مقدمه:

با مرور اجمالی در تاریخچه تبدیل انرژی می توان به این نتیجه رسید که توربین های گازی یکی از مهمترین ادوات در این زمینه بوده اند. در حال حاضر توربین های گازی که از سوخت هایی نظیر گاز طبیعی، دیزل، سوخت های زیستی و ... استفاده می کنند بعنوان انتخاب بهینه برای راه اندازی نیروگاه های مطرح می باشند. از جمله دلایل این موضوع را می توان اندازه و ابعاد کوچک، چند سوخته بودن و راه اندازی سریع این ادوات را نام برد[1]. اگرچه قسمت قابل توجهی از انرژی بصورت گرما در این توربین ها هدر می رود با این حال می توان با عبور دادن این گرما از سیستم های بازیافت حرارت جهت چرخاندن توربین های بخار و سایر اهداف مشابه استفاده نمود و بدین ترتیب بازدهی سیستم کلی را افزایش داد[2-5]. برای پایدارسازی فرکانس و ولتاژ الکتریکی در حضور تغییرات ناگهانی بارهای الکتریکی در سیستم های انتقال و توزیع نیاز به مدلسازی دقیق و کنترل مقاوم نیروگاه های توان می باشد[6-8]. مدل های ریاضیاتی متفاوتی برای توربین های گازی ارائه شده اند. این مدل ها شامل مدل های ساده و کاربردی نظیر مدل روئن [9] برای نیروگاه ها سیکل ترکیبی [10]، مدل های مورد استفاده در سیستم های هوافضا [11]، مدل محاسباتی کمپرول [12] و مدل ترمودینامیکی اباید [13] می باشند. در میان مدل های فوق، مدل های ارائه شده توسط روئن ساده و عملی هستند و در بسیاری از مقالات تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفته اند. سایر مدل ها اگرچه بسیار دقیق می باشند ولی بعلت طبیعت غیرخطی و کنترل پیچیده آنها معمولا کمتر مورد توجه متخصصین قرارگرفته اند.

در برخی از تحقیقات از شناسایی سیستم برای توربین های گازی با سیکل کاری سنگین استفاده شده است. جردو و همکاران از مدل های ARX جهت مدلسازی توربین استفاده نموده اند[14]. قربانی و همکاران در [15]مدل مبتنی بر ARX را برای توربین گازی در یک نیروگاه سیک ترکیبی پیشنهاد داده اند. این مدل در بسیاری از مقالات تحقیقاتی بعنوان مدل نسبتا دقیق مورد توجه قرا رگرفته است.

برای طراحی کنترل کننده های توربین های گازی روش های مختلفی توسط محققین پیشنهاد شده است. بسیاری از این روشها برای توربین های گازی بکارگرفته شده در جت ها پیاده سازی شده اند. از جمله این پژوهش ها می توان به طراحی کنترل کننده مقاوم سرعت توسط مولن در [16] و پیاده سازی کنترل بهینه توسط وات در [17] اشاره نمود. در زمینه توربین های گازی بکارگرفته شده در سیستم های قدرت می توان به پیاده سازی کنترل تطبیقی توسط کمپرول در [18] اشاره نمود. در این روش که برای سیستم های متغیر با زمان مناسب می باشد، کنترل همزمان دمای احتراق و سرعت در حضور تغییرات بار انجام شده است. در مرجع [19] کنترل کننده مقاوم برای کنترل سرعت یک واحد توربین گازی 1.5 مگاواتی بکارگرفته شده است. در مرجع [20] نویسندگان از کنترل کننده PD فازی برای کنترل همزمان سرعت و دمای توربین گازی استفاده نموده اند. در [21] کنترل کننده مبتنی بر PID با استفاده از روشهای مبتنی بر عصبی-فازی طراحی و بکارگرفته شده است.

در طول پنجاه سال گذشته استفاده از توربین های گازی در صنایع تولید توان رشد قابل توجهی داشته است. وزن پایین، فشردگی و حجم کم و همچنین استفاده از چندین سوخت مختلف از جمله دلایل توجه به این توربین های می باشد. توربین های گازی به عنوان یک موتور احتراق داخلی در نظر گرفته می شوند که از انرژی گازی هوا برای تبدیل انرژی شیمیایی سوخت به انرژی مکانیکی استفاده می کنند. اگرچه استفاده از این توربین ها دارای سابقه تاریخی می باشد اما بکارگیری عملی آنها از دهه 1930 و توسط فرانک ویتل[[1]](#footnote-2) و همکارانش برای راه اندازی یک موتور جت آغاز شد. این توربین ها بعد از جنگ جهانی دوم بسرعت توسعه داده شدند. این امر مرهون پیشرفت هایی می‌باشد که در دهه های اخیر در علومی نظیر ایرودینامیک، سیستم های سرمایشی و همچنین ساخت موادی با قابلیت های حرارتی مناسب ایجاد شده است.این توربین ها توانایی فراهم نمودن توان با قابلیت اطمینان و کیفیت بالا را دارا می باشند و در حال حاضر یکی از مهمترین محرک های اولیه ژنراتورهای توان الکتریکی برای تغذیه بارها می‌باشند.

شکل(1) مولفه های اصلی یک توربین گازی معمولی را نمایش می دهد. اجزای اصلی شامل کمپرسور، اتاق احتراق و توربین می باشند. مجموعه این اجزا هسته موتور یا ژنراتور گازی نامیده می‌شوند. کمپرسور و توربین توسطی شفتی به یکدیگر متصل شده اند و با هم چرخش می کنند.

|  |
| --- |
| C:\Documents and Settings\naser\Local Settings\Temporary Internet Files\Content.Word\untitled.png |
| شکل(1)شماتیک کلی توربین گازی به همراه یک شفت |

همانطور که در شکل نمایش داده شده است،هوا به بخش کمپرسور وارد می شود و با عبور از این بخش فشرده خواهد شد. هوای داغ و فشرده به اتاق احتراق وارد می شود. در این بخش سوخت نیز اضافه و سپس ترکیب حاصل آتش زده می شود. گازهای داغ که ناشی از احتراق می باشد به بخش توربین وارد می شود و آن را به چرخش وا می دارد. توربین انرژی لازم را برای چرخاندن روتور مشترک فراهم می کند.

توربین های گازی بر اساس سیکل برایتون[[2]](#footnote-3) مطابق شکل(2) عمل می کند. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود پروسه های مربوط به کمپرسور (1-2) و توربین(3-4) بصورت برگشت ناپذیر و با تغییر انتروپی می باشند. نقاط 4s و 2sموقعیت های ایده ال را نمایش می دهند که به همراه تغییر انتروپی هستند. با صرفنظرکردن از تلفات فشار در فیلترها و اتاق احتراق پروسه های 2-3 و 3-4 را می توان همفشار در نظر گرفت.

|  |
| --- |
| C:\Documents and Settings\naser\Local Settings\Temporary Internet Files\Content.Word\untitled.png |
| شکل(2)سیکل کاری توربین گازی |

گازهای خروجی از سیکل توربین های گازی می توانند برای تولید بخار یا گرما در صنایع و ساختمان ها استفاده نمود. بر اساس چگونگی کاربرد این ادوات می تواند نیروگاه های مختلف را بصورت نیروگاه سیکل ترکیبی[[3]](#footnote-4)، سیکل ترکیبی پیشرفته[[4]](#footnote-5)،

نیروگاه توربین بخار[[5]](#footnote-6)، توربین گازی بهبود یافته[[6]](#footnote-7) و نیروگاه های هیبریدی[[7]](#footnote-8) نامگذاری نمود. با استفاده از تکنولوژی سیکل ترکیبی می توان بازدهی این سیستم ها را از حدود 39 درصد به حدود 65درصد افزایش داد.می توان برای توربین های گازی انواع مختلف زیر را در نظر گرفت:

الف) توربین های میکروگاز که خروجی آنها در حدود 20-350 کیلووات می باشد.

ب)توربین های گازی کوچک برای صنایع کوچک که دارای توان خروجی 2.5-0.5 مگاوات و بازدهی 15-25 درصد هستند.

ج) توربین های گازی ویژه صنایع هوافضا با توان خروجی 2.5-50 مگاوات که بازدهی آنها نیز در حدود 35-45 درصد می‌باشد.

د)توربین های گازی با سیکل کاری سنگین ویژه نیروگاه های بزرگ توان که توان خروجی آنها در حدود 3-480 مگاوات بوده و بازدهی آنها در حدود 30-46درصد می باشد.

در سال های اخیر به علت بکارگیری گسترده توربین های گازی در صنایع مختلف، تلاش زیادی برای مدلسازی انواع مختلف توربین های یادشده توسط محققین صورت گرفته است. با مدلسازی این ادوات سازندگان می توانند عملکرد هر یک از مدل‌ها را ارزیابی و بهینه سازی کنند. علاوه بر این امکان مانیتورینگ برخط توربین ها، تشخیص خطاها و چک نمودن سنسورهای مختلف نیز وجود خواهد داشت.

با وجود یک مدل مناسب از توربین ها این امکان نیز وجود دارد تا طراحان، سیستم های کنترلی بهینه‌ای در جهت افزایش بازدهی این ادوات طراحی و پیاده سازی کنند.هر سیستم کنترلی باید بتواند خروجی های سیستم را اندازه گیری نموده و بر اساس اهداف کنترلی عملیات لازم را برنامه ریزی نماید. علیرغم پیشرفت هایی که در این زمینه انجام شده است، متخصصین توربین های گازی در جست و جوی مدل های دینامیکی دقیقتر و کنترل کننده های سریعتر بوده تا بتوانند عملکرد مناسب توربین را در شرایط بروز اغتشاش ها مختلف تضمین نمایند.

یکی از محدودیت هایی که لازم است تا در توربین های گازی در نظر گرفته شود این حقیقت است که سرعت توربین نباید از محدوده مجاز تجاوز کند چرا که فرکانس توان تولیدی وابسته به آن بوده و تغییر سرعت توربین می تواند به منزله تغییر فرکانس توان خروجی ژنراتورها باشد. از طرفی دیگر لازم است تا دمای احتراق نیز به علت ملاحظات فیزیکی و اقتصادی در محدوده تعریف شده باشد. برای دستیابی به اهداف ذکر شده لازم است تا حفاظت ها و کنترل های مختلفی برای توربین در نظر گرفته شود. سیستم های کنترلی توربین های گازی دارای پارامترهای مختلفی نظیر دمای ورودی-خروجی، سرعت شفت، نرخ تغییر سرعت شفت، شرایط احتراق و خنک سازی و ... می باشد. تمامی پارامترهای فوق می بایست در محدوده مجار خود قرار داشته باشند. برای جلوگیری از صدمه دیدن توربین در هنگام بروز اغتشاش و خارج شدن یکی از متغیرهای فوق از محدوده مجاز لازم است تا تدابیر کنترلی ویژه ای در نظر گرفته شود. معمولا توربین های گازی دربردارنده کنترل های زیر می باشند:

الف)کنترل کننده استارت: این کنترل کننده مسئول استارت و افزایش سرعت توربین می باشد که بصورت کنترل مدار باز چند مرحله ای عمل می کند.

ب) کنترل کننده سرعت: این سرویس کنترل کننده استارت را در هنگام رسیدن سرعت توربین به سرعت نامی از مدار خارج می کند و مسئول تنظیم سرعت ژنراتور قبل از سنکرون سازی و همچنین بسته شدن ژنراتور می باشد.

ج) کنترل کننده بار: کنترل توربین بصورت خودکار از کنترل کننده سرعت به کنترل کننده بار بعد از بسته شدن مدار شکن ژنراتور و سنکرون سازی سیستم انتقال می یابد. کنترل بار مسئول افزایش یا کاهش بار توربین برای فراهم نمودن بار مورد نیاز می‌باشد.

د) کنترل کننده محدودسازی دمای بیشینه توربین: این کنترل کننده بعنوان یک محدود کننده دمای توربین عمل می کند. بعبارتی دیگر این کنترل کننده مسئول کنترل دمای توربین برای جلوگیری از افزایش دمای آن بیش از حد مجاز تعیین شده است.

ه)کنترل کننده محدودسازی بار مکانیکی توربین: این کنترل کننده مسئول این است تا بار توربین (گشتاور چرخشی آن) از حد مجاز خود فراتر نرود.

تمامی سیگنال های کنترلی ناشی از عملکرد کنترل کننده های فوق وارد بخش برنامه ریزی و کنترل توربین می شوند. این بخش مشخص می کند که در هر لحظه از زمان کدام یک از کنترل کننده فعال و کدام یک غیر فعال باشند. در حال حاضر تلاش متخصصین در راستای طرحی کنترل کننده های مناسب ترکیبی برای پیاده سازی اعمال کنترلی فوق می باشد. ازجمله این کنترل کننده ها می توان به کنترل کننده های مبتنی بر منطق فازی، کنترل کننده های مبتنی بر الگوریتم های هوشمند نظیر حرکت جمعی ذرات[[8]](#footnote-9)، کنترل کننده های مبتنی بر شبکه عصبی و همچنین کنترل کننده های صنعتی کلاسیک نظیر PID اشاره نمود.

در طراحي کنترل کننده هاي کلاسيک از معادلات ديناميکي سيستم استفاده مي شود. ولي امروزه استفاده از روش هاي هوشمند اين امکان را فراهم کرده است تا علاوه بر استفاده از معادلات ديناميکي بتوان از داده هاي ورودي و خروجي سيستم و دانش خبره انساني جهت اهداف طراحي استفاده نمود. البته تشريح يک سيستم با استفاده از معادلات ديناميکي بنابر دلايلي مانند پيچيدگي و گستردگي سيستم همواره ميسر نمي باشد و لذا به ناچار مي بايست از منابع ديگرکه حاوي اطلاعات سيستم مي باشند، استفاده نمود.

معمولا سيستم هاي کنترل هوشمند به سيستم هايي اطلاق مي شود که در آنها کنترل کلاسيک با هوش مصنوعي ترکيب شده اند. يکي از روش هاي کنترل هوشمند، کنترل فازي است که عملکرد آن بر اساس منطق فازي مي باشد. امروزه بسياري از کاربردهاي منطق فازي در صنايع، کاربردي از کنترل کننده هاي فازي مي باشد. از جمله مزاياي اين کنترل کننده ها مي توان عملکرد قابل فهم، سادگي طراحي و صرفه اقتصادي آنها را نام برد. از آنجا که اين قبيل کنترل کننده ها بر اساس استراتژي کنترل انساني عمل مي کنند، لذا درک عملکرد آنها، حتي براي کساني که زمينه اي در طراحي کنترل کننده ها ندارند، براحتي امکان پذير مي باشد.

ساده ترين تعريف براي يک سيستم کنترل فازي، سيستمي است که بر اساس دانش انساني عمل مي کند. دانش انساني را مي توان بر اساس مجموعه اي از قوانين زباني فازي بيان کرد. اين قوانين مي توانند دقت تقريبي همانند انسان را توليد نمايند. شکل(3) بلوک دياگرام اجزاي يک کنترل کننده فازي را نمايش مي دهد. در اين شکل اپراتور انساني در هر لحظه از زمان ورودي ها را مشاهده مي کند و عملکردي را در خروجي تعريف مي کند. داده هاي ورودي به بلوک فازي ساز[[9]](#footnote-10) وارد مي شوند و عمليات فازي سازي[[10]](#footnote-11) بر روي آنها انجام مي شود. در اين بلوک کميت هاي فيزيکي با متغيرات زباني همراه با توابع مشخصه مناسب نمايش داده مي شوند.

|  |
| --- |
|  |
| شکل(3)تعريف سيستم کنترل فازي |

سپس متغيرات زباني در قسمت مقدم(قسمت شرطي) مجموعه قوانين فازي بکار برده مي شوند تا قسمت منتج(قسمت نتيجه گيري) حاصل شود. اين اعمال در موتور استنتاج[[11]](#footnote-12) صورت مي گيرد. خروجي اين قسمت با نمايش داده شده است. اين خروجي توسط واحد فازي زدا[[12]](#footnote-13) بکار گرفته مي شود تا خروجي قاطع(عدد حقيقي) حاصل شود.

بنابراين يک کنترکننده فازي شامل سه قسمت اساسي مي باشد:

الف)فازي سازي

ب)موتور استنتاج

ج)فازي زدايي

در شکل(4) بلوک دياگرام يک کنترل کننده فازي معمولي نمايش داده شده است. در اين شکل خروجي سيستم توسط حسگر به مبدل آنالوگ به ديجيتال داده(D/A) شده وسپس عمليات فازي سازي بر روي اين داده ها انجام مي شود. داده هاي فازي توسط موتور استنتاج، تجزيه و تحليل مي شوند و خروجي آن به فازي زدا داده شده و در انتها نيز مبدل ديجيتال به آنالوگ(A/D) عمليات تبديل داده هاي ديجيتال به آنالوگ را انجام مي دهد.

|  |
| --- |
|  |
| شکل(4)نمايش يک کنترل کننده فازي |

در شکل(5) ساختار ديگري از کنترل کننده فازي نمايش داده شده است. در اين ساختار کنترل کننده فازي، براي تنظيم پارامترهاي يک کنترل کننده کلاسيک بکار مي رود. در واقع اين ساختار نشان دهنده يک کنترل کننده تطبيقي فازي مي باشد.

|  |
| --- |
|  |
| شکل(5)سيستم کنترل کننده فازي تطبيقي |

همانطور که می دانیم معمولا ورودي کنترل کننده، خطا مي باشد. اغلب اوقات نياز به ورودي هاي بيشتري براي ايجاد پايگاه قوانين فازي موثر مي باشد. فرض شود که  و يا اينکه  بدان معنا که دماي فرآيند کمتر از ميزان دماي مورد نظر مي باشد(يعني نقاط در شکل(2-6)). اين اطلاعات براي هدايت خروجي سيستم به سمت نقطه مرجع کافي نيست. اگر خروجي در موقعيت  باشد، در اينصورت خروجي کنترل کننده نبايد تغيير کند تا خروجي به سمت مرجع هدايت شود. و اگر خروجي در موقعيت  باشد، عملکرد کنترل کننده بايد بصورتي باشد که جهت خروجي عکس شود. بعبارتي در حالت اول کنترل کننده بايد مقدار فعلي خود را حفظ کند، در حاليکه در حالت دوم مي بايست عمل قبلي خود را معکوس نمايد.

همانطور که مي دانيد اگر يک منحني در ناحيه اي از دامنه خود نزولي باشد، در اينصورت شيب (مشتق اول)منحني در اين ناحيه منفي مي باشد و اگر منحني در ناحيه اي از دامنه خود صعودي باشد، شيب منحني در آن ناحيه مثبت خواهد بود. لذا مشتق خطا مي تواند در تعيين نقاط  مورد استفاده قرار گيرد. بنابراين مشتق خطا بعنوان دومين متغير ورودي (در مثال دما) انتخاب مي شود (البته متغيرات ديگري چون  و يا  نيز مي توانند بعنوان متغيرات کمکي مورد استفاده قرار گيرند با اين شرط که موجب پيچيدگي مسئله نشوند).

ساختار کنترل کننده هاي کلاسيک تناسبي(P)، تناسبي-انتگرالي(PI)، تناسبي-مشتقي(PD) و تناسبي-انتگرالي-مشتقي(PID) که در عمل بصورت (PI+D) بکار رود، درشکل(6) نشان داده شده اند.در عمل براي استفاده از کنترل کننده هاي بالا نياز است تا سيستم مورد نظر از حالت آنالوگ بصورت ديجيتال تبديل شود. جهت اين تبديل، مي توان از فرمول هاي زير استفاده نمود:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| (1) | |  |
| (2) | |  |
| (3) | |  |
|  | | |
| (الف)کنترل کننده PI-D | | |
|  | | |
| (ب)کنترل کننده PID | | |
|  | | |
| (ج)کنترل کننده PD | | |
|  | | |
| (د)کنترل کننده PI | | |
| شکل(6)نمايش کنترل کننده هاي کلاسيک | | |

در اين فرمول ها T زمان نمونه برداري مي باشد.شکل(7) يک کنترل کننده PI ديجيتال را نشان مي دهد.

|  |
| --- |
|  |
| شکل(7)نمايش کنترل کننده ديجيتال PI |

روابط فوق را مي توان براي کنترل کننده PID وPD نيز تکرار نمود. شکل (8) کنترل کننده هاي ديجيتال PD و PI-D را نشان مي دهد.

|  |
| --- |
|  |
| (الف) |
|  |
| (ب) |
| شکل(8)نمايش کنترل کننده هاي (الف)PD و(ب)PI-D |

شکل(9) يک کنترل کننده فازي PD را نمايش مي دهد. همانطور که قبلا نيز اشاره شد، در طراحي يک کنترل کننده فازي سه مرحله مي بايست انجام شود:

1. فازي سازي
2. ايجاد پايگاه قوانين فازي
3. مرحله فازي زدايي

در مرحله فازي سازي دو ورودي در نظر گرفته مي شود: سيگنال خطا و سيگنال تغييرات خطا . خروجي کنترل کننده نيز مي باشد که مي بايست به سيستم اعمال شود. سيگنال هاي ورودي قبل از وارد شدن به کنترل کننده مي بايست به ورودي هاي فازي تبديل شوند(فازي سازي). توابع عضويت بکار گرفته شده، براي ورودي ها و خروجي کنترل کننده در شکل(10) نشان داده شده اند.

|  |
| --- |
| شکل(2-11) |
| شکل(9) کنترل کننده PD فازي |

|  |
| --- |
| شکل(2-12) |
| شکل(10)توابع عضويت ورودي ها و خروجي کنترل کننده فازي PD |

الگوریتم حرکت جمعی ذرات یا PSOبا يك گروه از جواب‌های تصادفي (ذره‌ها) شروع به كار می‌کند، سپس براي يافتن جواب بهينه در فضاي مسئلهبا به روز كردن نسل‌ها به جستجو می‌پردازد. هر ذره به صورت چند بعدي[[13]](#footnote-14) (بسته به طبيعت مسئله) با دو مقدار و  كه به ترتيب معرف وضعيت مكاني و سرعت مربوط به بعد dام از i امين ذره هستند تعريف می‌شود. در هر مرحله از حركت جمعيت، هر ذره با دو مقدار بهترين[[14]](#footnote-15) به روز می‌شود. اولين مقدار، بهترين جواب از لحاظ شايستگي است كه تاكنون براي هر ذره به طور جداگانه بدست آمده است (مقدار شايستگي بايد ذخيره شود) اين مقدار  ناميده می‌شود. مقدار بهترين ديگري كه توسط PSO بدست می‌آید، بهترين مقداري است كه تاكنون توسط تمام ذره‌ها در ميان جمعيت بدست آمده است اين مقدار بهترين كلي[[15]](#footnote-16) است و نام دارد (مقدار شايستگي بايد ذخيره شود). اگر ذره در يك همسايگي مكاني خودش به عنوان جمعيت شركت كند اين مقدار تنها در همان همسايگي محاسبه می‌شود و بهترين محلي[[16]](#footnote-17) است كه نام دارد. بعد از يافتن دو مقدار  و  هر ذره سرعت و مكان جديد خود را طبق روابط زير به روز می‌کند (شکل(11)).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| (4) | |  | |
| (5) | |  | |
| C:\Documents and Settings\naser\Local Settings\Temporary Internet Files\Content.Word\untitled.png | |
| شکل(11) بروزشدن سرعت و موقعیت یک ذره | |

كه در روابط بالا w وزن اينرسي[[17]](#footnote-18)،  وعوامل يادگيري[[18]](#footnote-19) (ضرایب شتاب[[19]](#footnote-20) نيز گفته می‌شوند) و  يك عدد تصادفي در بازه  است. براي جلوگيري از واگرایي الگوريتم، مقدار نهایی سرعت هر ذره محدود می‌شود.

رابطه شامل جمع سه عبارت است كه عبارت اول نسبتي از سرعت جاري ذره است و نقش آن شبيه مومنتوم در شبكه هاي عصبي است و به همراه عبارت دوم كه متناسب با تفاضل مكان پرنده با بهترين موقعيت قبلي آن و عبارت سوم كه تفاضل مكان آن با بهترين جواب در ميان كل جمعيت است سبب هدايت سرعت جديد ذره به سمت جواب بهينه می‌شوند.

 ، و از پارامترهاي PSO هستند و همگرایي وابسته به مقدار اين پارامترهاست. معمولاًرا برابر و عددی بين 1.5 تا 2 قرار می‌دهند. همگرایی شدیداًَ به مقدار وابسته است و بهتر است به صورت ديناميك تعريف شود (در بازه 0.8 تا 0.2)، بدين ترتيب كه به صورت خطي در طي روند تكامل جمعيت، كاهش يابد. در ابتدا بايد بزرگ باشد تا امكان يافتن جواب‌های خوب در همان مراحل اوليه فراهم شود و در مراحل پاياني كوچك بودن‌ همگرایی بهتري را سبب می‌شود. می‌توان اين كاهش را به صورت يكي از روابط زير تعريف كرد:

|  |  |
| --- | --- |
| (6)  که |  |
| (7) |  |

PSO كه با استفاده از اين روابط جمعيت خود را به روز كند PSO پايه[[20]](#footnote-21) يا استاندارد نام دارد. نحوه تأثیر روابط فوق بر موقعيت هر ذره در شكل (11) به تصوير كشيده شده است.

شرط توقف را می‌توان به چند صورت تعريف كرد، مثلاً بر روي حداكثر تعداد تكرار، يا اينكه ماكزيمم تغيير در بهترين شايستگي براي تعداد معيني از حركت جمعيت(s)، كمتر از تلورانس تعريف شده باشد.

|  |  |
| --- | --- |
| (8) |  |

يا در يك مسئله طبقه بندي[[21]](#footnote-22) می‌توان بر روي حداقل طبقه بندی‌های نادرست[[22]](#footnote-23) شرط توقف گذاشت.

براط طراحی جبران کننده با استفاده از الگوریتم PSO لازم است تا به نکات زیر توجه شود:

1. تغییرات سرعت از طریق معادلات خطی سازی شده بدست می اید
2. هر یک از ذرات لازم است تا شامل متغیرات مربوط به کنترل کننده باشند. این پنج متغیر عبارتند از پارامترهای کنترل کننده پیشفاز-پسفاز که البته می توان برای هر یک از این متغیرات یک محدوده تغییرات در نظر گرفت.
3. تابع هزینه برای بهینه سازی بصورت تابع در نظر گرفته می شود.
4. طراحی باید در مهمترین نقطه کاری توربین صورت گیرد تا توربین توانایی عملکرد موثر در تمامی نقاط کار را داشته باشد.

همانطور که قبلا نیز اشاره شد، امروزه کنترل کننده هاي هوشمند بسيار مورد توجه قرار گرفته اند وطراحان به دنبال استراتژي ساده و سريع جهت آموزش اين کنترل کننده ها مي باشند. البته انتخاب نحوه آموزش کنترل کننده هاي هوشمند، به شناخت ما از سيستم و رفتار آن بستگي دارد. یکی از این کنترل کننده ها، کنترل کننده های مبتنی بر شبکه عصبی می باشند. جهت آموزش کنترل کننده هاي عصبي چهار لم وجود دارد که در ادامه شرح داده مي شوند.

الف)لم Inverse Plant (يا I.P.L(

در اين لم، کنترل کننده طوري آموزش مي بيند که رفتار آن دقيقا عکس سيستم باشد. زماني از اين لم استفاده مي شود که اولا تناظر يک به يک بين ورودي و خروجي سيستم اصلي وجود داشته باشد و ثانيا پارامترهاي سيستم بدون تغيير باشند. به عبارت ديگر مقاوم بودن کنترل کننده در اين روش، ضعيف مي باشد.

ب)لم Through Plant (يا T.P.L)

در اين لم از ميان سيستم تحت کنترل ، اطلاعات لازم جهت آموزش کنترل کننده عصبي، جمع آوري مي شود. آموزش اين نوع کنترل کننده کند مي باشد چرا که با توجه به ويژگي هاي آن براي همگرايي روند آموزش مي بايست سرعت يادگيري را بسيار کوچک انتخاب کرد.

ج)لم Through Model (يا T.M.L)

در اين لم، اطلاعات لازم براي آموزش کنترل کننده، از ميان مدل سيستم(شناسايي کننده) به کنترل کننده داده مي شود. اين روش آموزش نسبت به لم دوم سرعت بيشتري دارد. اما بايد توجه داشت که در سيستم هاي پيچيده، طراحي شناسايي کننده بسيار دشوار و بعضا غير ممکن است.

د)لم Reinforcement (يا R.L)

اين لم، از اطلاعات تقريبي وابسته به نحوه عملکرد سيستم، جهت آموزش کنترل کننده و بدون نياز به شناختي از ديناميک سيستم استفاده مي شود. تا کنون اين لم به عنوان کلي ترين روش طراحي(بدون دانستن اطلاعاتي از ديناميک سيستم) شناخته شده بود، ولي سرعت يادگيري با اين روش بسيار کند است. با تصحيح لم سوم مي توان بدون شناخت ديناميکي از سيستم و با سرعت يادگيري بالا کنترل کننده ها عصبي را آموزش داد. در ادامه به معرفي اين نوع کنترل کننده پرداخته مي شود.

ه) **لم Through Model تصحيح شده**

شکل(12) نمايش ساده اي از استراتژي آموزش را نشان مي دهد.

براي آموزش ساختار عصبي کنترل کننده، در هر گام آموزش، لازم است تغييرات پارامترهاي آن  جهت کمينه سازي تابع معيار J محاسبه شود. در استراتژي T.M.L قبل از انجام دوره آموزشي بلوک کنترل کننده، لازم است سيستم بطور کامل شناسايي شود. براي اين منظور از ساختار شبکه عصبي ديگري استفاده شده است.

|  |
| --- |
| (2-11) |
| شکل(12)نمايش ساده اي از آموزش کنترل کننده بر اساس T.M.L |

شکل(13) نحوه آموزشي اين ساختار را جهت مدل کردن سيستم، نشان مي دهد. بعد از يکسان شدن رفتار مدل شبکه عصبي با رفتار سيستم اصلي، لازم است داشته باشيم:

|  |  |
| --- | --- |
| (9) |  |

بعد از اين مرحله مي توان کنترل کننده عصبي را آموزش داد و بجاي استفاده از ، از مقدار استفاده کرد.

|  |
| --- |
| (2-12) |
| شکل(13)بلوک دياگرام آموزش ساختار عصبي جهت مدل کردن سيستم |

با انتخاب تابع معيار شبکه کنترل کننده بصورت خواهيم داشت( مقدار مرجع مورد نظر،  خروجي سيستم واقعي و  خروجي شناسايي کننده عصبي مي باشد ):

|  |  |
| --- | --- |
| (10)  (11) |  |

حال براي آموزش کنترل کننده،  محاسبه مي شود. در انتها نيز تغيير پارامترهاي شبکه عصبي محاسبه مي شوند:

|  |  |
| --- | --- |
| (12)  (13) |  |

در T.M.L تصحيح شده ابتدا در يک فاصله زماني کوتاه، کنترل کننده آموزش نيافته به مانند شکل(14) به سيستم سيگنال اعمال مي کند. لازم به يادآوري است که در اين شکل،  مقدارخطا جهت آموزش شناسايي کننده و  مقدارخطا جهت آموزش کنترل کننده عصبي مي باشد. از اطلاعات عددي ورودي-خروجي بدست آمده از سيستم در اين زمان، جهت آموزش ساختار عصبي استفاده مي شود و اين ساختار تا آنجا آموزش مي يابد که رفتار سيستم را در اين محدوده زماني و در حد مطلوب دنبال کند. لذا با اين عمل بدليل مقطعي بودن شناسايي کننده، سرعت انجام اين مرحله بسيار بالا مي رود. کنترل کننده شبکه عصبي نيزاز طريق شبکه عصبي شناسايي کننده آموزش مي بيند.

|  |
| --- |
| (2-13) |
| شکل(14)آموزش کنترل کننده هوشمند بدون شناسايي کامل سيستم |

همانطور که می دانیم برای پایدارسازی فرکانس و ولتاژ الکتریکی در یک سیستم قدرت لازم است تا مدل نسبتا دقیقی از سیستم در دسترس باشد. تا کنون مدل های مختلف دینامیکی و ریاضیاتی برای توربین گازی پیشنهاد شده است. در این پایان نامه مدل پیشنهادی روئن[[23]](#footnote-24) به علت سادگی و کاربردی بودن آن انتخاب می شود. سپس برای کنترل سرعت توربین روشهای کنترلی مختلف نظیر کنترل فازی، کنترل مبتنی بر PSO، کنترل عصبی و کنترل PID بطور جداگانه طراحی و بکارگرفته می شوند. سپس برای بهبود پاسخ سرعت توربین یک کنترل کننده ترکیبی مبتنی بر چهار کنترل کننده فوق پیشنهاد می شود. پاسخ سیستم با بکارگیری کنترل کننده پیشنهادی مقایسه می شوند و میزان موثر بودن استراتژی کنترلی پیشنهادی محاسبه خواهد شد.

1. Frank Whittle [↑](#footnote-ref-2)
2. Brayton [↑](#footnote-ref-3)
3. Combined Cycle Power Plant(CCPP) [↑](#footnote-ref-4)
4. Advanced Combined Cycle Power Plant(ACCPP) [↑](#footnote-ref-5)
5. Steam Turbine Plant(STP) [↑](#footnote-ref-6)
6. Recuperative Gas Turbine(RGP) [↑](#footnote-ref-7)
7. Hybrid Power Plant(HPP) [↑](#footnote-ref-8)
8. Particle Swarm Optimization(PSO) [↑](#footnote-ref-9)
9. Fuzzifire [↑](#footnote-ref-10)
10. Fuzzification [↑](#footnote-ref-11)
11. Inference engine [↑](#footnote-ref-12)
12. Defuzzifire [↑](#footnote-ref-13)
13. Multi dimensional [↑](#footnote-ref-14)
14. Best value [↑](#footnote-ref-15)
15. Global best [↑](#footnote-ref-16)
16. Local best [↑](#footnote-ref-17)
17. Inertia weight [↑](#footnote-ref-18)
18. Learning factors [↑](#footnote-ref-19)
19. Acceleration coefficients [↑](#footnote-ref-20)
20. Basic PSO (BPSO) [↑](#footnote-ref-21)
21. Classification [↑](#footnote-ref-22)
22. Miss-classified [↑](#footnote-ref-23)
23. Rowen [↑](#footnote-ref-24)