٣٨٣٤٧

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده فنی مهندسی

۱۳۸۰ /۲/ ۲۰

مدلسازی و کنترل دیگهای بخار صنعتی با استفاده از شبکه های عصبی

محمد مهدی رضایی

012192

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

در رشته مهندسی برق-کنترل

استاد راهنما: دکتر محمد تقی حمیدی بهشتی

استاد مشاور: دکتر وحید مجد جوهری

زمستان ۷۹

۳۵۳۴۷

دانشگاه تربیت مدرس

تاییدیه هیات داوران

آقای محمدمهدی رضایی پایان‌نامه ۶ واحدی خود را با عنوان **مدلسازی و کنترل دیگهای بخار صنعتی با استفاده از شبکه‌های عصبی** در تاریخ **۷۹/۱۲/۲۳** ارائه کردند. اعضای هیات داوران نسخه نهائی این پایان‌نامه را از نظر فرم و محتوی تایید و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق باگرایش کنترل پیشنهاد می‌کنند.

اعضای هیات داوران	نام و نام خانوادگی	امضاء
۱ـ استاد راهنما :	آقای دکتر حمیدی‌بهشتی	
۲ـ استاد مشاور :	آقای دکتر جوهری مجد	
۳ـ استادان ممتحن :	آقای دکتر مؤمنی	
	آقای دکتر مشیری	
۴ـ مدیر گروه : (یا نمایندهٔ گروه تخصصی)	آقای دکتر مؤمنی	

این نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان‌نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

این اثر را متواضعانه به آستان پرمهر

پدر بزرگوار

و

مادر مهربانم

تقدیم می دارم

تقدیروتشکر:

سپاس بیکران پروردگار مهربان و رئوفی را که همواره آفریدگان وپروردگانش را به فضل و رحمت الهی می نوازد و وجود لایزالی که به دستان توانای خویش یاور و راهگشای متوکلین است.

برخود لازم می دانم سپاس فراوان خود را به حضور استاد خوبم ، جناب آقای دکتر محمد تقی حمیدی بهشتی به خاطر حمایتهای بیدریغ و راهنمایی های دلگرم کنندهشان در مدت انجام این پروژه تقدیم دارم.

ازاساتید دیگر گروه کنترل ، آقایان دکتر مومنی ، دکتر مجد ، دکترگوی آبادی ، دکترگنجه فر و نیز آقای دکتر شرافت و همچنین استاد غایبم دکتر حاجی ولیزاده وسایر عزیزانی که در طول دوره کارشناسی ارشد از دانش و فضایلشان بهره فراوان برده ام تشکر می نمایم.

همچنین از اساتید محترم هیات داوران آقایان دکتر مومنی و دکتر مشیری کمال تشکر را دارم.

چکیده :

در جریان این کار ابتدا به معرفی اجمالی انواع دیگهای بخار و بطور خاص دیگهای درام دار صنعتی که تکنولوژی ساخت آن در داخل کشور در دسترس است پرداخته و روشهای مرسوم کنترل دیگهای نوع اخیر را مرور نموده ایم . سپس به استخراج مدلی غیر خطی و از مرتبه پائین دینامیکی از فرآیند پرداخته و پارامترهای مدل را برای یک دیگ نمونه بدست آورده ایم . از مدل حاصله جهت شبیه سازی های آموزشی و همچنین در ادامه این پروژه جهت آزمایش روشهای کنترل پیشنهادی سود جسته ایم . در بخش طراحی کنترل با دید کنترل تطبیقی جعبه سیاه به طرح سیستم کنترل مبادرت ورزیده و کار را از کنترل شناخته شده هم ارز قطعی آغاز نموده ایم و از آنجایی که این روش کنترل در مواجهه با فرآیندهای همراه با تاخیر و زمانهای مرده - دیگ بخار چنین سیستمی است - ناکار آمد بود به اصلاح قانون کنترل براساس الگو ریتم ساده حرکت در جهت عکس گرایان خطا و کنترل پیش بین یک گام به جلو پرداخته و نشان داد ه ایم که الگو ریتم تطبیقی پیشنهادی در حل مساله تثبیت فشار بخار در حضور اغتشاشات بار در دیگ کفایت لازم را دارد. در ادامه با توجه به محدودیت های مدلسازی های خطی فرآیندهای غیر خطی ناشناخته ، به اصلاح الگوریتم اخیر بر مبنای مدلسازی ورودی – خروجی عصبی پرداخته و توفیق الگو ریتم حاصله را با شبیه سازی به تماشا نشسته ایم .

در فاز بعدی کار با توجه به علاقه عمومی به حفظ کنترل کننده های PID سنتی در ساختارهای پیشرفته و علی الخصوص توفیق عام حاصله از استفا ده از این رده از کنترلر ها در حل مساله کنترل دیگ بخار در طی سالیان دراز ، در ابتدا اقدام به استخراج نسخه جدیدی از تنظیم کننده خود کار عصبی پارامترهای PID نموده و کفایت آن را با شبیه سازی بررسی کرده و در ادامه در جهت کاهش حجم محاسبات و در عین حال حفظ خاصیت تطبیق در PID ساختار جدیدی را که مرکب از یک کنترلرPID و یک کنترلر عصبی معکوس دنیا میکی است پیشنهاد و توفیق آن در حل مساله کنترل فشار در دیگ بخار را به اثبات رساندیم .

کلمات کلیدی

دیگ بخار درام دار،مدلسازی عصبی ،کنترل تطبیقی ، کنترل عصبی ، عکس گرادیان ، کنترل پیش بین یک گام به جلو ، کنترلرPID ، تنظیم کننده عصبی خود کار پارامترهای PID،کنترل معکوس دینامیکی ، کنترل هم ارز قطعی

فهرست مطالب

پیشگفتار ۱

فصل اول:

معرفی عمومی دیگ های بخار

۱-۱ مقدمه ۵

۱-۲ انواع دیگهای بخار واتر تیوب ۵

۱-۲-۱ دیگهای باگردش طبیعی ٦

۱-۲-۲ دیگهای با گردش اجباری ۷

۱-۲-۳ دیگهای بنسون ۸

۱-۲-٤ دیگهای سولزر ۹

فصل دوم :

سیستم کنترل مرسوم دیگهای درام دارصنعتی

۲-۱ مقدمه ۱۱

۲-۲ حلقه های کنترل در دیگ بخار ۱۱

۲-۲-۱ کنترل دبی آب تغذیه ۱۳

۲-۲-۲ کنترل فشار بخار تحویلی ۱٦

۲-۲-۳ کنترل فشار کوره ۲٤

۲-۲-٤ کنترل دمای بخار فوق گرم ۲۵

فصل سوم:

مدلسازی دیگ بخار

۳-۱ مقدمه ۲۷

۳-۲ معرفی مدل غیر خطی دیگ بخار ۲۷

۳-۳ مدل دینامیکی ضای حالت دیگ بخار ۲۸

۳-٤ مدل حالت ماندگار دیگ بخار ۲۹

۳-۵ بررسی صحت مدل دیگ بخار ۳۰
۳-۶ مدلسازی دینامیک تغییرات سطح آب در درام ۳۲
۳-۷ استخراج پارامترهای مدل ۳۶
۳-۷-۱ برآورد ظرفیت نخیره سازی دیگ ۳۶
۳-۷-۲ برآورد تأخیرهای دینامیکی و زمان مرده سیستم احتراق ۳۸
۳-۷-۳ برآورد جذرضریب افت فشار روی سوپر هیتر ۴۳
۳-۷-۴ مقادیر عددی پارامترهای مدل برای یک دیگ نمونه ۴۴

فصل چهارم:

طراحی سیستم کنترل

۴-۱ مقدمه ۴۵
۴-۲ کنترل هم ارز قطعی ۴۶
۴-۳ کنترل غیر مستقیم تطبیقی ۵۱
۴-۴ شناسایی خطی و محدودیت ها ۵۷
۴-۵ کنترل تطبیقی غیر مستقیم عصبی ۵۹
۴-۶ کنترل کننده PID با تنظیم کننده خودکار عصبی ۶۶
۴-۷ کنترل دینامیک معکوس عصبی همراه با کنترلر PID کمکی ۷۷
۴-۸ مقایسه بین روش های ارائه شده ۸۵

فصل پنجم:

نتایج و پیشنهادات

۵-۱ نتایج ۸۶
۵-۲ پیشنهادات ۸۷

مراجع ۸۸
واژه نامه ۸۹
ضمائم ۹۴

پیشگفتار:

به نظر می رسد که جیمز وات در ۱۸۷۵ با بکار بردن گاورنر fly ball برای کنترل سرعت اولین موتور بخار گردان پیشگام کنترل دیگ بخار باشد.تقریبا در ۱۷۹۰ بود که او کنترل فیدبک را برای کنترل سطح آب دردیگ بخار با استفاده از تنظیم آب ورودی به دیگ بکار گرفت و چیزی در حدود ۱۰ سال بعد از ان تاریخ با کنترل فیدبک ، فشار گاز داغ درون کوره را تنظیم و به این وسیله فشار بخار دیگ را به کنترل درآورد.از آن سالها یعنی سالهای اواخر ۱۷۹۰ تا قرن بیستم هر چند که همواره شاهد پیشرفت ادوات وسخت افزار مورد استفاده در کنترل دیگها بوده ایم لیکن روشهای کنترل دیگ پیشرفت چندانی نداشته اند.

از ۱۹۱۵ تا ۱۹۵۰ کنترل دیگ بخار به سمت سیستم های یکپارچه ترپیش رفت که این موضوع شامل کنترل on- line فشار بخار، فشار کوره ، احتراق ، آب تغذیه و دمای بخار می شد و درست در همین سالها بود که کنترل دیگ بخاربا اقبال عمومی مواجه شد.

اکثر دیگهای نصب شده بین سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ دارای سیستم های کنترل بادی بودند و این در حالی بود که پیشرفت های بزرگی در کنترل دیگهای نیروگاهی و صنعتی بزرگ در حال رخ دادن بود. این پیشرفتها در ابتدا در جهت بکارگیری سخت افزارهای جدید بودند. پیاده سازی سیستم های کنترل با استفاده ازادوات محاسب آنالوگ تقریبا در همین دوره آغاز شد.

سیستم های ایمنی دیگ تا ۱۹۵۰ نیز فقط شامل اینترلاکهای هوا وسوخت بود و عملیات start up و shut down دیگ و اداره مشعلها همگی بصورت دستی انجام میشد. بعد از ۱۹۵۰ استفاده از سیستم های مدیریت مشعلها و ایمنی احتراق با پیاده سازی رله ای رونق گرفت لیکن طی سالهای ۱۹۶۰ بود که چنین سیستم هایی بصورت عملیاتی مورد پذیرش عمومی قرار گرفت که در این بین بهبود قابلیت اطمینان و دسترس پذ یری چنین سیستم هایی ، همچنین ظهور مدارات نیمه هادی از عوامل مهم در این پذیرش بودند. دقیقا در سالهای ۱۹۶۰ بود که کنترل از کنترل آنالوگ بادی به کنترل آنالوگ الکترونیکی سوق یافت.

از نظر تئوری کنترل ، بین سالهای ۱۹۵۰ تا ۱۹۷۰ کنترل دیگهای صنعتی سیری قهقرایی را می پیمود. دلیل این امر نیز کاهش روزافزون هزینه سوخت مصرفی دیگها بود که نتیجه آن عدم احساس نیاز به بهبود روشهای کنترل در آن دوران بود. بالا بودن قیمت تمام شده سیستم های کنترل نیز مزید بر علت بود.

لیکن بعد از شوک نفتی ۱۹۷۰ و پیشرفتهای صنایع الکترونیک ، موازنه اقتصادی بین هزینه ساخت سیستم کنترل و هزینه سوخت مصرفی دیگها کاملا وارونه شد.قیمت فوق العاده زیاد سوخت در سالهای دهه هشتاد به سادگی می توانست سرمایه گذاری برای بهبود سیستم کنترل برای هر نوع

دیگی را توجیه نماید.از طرفی توسعه ریزپردازنده ها در این سالها باعث جهش به سمت روشهای کنترل دیجیتال شد. توسعه و ظهور سنسور های جدید و سادگی ایجاد شده در پیاده سازی الگوریتم های پیچیده کنترلی تا آنجا پیش رفته است که ما امروزه به سادگی صحبت از کنترل عصبی دیگ بخار می نمائیم.[۲]

در سالهای اخیرنیز اصلاح سیستم های کنترل در ساختارهای صنعتی مورد توجه خاص قرار گرفته است. یکی از این ساختارها نیز مجموعه های تولید توان از سوخت های فسیلی است که می توان دلایل زیررا در برانگیخته شدن علاقه محققین برای کار روی این سیستم ها دخیل دانست:

اول این که مجموعه های قدیمی تر برای کار در یک بار پایه طراحی می شدند ، لیکن با توجه به عمر طولانی این سیستم ها - بطور متوسط ۲۵ الی ۳۰ سال - هم اینک لازم است که همین مجموعه هادر حالت حداکثر توان دهی و یا تعقیب بار شدید به کار بپردازند که به هر حال متضمن انحراف بسیار شدید از نقاط کار طراحی اولیه است. گذار بین این نقاط کار مختلف بدون چاره اندیشی های لازم می تواند باعث خارج شدن از حوزه ایمن عملکرد برای بعضی از قسمتها شده و به صدمات شدیدی منجر شود.برای مثال ، تغییرات شدید دمای بخار تولیدی دیگ می تواند باعث تنش های شدید حرارتی و کاهش عمر مفید تجهیزاتی نظیر توربین ها شود و یا تغییرات شدید دبی بخار مصرفی ، در صورتی که چاره اندیشی مناسبی برای آن صورت نگرفته باشد ، می تواند باعث تغییر رژیم چرخش آب و بخار در مبدل های حرارتی دیگ شده و به سوختن این سطوح بینجامد.همچنانکه تغییرات فشار بخار از دید مصرف کننده نیز به شدت نامطلوب است.

دلیل دوم علا قه به اصلاح سیستم های کنترل در مجموعه های صنعتی نظیر دیگهای بخار این است که سیستم های کنترل مرسوم این مجموعه ها که بر اساس کنترل کننده های تک حلقه ای PID آرایش یافته اند ، نیاز به تنظم دوره ای دارند.از دلایل این امر نیز تغییرات مشخصات اجزای سیستم ، اثرات متقابل حلقه هایی که بصورت مجزا کنترل می شوند ، کارکرد غیر عادی عملگرها ، ... قابل نام بردن می باشند. از طرفی تنظیم مجدد این کنترل کننده ها نیز کاری به شدت سخت ، گاها زمانگیر و طاقت فرساست ، خصوصا که نیروی انسانی مجموعه نیز ممکن است قادر به دستیابی به یک تنظیم بهینه نباشد.

امروزه مجموعه مسائل فوق جهت تحقیقات را خصوصا به سمت کنترل تطبیقی سوق داده است.

در پروژه حاضر در فصل اول به معرفی انواع دیگهای بخار وبطور خاص دیگهای درام دار با گردش طبیعی پرداخته ایم[۱،۲].

درفصل دوم نیز روشهای کنترل مرسوم برای دیگهای درام دار با گردش طبیعی را مرور کرده ایم[۱۸،۱۷،۲،۱]

در فصل سوم مدلی غیر خطی از دیگهای بخار نوع اخیر را با توجه به کارهای demello معرفی کرده و این مدل را با افزودن معادلات مربوط به دینامیک سطح آب در درام تکمیل کرده ایم.در

ضمن تا حد امکان صحت این مدلسازی ها را بصورت کیفی اثبات نموده ایم. سپس آزمایشهایی را برای شناسایی پارامترهای مدل معرفی شده طراحی و برای یک دیگ نمونه به انجام رسانده و پارامترهای مزبور را محاسبه کرده ایم. در ادامه این پروژه این مدل را در شبیه سازی روشهای کنترل پیشنهادی بکارگرفته ایم. [۱ ،۳،۵،۹،۱۰]

در فصل چهارم نیز که مربوط به طراحی سیستم کنترل است ، کار را از کنترل شناخته شده هم ارز قطعی آغاز نموده ایم[٦] و توانایی این الگوریتم را برای کنترل سیستم های غیر خطی با چند شبیه سازی بررسی کرده ایم. بررسیها آنچنان که انتظار می رفت نشان داد که این الگوریتم در مساله کنترل فشار دیگ بخار به علت تاخیردار بودن سیستم کارایی ندارد.در ادامه جهت حل این مشکل با حفظ الگوریتم شناسایی قبلی ، با پیشبینی خطای یک گام به جلوو تعریف تابع تلفی معادل مربع این خطا قانون کنترل را با الهام از قاعده ساده حرکت در جهت عکس گرادیان تابع تلف بازنویسی کرده ایم.نتایج حاصل از شبیه سازی این الگوریتم موید توفیق الگوریتم ارائه شده در حل مساله کنترل فشار بخار خروجی دیگ می باشد.در بخش بعدی با برشمردن مشکلات مدلسازی خطی[٦] و عطف به کارهای cybenko [۱۹] وHornik [۲۰] وخصوصا Levin & Narendra [۱٤،۱۲] در مدلسازی ورودی-خروجی عصبی فرایند ها ی ناشناخته غیر خطی و همچنین کارهای Hogg , Irwin , Brown , Swidenbank and Prasad در زمینه مدلسازی عصبی متغیر هایی از دیگ بخار[۱٦،۱۳] سعی در استفاده از شبکه های پیشسو در پیشبینی یک گام به جلوی فشار بخار کردیم.لازم به ذکراست که در کارهای قبلی شبکه عصبی پس از آموزش off-line جهت پیشبینی استفاده می شدلیکن در کار حاضر بصورت on- line آموزش دیده ودر ضمن جهت پیشبینی نیز استفاده می شود.نتیجه این تغییرات بهبود پاسخ الگوریتم اخیر نسبت به نسخه خطی آن بود ضمن این که اطلاعات و شرایط مورد نیز جهت اطمینان از صحت شناسایی به دانستن حد بالا یی از درجه سیستم محدود شده بود[۱۲] .

در ادامه با توجه به سابقه طولانی استفاده از کنترل کننده های PID در کاربردهای صنعتی و علاقه اپراتورها به حفظ این ساختارها و همچنین عملکرد مطلوب این دسته از کنترلرها در کنترل دیگ های بخار به نحوی که استراتژی غالب کنترل, بنابر آنچه در فصل دوم همین گزارش مرور شده است , هم اینک نیز بر پایه همین کنترل کننده های ساده PID است ما نیز به تعقیب کنترل PID در مسآله خاص مورد نظرمان پرداخته و سعی در افزودن قابلیت تطبیق غیر تهاجمی به آن با به کار گیری توانایی های شبکه های عصبی کردیم . در این راستادر ابتدا با تکیه بر کارهای Saiful Akhyar & Sigeru Omatu [۲۲] اقدام به طراحی الگوریتم جدیدی بر مبنای شبکه های پیشسوی عصبی برای تنظیم on-line پارامترهای کنترل کننده PID کرده و نتایج حاصل از اعمال این الگوریتم بر مساله کنترل فشار را به تماشا نشستیم. نتایج به نحو شگفت آوری نسبت به روشهای قبلی بهبود یافته بود.

نهایتا نیز در ادامه با توجه به کاری که Vournace & Fameliaris در کنترل دینامیک معکوس عصبی فشار بخار کرده بودند[۸] ما نیز اقدام به طراحی یک سیستم کنترل هایبرید متشکل از یک کنترل کننده سنتیPID با پارامترهای ثابت ویک کنترل کننده عصبی کردیم. در این طرح ورودی فرآیند برابر مجموع خروجی های کنترل کننده PID و کنترل کننده عصبی بود ، در ضمن کنترل کننده عصبی بصورت on-line در جهت کمینه کردن مربع خروجی کنترل کننده PID آموزش می دید. نتیجه این ترکیب نیز حرکت از کنترل PID به کنترل دینامیک معکوس عصبی با حصول آموزش شبکه عصبی و یا با نگاهی دیگر کنترل کننده PID تطبیقی بود.نتایج حاصل از اعمال این الگوریتم بر مساله کنترل فشار بخار خروجی دیگ بخار در حضور اغتشاشات بارنیز مبین کارامدی این الگوریتم به عنوان بهترین راه حل از میان روشهای بررسی شده در این گزارش بود.ناگفته باقی نماند که کار Vournace & Fameliaris در حد آموزش off-line یک شبکه عصبی جهت فراگیری رفتار معکوس دینامیکی سیستم و سپس استفاده از این شبکه به عنوان یک کنترل کننده حلقه بازپیش سویه بودکه کلا در کلاس کارهای تطبیقی قرارنمی گرفت.در ضمن نتایج آنها نیز بر اساس شبیه سازی مدل مرتبه دو Cheres & Palmor بود.[۹،۱۰]

فصل اول:

معرفی عمومی دیگ های بخار[۲،۱]

۱-۱.مقدمه

دیگهای بخار بطور عمده به دو دسته فایر تیوب و واتر تیوب تقسیم بندی می شوند. در دیگهای فایر تیوب گاز داغ ناشی از احتراق از داخل مجراهایی که سیال جاذب حرارت آنها را احاطه کرده است می گذرد، لیکن در دیگهای واتر تیوب این سیال است که از داخل مجراهایی که در معرض حرارت ناشی از احتراق و گازهای داغ حاصله هستند عبور می نماید. معمولاً دیگهای فایر تیوب در ظرفیت های پایین - فشار، دبی و دمای پائین - جهت تولید آب داغ و یا بخار بکار گرفته می شوند لیکن دیگهای واتر تیوب جهت مصارف صنعتی و نیرو گاهی در ظرفیت های به مراتب بالاتر ساخته می شوند. موضوع این فصل و کار حاضر نیز متمرکز بر دیگ های واتر تیوب می باشد.

۲-۱. انواع دیگهای بخار واتر تیوب

از آنجایی که نوع دیگی که مورد استفاده قرار می گیرد قطعاً بر روش کنترلی که بایستی اعمال گردد تاثیر گذار است در ابتدا مروری بر مهمترین انواع دیگهای بخار خواهیم کرد. در این بررسی نیز فقط آن دسته از خواصی که از جنبه کنترلی اهمیت دارند را دنبال می نمائیم.
از دید رژیم آب و بخار حاکم بر دیگ طبقه بندی زیر یکی از پایه ای ترین روشهاست .

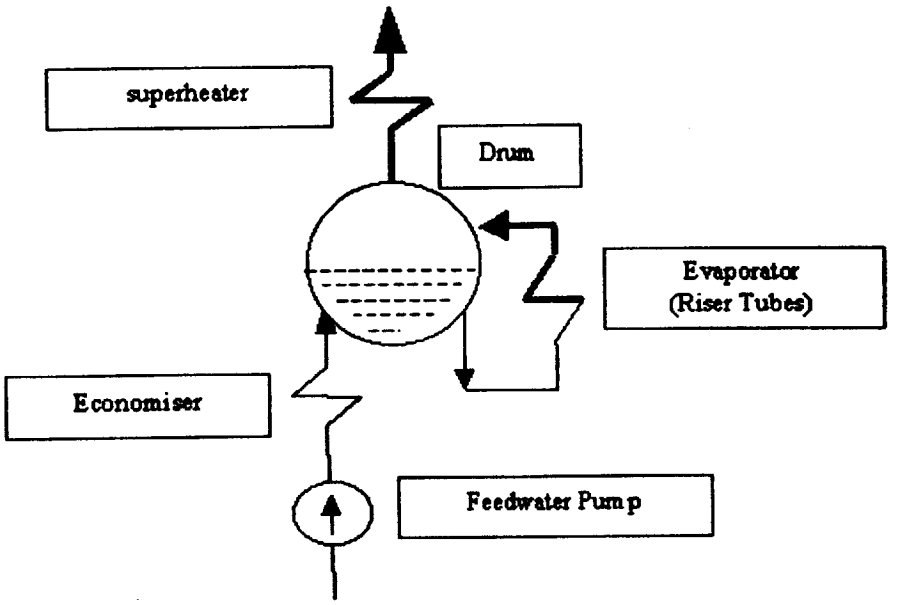
- <u>دیگهای گردشی (دیگهای درام دار)</u>
  - دیگهای با گردش طبیعی
  - دیگهای با گردش اجباری

- <u>دیگهای یک طرفه (دیگهای باجریان اجبار شده)</u>
  - دیگهای بنسون
  - دیگهای سولزر

بطور خلاصه در دیگهای یک طرفه جریان سیالات (آب و بخار) در دیگ یک مسیر مستقیم را دنبال می کند در حالی که در دیگهای گردشی در ناحیه تبخیر کننده چرخش قابل ملاحظه ای از سیالات صورت می گیرد.

۱-۲-۱.دیگهای باگردش طبیعی

متداول ترین دیگهای درام دار ، دیگ های با گردش طبیعی می باشند که طرح مختصر آن در شکل (۱-۱) نشان داده شده است .



شکل شماره (۱-۱) نمای ساده ای از یک دیگ بخار با گردش طبیعی

در این دیگها پمپ تغذیه آب را از مسیراکونومایزربه درام تزریق می نماید و از آنجاست که هدرهای پائین دیواره کوره از طریق تیوب های پائین برنده غیر گرم تغذیه و از طرف دیگر آب نیز از مسیر بالا برنده هایی که دیواره های کوره را تشکیل می دهند و در معرض تشعشع هستند صعود می نماید و در همین مسیر است که بخار نیز تولید می شود. نهایتا مخلوط آب و بخار به درام دیگ وارد می شود.

در این دیگها گردش آب و بخار به دلیل اختلاف دانستیه مخلوط آب و بخار در بالابرنده ها و آب در پائین برنده ها صورت می گیرد. بدیهی است که در این گردش نیروی جاذبه زمین نقش اصلی را ایفا می کند، لذا این دیگها به دیگهای با گردش طبیعی معروف شده اند. در درام ، بخار از مخلوط آب و بخار جدا شده و پس از گذشتن از سوپرهیتر از دیگ خارج می گردد.

از نقطه نظر کنترل دیگهای درام دار با تکیه بر موارد زیر توصیف می شوند:

- سطح آب در درام معیار روشنی از میزان آب تغذیه ای است که با یستی به دیگ تزریق شود.
- درام دقیقا تبخیر کننده را از سوپرهیتر جدا می کند. این موضوع از دید کنترل دمای بخار بسیار مفید است چرا که اثرات تغییرات دبی آب تغذیه روی دمای بخار حذف می گردد.

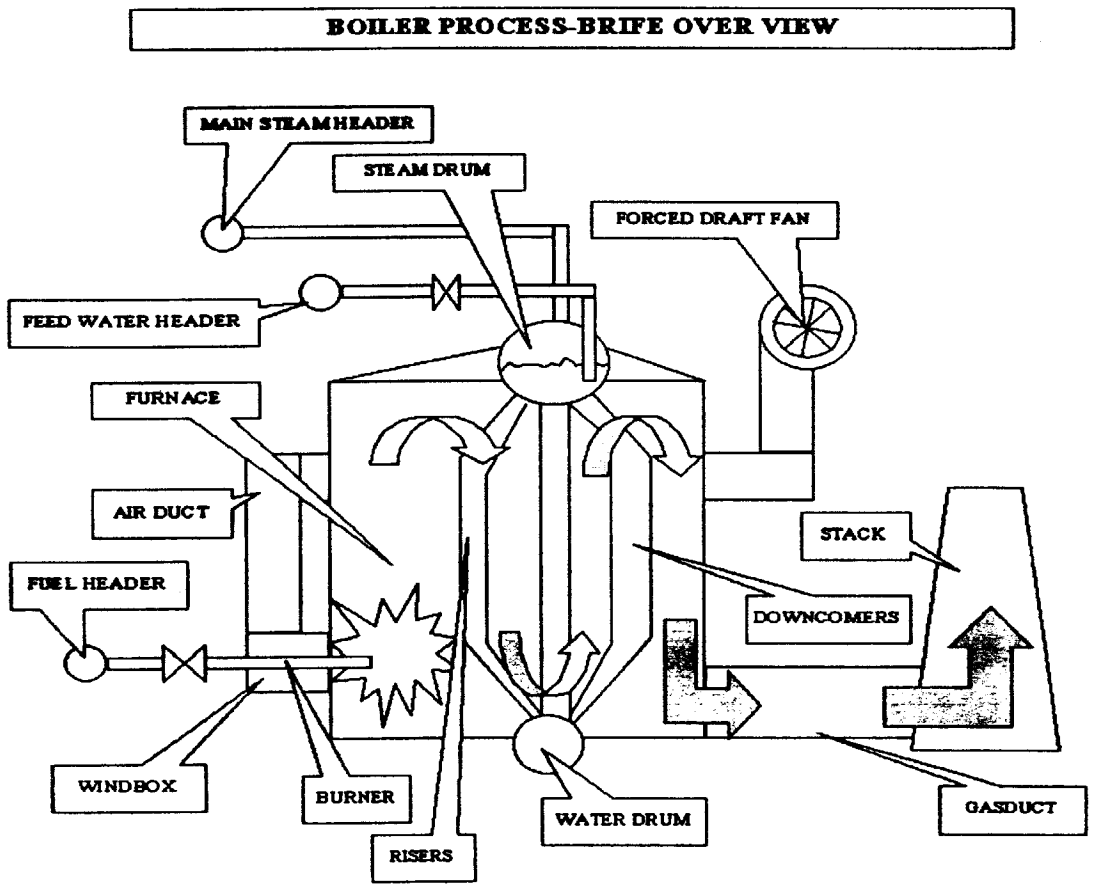
- ظرفیت ذخیره سازی دیگ که وابسته به حجم درام و تیوبهای مسیر چرخش آب و بخار است به اندازه ای بزرگ است که در حین تغییرات بار اینرسی احتراق به خوبی خنثی می شود.

۲-۲-۱.دیگهای با گردش اجباری

در دیگهای با گردش طبیعی چرخش آب و بخار به علت اختلاف وزن ویژه آب داخل پائین برنده ها و مخلوط آب و بخار داخل بالا برنده ها صورت می گیرد. لیکن در دیگهای با گردش اجباری این گردش طبیعی توسط پمپ هایی تقویت می گردد.

(شکل شماره (۲-۱)). مزیت عمده این نوع دیگها این است که چرخش حتی در فشارهای بسیار بالا که اختلاف دانسیته آب و بخار اشباع ناچیز می شود نیز تضمین می گردد.

از دید مهندسی کنترل هیچ تفاوت آشکاری بین دیگهای با گردشهای اجباری و دیگهای با گردش طبیعی وجود ندارد.



شکل شماره (۲-۱)نمای باجزئیات بیشتراز یک دیگ بخار با گردش طبیعی.