‌بندی بویلرها
۹	۱-۲-۲- بویلر فایرتیوب
۹	۲-۲-۲- بویلر واترتیوب
۱۰	۳-۲-۲- انواع بویلرهای فایرتیوب
۱۰	۴-۲-۲- انواع بویلرهای واترتیوب
۱۰	۱-۴-۲-۲- دیگ‌های با گردش طبیعی
۱۱	۲-۴-۲-۲- دیگ‌های با گردش اجباری
۱۲	۳-۴-۲-۲- دیگ‌های بنسون
۱۳	۴-۴-۲-۲- دیگ‌های سولزر
۱۳	۳-۲- مقایسه کلی بین بویلرهای واترتیوب و فایرتیوب
۱۶	<b>فصل ۳- مدلسازی بویلر</b>
۱۶	۱-۳- مقدمه
۱۶	۲-۳- پروسه شناسایی
۱۸	۳-۳- مدل غیرخطی بنتسمان و پلگرینتی
۲۰	۴-۳- مدل خطی شده بنتسمان و پلگرینتی
۲۱	۵-۳- شناسایی با استفاده از شبکه‌های عصبی
۲۲	۶-۳- نتایج حاصل از مدلسازی عصبی
۲۴	۷-۳- نتیجه‌گیری
۲۹	<b>فصل ۴- کنترل بویلر با استفاده از شبکه‌های عصبی</b>
۲۹	۱-۴- مقدمه
۲۹	۲-۴- شبکه‌های عصبی

۲۹.....	شبکه‌های پرسپترون چند لایه.....	۳-۴
۳۱.....	کنترل کننده عصبی مدل پیش‌بین.....	۴-۴
۳۲.....	کنترل کننده مدل پیش‌بین برای کنترل فشار بخار بویلر برای مدل عصبی سیستم.....	۱-۴-۴
۳۷.....	کنترل کننده PID برای کنترل فشار بخار بویلر برای مدل عصبی سیستم.....	۲-۴-۴
۳۸.....	طراحی کنترل کننده PID مدل خطی بنتسمان-پلگرینتی.....	۵-۴
۴۱.....	طراحی کنترل کننده عصبی مدل خطی بنتسمان-پلگرینتی با استفاده از MLP.....	۶-۴
۴۳.....	همگرایی وزن‌ها و بایاس‌ها.....	۱-۶-۴
۴۹.....	دفع اغتشاش.....	۲-۶-۴
۵۰.....	نتیجه‌گیری.....	۷-۴
۵۴.....	فصل ۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	
۵۴.....	نتیجه‌گیری.....	۱-۵
۵۵.....	پیشنهادات.....	۲-۵
۵۶.....	فهرست مراجع.....	

## فهرست علائم و نشانه‌ها

عنوان	علامت اختصاری
تاخیر زمانی	$\tau$
نویز	$n$
خروجی	$y$
متغیر حالت	$x$
ورودی	$u$
وزن	$W$
خروجی مرجع	$y_r$
بایاس	$B$
وزن‌های ورودی	$w_{ij}^I$
فاکتور وزنی کنترل	$\rho$
وزن‌های خروجی	$w_j^o$
بایاس سلول‌های لایه پنهان	$b_j^I$
بایاس سلول‌های لایه خروجی	$b^o$
کران هزینه	$N_2$
کران کنترل	$N_u$
پارامتر جستجو	$\alpha$

## فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۱۳.....	جدول ۱-۲) مقایسه کلی بین بویلرهای واتر تیوب و فایرتیوب
۱۹.....	جدول ۱-۳) ضرایب معادلات غیرخطی بنتسمان-پلگرینتی سیستم بویلر
۳۳.....	جدول ۱-۴) پارامترها و مقادیر کنترل کننده عصبی مدل پیش‌بین
۵۱.....	جدول ۲-۴) مقایسه نتایج کنترل کننده عصبی و کنترل کننده PID

## فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۹.....	شکل ۱-۲) نمایی از یک بویلر فایر تیوب.....
۱۱.....	شکل ۲-۲) شکل کلی دیگ‌های با گردش طبیعی.....
۱۲.....	شکل ۳-۲) دیگ‌های با گردش اجباری.....
۱۲.....	شکل ۴-۲) دیگ‌های بنسون.....
۱۳.....	شکل ۵-۲) دیگ‌های سولزر.....
۱۷.....	شکل ۱-۳) الگوریتم شناسایی.....
۱۸.....	شکل ۲-۳) شکل کلی بویلر مورد بررسی و نمایش ورودی و خروجی‌های سیستم [۷].....
۲۲.....	شکل ۳-۳) بلوک دیاگرام کلی زیرسیستم اول.....
۲۳.....	شکل ۴-۳) مجموع مربع خطا برای آموزش سیستم.....
۲۳.....	شکل ۵-۳) رگرسیون مدل بدست آمده با داده‌های واقعی.....
۲۴.....	شکل ۶-۳) درست‌نمایی سیستم مدل شده با داده‌های واقعی.....
۲۴.....	شکل ۷-۳) مقایسه فشار بخار خروجی بین مدل بدست آمده از روش کلاسیک و داده‌های واقعی [۷].....
۲۵.....	شکل ۸-۳) مقایسه سطح آب بین مدل بدست آمده از روش کلاسیک و داده‌های واقعی [۷].....
۲۵.....	شکل ۹-۳) مقایسه سطح اکسیژن بین مدل بدست آمده از روش کلاسیک و داده‌های واقعی [۷].....
۲۶.....	شکل ۱۰-۳) مقایسه فشار بخار خروجی مدل فازی بدست آمده با داده‌های واقعی [۸].....
۲۶.....	شکل ۱۱-۳) مقایسه سطح اکسیژن مدل فازی بدست آمده با داده‌های واقعی [۸].....
۲۶.....	شکل ۱۲-۳) مقایسه سطح آب مدل فازی بدست آمده با داده‌های واقعی [۸].....
۲۷.....	شکل ۱۳-۳) مقایسه فلوی بخار خروجی مدل فازی بدست آمده با داده‌های واقعی [۸].....
۳۰.....	شکل ۱-۴) ساختار شبکه عصبی پرسپترون چند لایه.....
۳۱.....	شکل ۲-۴) ورودی‌های شبکه عصبی معکوس.....
۳۲.....	شکل ۳-۴) سیگنال خطای استفاده شده در آموزش کنترل‌کننده مدل پیش‌بین.....
۳۲.....	شکل ۴-۴) ساختار مدل شبکه عصبی سیستم که در کنترل مدل پیش‌بین مورد استفاده قرار می‌گیرد.....
۳۳.....	شکل ۵-۴) بلوک دیاگرام کنترل‌کننده مدل پیش‌بین.....
۳۴.....	شکل ۶-۴) داده‌های ورودی و خروجی برای آموزش کنترل‌کننده.....
۳۵.....	شکل ۷-۴) نتایج آموزش کنترل‌کننده مدل پیش‌بین.....
۳۵.....	شکل ۸-۴) نتایج درست‌نمایی کنترل‌کننده مدل پیش‌بین.....
۳۶.....	شکل ۹-۴) نتایج تست کنترل‌کننده مدل پیش‌بین.....
۳۶.....	شکل ۱۰-۴) ردیابی set-point تعیین شده برای فشار توسط سیستم کنترل شده.....

- شکل ۴-۱۱) خطای ردیابی set-point تعیین شده برای فشار توسط سیستم کنترل شده..... ۳۶
- شکل ۴-۱۲) سیگنال کنترلی اعمال شده از کنترل کننده عصبی مدل پیش بین..... ۳۷
- شکل ۴-۱۳) سیگنال کنترلی اعمال شده از کنترل کننده PID..... ۳۷
- شکل ۴-۱۴) خطای ردیابی set-point تعیین شده برای فشار توسط سیستم کنترل شده..... ۳۸
- شکل ۴-۱۵) ساختار کلی کنترل کننده PID مورد استفاده برای کنترل فشار بخار خروجی..... ۳۸
- شکل ۴-۱۶) پاسخ پله سیستم بدون استفاده از کنترل کننده..... ۳۹
- شکل ۴-۱۷) پاسخ پله سیستم با استفاده از کنترل کننده PID..... ۳۹
- شکل ۴-۱۸) بالا زدگی پاسخ پله سیستم با استفاده از کنترل کننده PID..... ۴۰
- شکل ۴-۱۹) ردیابی set-point تعیین شده برای فشار بخار بویلر با استفاده از کنترل کننده PID..... ۴۰
- شکل ۴-۲۰) خطای ردیابی set-point تعیین شده برای فشار بخار بویلر با استفاده از کنترل کننده PID..... ۴۱
- شکل ۴-۲۱) شکل کلی تابع تبدیل tansig..... ۴۱
- شکل ۴-۲۲) ورودی میزان سوخت اعمالی به کنترل کننده برای آموزش..... ۴۲
- شکل ۴-۲۳) خروجی فشار درام بویلر نرمالیزه شده حاصل از ورودی اعمال شده برای آموزش کنترل کننده..... ۴۲
- شکل ۴-۲۴) خروجی واقعی فشار درام بویلر سیستم به ورودی اعمال شده..... ۴۳
- شکل ۴-۲۵) مجموع مربعات خطای حاصل از آموزش کنترل کننده..... ۴۳
- شکل ۴-۲۶) همگرایی وزن های ورودی..... ۴۳
- شکل ۴-۲۷) همگرایی مقادیر بایاس لایه پنهان..... ۴۴
- شکل ۴-۲۸) همگرایی مقادیر وزن های خروجی..... ۴۴
- شکل ۴-۲۹) همگرایی مقادیر بایاس خروجی..... ۴۴
- شکل ۴-۳۰) بلوک دیاگرام کلی کنترل کننده..... ۴۵
- شکل ۴-۳۱) ردیابی یک سیگنال مرجع سینوسی..... ۴۵
- شکل ۴-۳۲) خطای ردیابی سیگنال سینوسی ذکر شده..... ۴۶
- شکل ۴-۳۳) خطای ردیابی سیگنال سینوسی ذکر شده از نمای نزدیک تر..... ۴۶
- شکل ۴-۳۴) سیگنال کنترلی اعمال شده..... ۴۶
- شکل ۴-۳۵) ردیابی یک سیگنال سینوسی همراه با یک پله ناگهانی در ثانیه ششم..... ۴۷
- شکل ۴-۳۶) ردیابی پله وارد شده در ورودی در لحظه ششم..... ۴۷
- شکل ۴-۳۷) مدت زمان لارم برای اینکه کنترل کننده خروجی را به سیگنال مرجع برساند..... ۴۷
- شکل ۴-۳۸) خطای ردیابی سیگنال سینوسی همراه با یک پله ناگهانی در ثانیه ششم..... ۴۸
- شکل ۴-۳۹) خطای ردیابی سیگنال سینوسی همراه با یک پله ناگهانی در ثانیه ششم..... ۴۸
- شکل ۴-۴۰) سیگنال کنترلی اعمال شده..... ۴۸
- شکل ۴-۴۱) نویز اضافه شده به عنوان نویز ورودی و اندازه گیری..... ۴۹
- شکل ۴-۴۲) دفع اغتشاش ۲۵ درصد ورودی..... ۴۹

- شکل ۴-۴۳) دفع اغتشاش ۱۰۰ درصد ورودی ..... ۴۹
- شکل ۴-۴۴) پاسخ پله سیستم با استفاده از کنترل کننده طراحی شده با پرسپترون‌های چند لایه ..... ۵۰
- شکل ۴-۴۵) میزان خطای پاسخ پله سیستم با استفاده از کنترل کننده طراحی شده با پرسپترون‌های چند لایه ..... ۵۰
- شکل ۴-۴۶) ردیابی یک set-point پله‌ای فشار بخار توسط سیستم کنترل شده با کنترل کننده PID ..... ۵۱
- شکل ۴-۴۷) ردیابی یک set-point پله‌ای فشار بخار توسط سیستم کنترل شده با کنترل کننده عصبی طراحی شده با پرسپترون چند لایه ..... ۵۲

# فصل اول

## مقدمه



## فصل ۱ - مقدمه

### ۱-۱- معرفی

یکی از موثرترین ابزار برای افزایش بازده مولدهای بخار یا همان بویلرها<sup>۱</sup>، بهبود سیستم کنترل تولید بخار در آنهاست و از ملزومات این امر، طراحی و توسعه مدل مولدها و کنترل‌کننده‌هایی است که برای این مدل‌ها طراحی می‌شوند. روش‌های گوناگون مدلسازی<sup>۲</sup> به آسانی در نشریات یافت نمی‌شوند و معمولاً هم در مورد یک سیستم خاص می‌باشند. به علاوه بر اساس اطلاعات ما، مدل کافی از یک بویلر با تمام درونیایی‌ها، متغیرهای اندازه‌گیری شده، اغتشاشات<sup>۳</sup> و قیود حاکم بر سیستم و ... موجود نمی‌باشد و مدل‌های موجود نیز غیرخطی مرتبه بالا، پیچیده و کوپل شده هستند. مثلاً مک دونالد<sup>۴</sup> [۱] یک مدل غیرخطی بر پایه اصل بقای ماده و انرژی ایجاد کرده است که پارامترهای آن وابستگی زیادی به پارامترهای فیزیکی داشته و مدلی غیرخطی و پیچیده است. و یا مدل بویلر برای بخار اشباع شده [۲] که شامل پروسه قسمت‌های مختلف بویلر از قبیل اکونومایزر، سوپرهیتر، کنترل شیرآلات و بای‌پس فشار بالا می‌باشد. هدف به دست آوردن این مدل برای بویلر شبیه‌سازی عملکرد بویلر با بخار سوپرهیتر می‌باشد که کنترل فشار و مقادیر دمای خروجی بویلر نیز انجام می‌شود. مدل غیرخطی ایجاد شده در اینجا نیز بر پایه اصل بقای ماده و انرژی ایجاد شده است. البته مدل‌های زیادی از بویلر شناخته شده است که از آن جمله می‌توان به مدل دقیق بویلر، مدل پیشنهادی IEEE، مدل لویلی - فنتون، مدل آندرسون ناناکورن، مدل فرنچ کلفنز و مدل IHI اشاره کرد. همچنین مدل ساده شده دیملو-فالو<sup>۵</sup> [۳] یک مدل ساده شده برای بویلر می‌باشد که برای کارهای کنترلی بسیار مفید است و کارهای زیادی روی آن هم در زمینه شناسایی و هم در زمینه کنترل [۴] انجام شده است.

---

<sup>۱</sup>. Boilers  
<sup>۲</sup>. Modelling  
<sup>۳</sup>. Disturbance  
<sup>۴</sup>. Mc Donald  
<sup>۵</sup>. Demellow – fellow

شناسایی بویلر به منظور کنترل آن انجام می‌شود که از اهداف کنترلی بویلر می‌توان به موازنه نسبی بین فلوی بخار و آب تغذیه با تنظیم نرخ احتراق دیگ به نحوی که بخار مورد نظر تامین شود و انجام احتراق به صورت کامل را می‌توان نام برد. در واقع هدف نهایی یک سیستم کنترل بویلر، تهیه بخاری با فشار ثابت با کمترین قیمت و بالاترین ایمنی می‌باشد.

مدل‌های مورد استفاده در بویلرها به دو دسته قابل تقسیم می‌باشند. مدل‌های مرتبه بالای دینامیکی صرفاً ریاضی و مدل‌های مرتبه پایین دینامیکی تقسیم‌بندی می‌شوند. در سال‌های اخیر علاقه به شکل-دهی بهینگی در بویلرها با هدف دستیابی به افزایش طول عمر، افزایش بازدهی حرارتی و کاهش انتشار آلودگی افزایش بسیاری یافته است. در دهه گذشته مدل‌سازی حرارتی بویلر از نقطه نظر و مقصودهای متفاوت صورت گرفته است. همواره سازندگان بویلرها در کتابچه‌های راهنما<sup>۱</sup> مربوط به آن به صورت بسیار ساده مدل‌های تا حدی تجربی را شرح می‌دهند که از سیستم‌های آزمایشی توسعه داده شده‌اند و یا از آزمایشات مشتری‌ها استنتاج شده‌اند. این روش سنتی بود که به صورت عمده برای طراحی عملی معمول کوره‌ها و بویلرها با طبیعت بسیار متفاوت یکسان می‌باشد.

مدل‌های حرارتی مبدل‌های گرمایی بوسیله مدل یکپارچه<sup>۲</sup> سنتی شکل‌دهی شده‌اند که می‌توانند از کتاب‌های اصلی<sup>۳</sup> اولیه در این زمینه به دست بیایند. در حالت سوپرهیترهای تشعشی، طرز عمل نقاط همدم که به وسیله هاتل<sup>۴</sup> به دست آمده در گذشته استفاده می‌شد. در اوایل دهه ۷۰ مدل‌های دارای جزئیات بیشتر شروع به نمایان شدن کردند. برای پیش‌بینی گرمای انتقالی در کوره‌ها اولین نمونه مدل پلاگ فلو<sup>۵</sup> بود. پس از آن یک مدل جامع و شامل تمام جزئیات که بر مبنای تکنیک برش تکه‌ای<sup>۶</sup> بود توسط بیوترز<sup>۷</sup> پیشنهاد شد [۵].

مدل ساده محاسباتی دیگری که در کوره‌ها توسط استاندارد شوروی ذکر شد بر پایه تقسیم‌بندی ناحیه‌ها به سلول‌های حجمی محدود استوار بود. این مدل به نام مدل ناحیه‌ای<sup>۸</sup> شناخته می‌شود. این روش مقدمه‌ای برای مراحل بعدی بود. کاربرد مدل مشهور ناحیه‌ای و هاتل برای انتقال گرمای تابشی در یک محوطه بسته‌ای که ایزوترمال<sup>۹</sup> نباشد، بود. که البته در کتاب‌ها و نوشته‌جات در رابطه با بویلرها موجود است، اما هنوز هم در طراحی بویلر برای ژنراتورهای بزرگ استفاده نمی‌شوند، به خاطر اینکه مدل‌های مذکور نیاز به اطلاعات قبلی در مورد سرعت، الگوی سوزش و آزادسازی گرما با قابلیت اطمینان بالا دارند. روش مدل‌سازی ناحیه‌ای منطبق بر توسعه تکنیک‌های CFD<sup>۱۰</sup> بود. البته این تکنیک‌ها پیشرفت‌های بسیار مهمی را در مدل‌سازی جزئیات حرکت سیال‌ها و سوختن و احتراق سوخت‌های پودر شده متصور شده بودند. ولی به هر حال این تکنیک‌ها معایبی نیز داشتند، که عبارت بودند از:

1. Handbook
2. Simple Lumped
3. Textbook
4. Hottel
5. Plugflow
6. Slicing technique
7. Bueters
8. Zone Method
9. Isothermal
10. Computational Fluid Dynamics

الف) نیاز بسیار به زمان محاسبات

ب) پدیده پیچیده برای مدلسازی

محققان از این مشکلات آگاه بودند و تلاش‌هایشان را در دو جهت معطوف کردند، از یک طرف به صورت آشکار و مشهودی سعی در بهبود اصول و اساس مدل‌های خودشان کردند و از طرف دیگر سعی کردند بعضی از ساده‌سازی‌ها را به منظور برون‌یابی نتایج عملی به کاربردهای صنعتی تطبیق دهند. یکی از مهمترین نتایج حرکتی در روش ناحیه‌ای و هاتل بود که توسط هسلمن<sup>۱</sup> و دیگران انجام شد. به صورت خلاصه پیشرفت کامپیوترها و ظرفیت قابل ملاحظه کامپیوترها در محاسبات باعث شد که استفاده‌های زیادی از تکنیک‌های CFD شود، که نتایج آن کاملاً برای اهداف بعدسازی<sup>۲</sup> راضی کننده بود. اما اگر بحث مدلسازی و مانیتورینگ بر-خط<sup>۳</sup> مطرح باشد زمینه محاسبات کاملاً متفاوت خواهد بود، در اینجا مدل باید تا حد امکان ساده باشد. از آنجایی که پاسخ سریعی مورد نیاز است و برای اینکه حجم زیادی از اجراها باید بتوانند انجام شوند، لذا مدل ما باید تا حد امکان ساده باشد [۱۵] و [۱۶].

به دلایل ذکر شده هنوز مدل یکپارچه در زمینه مانیتورینگ و شبیه‌سازی بر-خط مولدهای بخار ظاهراً بدون ایجاد مانع سایر مدل‌ها، حکم‌فرماست. مدل‌سازی‌های فازی و عصبی به عنوان روش‌های جدید و نوین برای شناسایی و کنترل بویلرها و سایر سیستم‌ها مطرح شده‌اند. بویلر مورد بررسی در اینجا بصورت کلاسیک در [۷] مدل‌سازی شده است، که مدل غیرخطی بنتسمان - پلگرینتی<sup>۴</sup> نامیده می‌شود. مدل غیرخطی بنتسمان - پلگرینتی حول نقطه کار خود خطی شده و به عنوان مدل خطی بنتسمان - پلگرینتی شناخته می‌شود. همچنین این بویلر از طریق روش‌های نوین شناسایی فازی و عصبی مدل‌سازی شده است. برای مدل فازی این بویلر کنترل کننده مدل پیش‌بین در [۸] طراحی شده است.

کنترل کننده‌های PID در طی سالیان درازی در حل مسأله کنترل بویلر توفیق داشته‌اند و بطور معمول در کنترل بویلر استفاده می‌شوند. از دلایلی که می‌توان برای بررسی سیستم‌های کنترل در مجموعه‌های صنعتی نظیر بویلر ذکر کرد، این است که سیستم‌های کنترل مرسوم این مجموعه‌ها که بر اساس کنترل-کننده‌های تک حلقه‌ای PID آرایش یافته‌اند، نیاز به تنظیم دوره‌ای دارند. که از دلایل این امر نیز تغییرات مشخصات اجزای سیستم، اثرات متقابل حلقه‌هایی که بصورت مجزا کنترل می‌شوند، کارکرد غیرعادی عملگرها و ... می‌باشند. از طرفی تنظیم مجدد این کنترل کننده‌ها نیز کاری به شدت سخت، گاه‌آزمان‌گیر و طاقت فرساست، خصوصاً که نیروی انسانی مجموعه نیز ممکن است قادر به دستیابی یک تنظیم بهینه نباشد.

همچنین با توجه به استفاده بویلرها همراه با توربین‌ها در صنعت، در بسیاری از مقالات به سیستم بویلر - توربین با هم پرداخته شده است. در واقع توربین نقش بار را برای بویلر بازی می‌کند. بصورت کلی سیستم بویلر - توربین یک سیستم چند متغیره با کوپلینگ قوی می‌باشد. نشان داده شده است که دینامیک غیرخطی در محدوده وسیعی از عملکرد سیستم، بزرگی و نرخ اشباع شیرهای کنترلی برای

1. Hesselman

2. Dimensioning

3. On-line

4. Bentsman - Pelegrinetti

فرضیات طراحی کنترل‌کننده مشکلاتی ایجاد می‌کند. بنابراین این یک چالش بزرگ است که یک سیستم کنترلی که برای سیستم بویلر - توربین طراحی شود خاصیت‌های جداسازی، تعقیب و مقاوم بودن را بخوبی داشته باشد.

در دهه اخیر تحقیقات زیادی انجام شده‌اند که توجه خاصی به کنترل واحد بویلر - توربین کرده‌اند، که از آن جمله می‌توان به روش خطی‌سازی فیدبک<sup>۱</sup> [۹]، کنترل  $H_{\infty}$  [۱۰] و [۱۱]، نگرش فهرست بهره (GEAC)<sup>۲</sup> [۱۲] و [۱۳]، کنترل بر پایه الگوریتم ژنتیک<sup>۳</sup> [۱۴] و [۱۵] و کنترل نروفازی<sup>۴</sup> [۱۷] و [۱۸] و کنترل فازی [۱۹] را می‌توان نام برد.

روش خطی‌سازی فیدبک حالت ورودی در جهت بهبود تعقیب و خاصیت دفع اغتشاش سیستم بویلر - توربین در محدوده وسیعی از شرایط عملکرد سیستم انجام شد. این روش کارایی دینامیکی خوبی را بدون توجه به محدودیت نرخ شیرها به نمایش گذاشت، اما در مورد اشباع شیرها کارایی بدتر می‌شد و حالت ناپایدار رخ می‌دهد. کنترل‌کننده چند متغیره مقاوم با بکار بردن تکنیک  $H_{\infty}$  loop shaping برای مدل بویلر خطی در نقطه عملکرد نامی آن طراحی شد. مقاوم بودن و خاصیت تعقیب بهینه در برابر تغییر در نقاط عملکرد قابل دستیابی بود. به هر حال، روش کنترلی  $H_{\infty}$ ، در مورد اشباع اندازه سیگنال کنترلی ورودی و نرخ محدودیت مشکل داشت. در روش کنترلی فهرست بهره یک کنترل‌کننده بر طبق متغیرهای جدول برنامه‌ریزی می‌شوند، که غیرخطی بودن سیستم بویلر - توربین تحت شرایط عملکرد مختلف سیستم را حذف می‌کند. محدودیت‌های شیرهای کنترلی صریحاً در پروسه طراحی کنترل‌کننده معرفی می‌شوند، بطوریکه GEAC می‌تواند به شرایط لازم تطبیقی و کارایی تعقیب در مقابل تغییرات وسیعی در رنج عملکرد دست یابد. ولی مشکل این روش پاسخ زمانی کند سیستم برای رسیدن به تعقیب مناسب می‌باشد [۲۰].

در روش‌های مبنی بر الگوریتم ژنتیک مانند GA/PI یا GA/LQR کنترل‌کننده ممکن است که سبب بالازدگی زیاد یا خطای تعقیب حالت ماندگار بالا در مقابل تغییر عملکرد سیستم شود. یک ماتریس بهره مسیر مستقیم به سیستم کنترلی GA/LQR اضافه می‌شود، اما بهبود کمی در کارایی سطح آب درام بویلر بدست می‌آید. روش کنترل نروفازی ترکیبی از روش‌های فازی و شبکه‌های عصبی برای رسیدن به کنترل مقاوم‌تر سیستم بویلر - توربین با تغییر پارامترها می‌باشد. کنترل‌کننده‌های بهینه‌ای برای هر شرایط عملکرد طراحی می‌شود تا سیستم استنتاج نروفازی تطبیقی را آموزش دهند. بنابراین این روش می‌تواند بهتر از هر روش کنترلی دیگر خطی در آن نواحی باشد. کنترل‌کننده FARMA<sup>۵</sup> [۱۹] همچنین برای اداره کردن رنج وسیعی از شرایط عملکرد سیستم استفاده می‌شود. قوانین FARMA در فضای قوانین فازی ذخیره می‌گردند و بصورت بر - خط با پروسه خود تنظیمی (خود سازماندهی)<sup>۶</sup> که از داده‌های ورودی و خروجی سیستم بجا مانده‌اند بهنگام می‌شود [۲۰].

1. Feedback linearization

2. Gain-Scheduled Approach

3. Genetic Algorithm (GA) based control

4. Neuro-fuzzy control

5. Fuzzy Auto-Regressive Moving Average

6. Self-organizing