

## ادامه فصل هفتم

### پایداری و کنترل سیستم های قدرت

## Power System Stability & Control

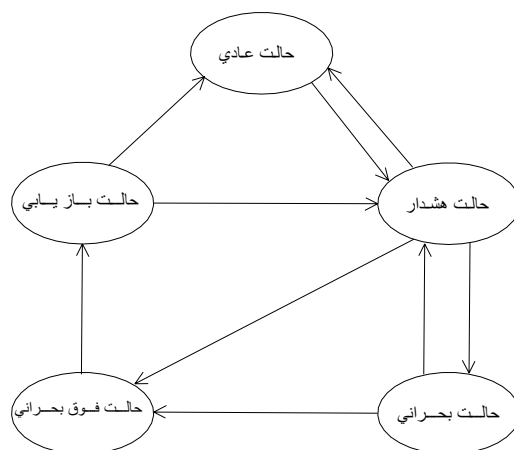
#### پایداری میان مدت و بلند مدت

پایداری میان مدت و پایداری بلند مدت، مربوط به پاسخ سیستم های قدرت به آشفتگی های شدید، است. آشفتگی های شدید، اغتشاش هایی هستند که به انحراف های فرکانس، ولتاژ و توان های انتقالی منجر می شوند که این انحراف ها چنان بزرگ یا ماندنی هستند که اقدامات فرایند های گند، سیستم های حفاظتی و کنترل هایی را که در مطالعات مرسوم پایداری گذرا مدل نشده اند، بر میانگیزانند.

این فصل ماهیت پاسخ سیستم را، هنگامی که تحت آشفتگی های شدید قرار گرفته باشد، نشان می دهد و نیاز به تمایز بین پایداری میان مدت و بلند مدت را بررسی می کند. همچنین در این فصل ملاحظات مدلسازی و روش های تحلیلی شبیه سازی پاسخ دینامیکی بلند مدت توصیف و مثال هایی توضیحی و رهنمودهایی برای افزایش توانمندی سیستم های قدرت در مواجهه با این آشفتگی ها بیان شده است.

#### ۱-۱۶ ماهیت پاسخ سیستم به اغتشاش های شدید

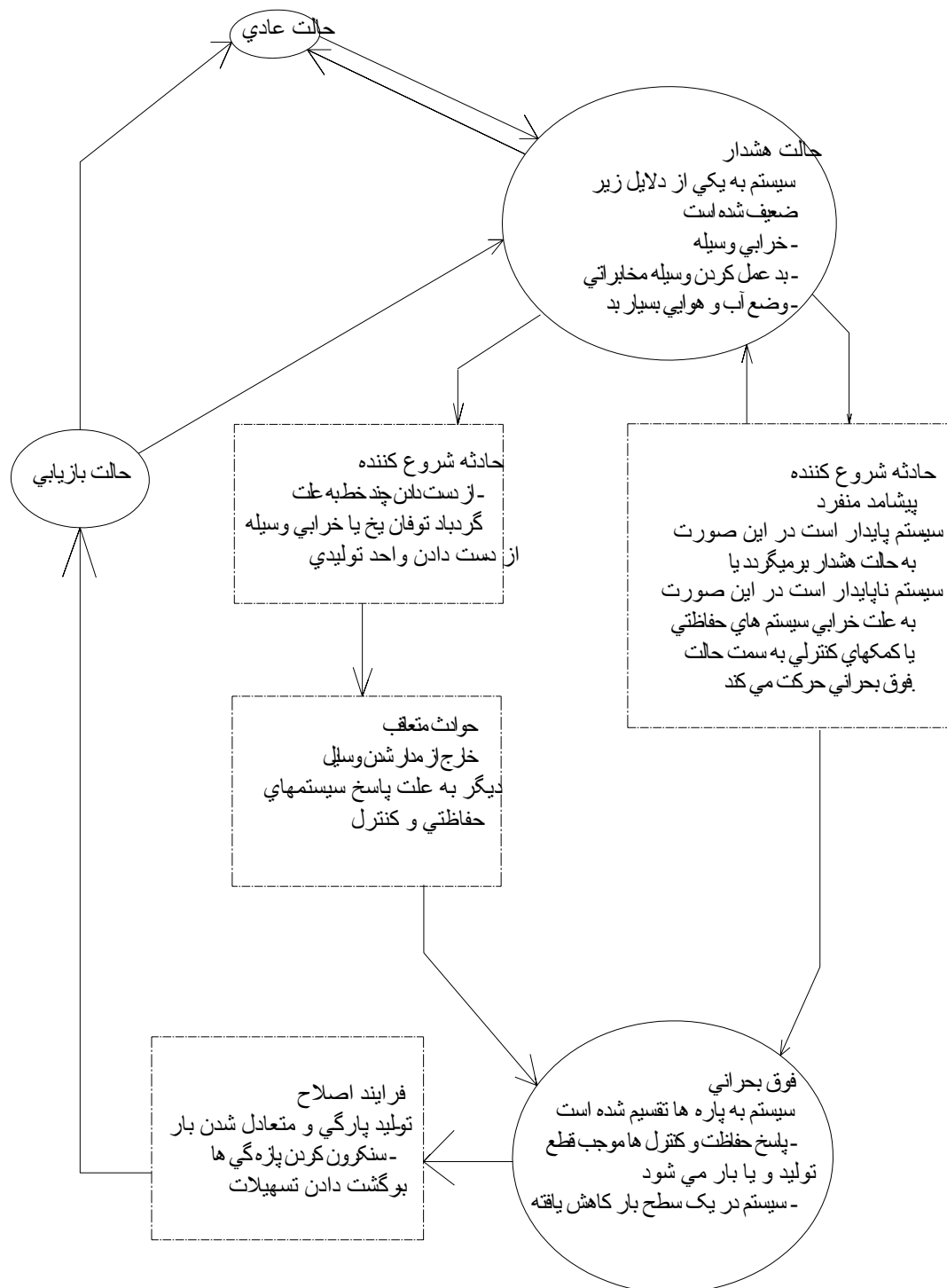
در مطالعه ماهیت پاسخ سیستم به اغتشاش های بزرگ، به تصویر در آوردن وضعیت کاری سیستم بر حسب پنج حالت نشان داده شده در شکل ۱-۱۶ سودمند است. توصیفی از این حالت ها و راه های انتقال از یک حالت به حالت دیگر، در فصل اول (بخش ۱-۳)، آورده شده است. این فصل بر وقایع و شرایط سیستمی تمرکز دارد که با حالت فوق بحرانی مرتبط است.



شکل ۱۶-۱ حالت های عمل سیستم قدرت

بررسی اغتشاش های واقعی سیستم [۱-۶] نشان می دهد که الگویی اساسی در شکل ۱۶-۲ شرح داده شده است که در آن وقایعی که ممکن است منجر به انتقال از حالت هشدار به حالت فوق بحرانی شود، نشان داده شده است. حادثه آغازگر می تواند اغتشاشی با مبداء طبیعی، بد عمل کردن یک وسیله، یا نتیجه عملکرد نیروی انسانی باشد. سیستم های مدرن قدرت به گونه ای طراحی و راه اندازی می شوند که در مواجهه با پیشامدهای احتمالی با احتمال وقوع بیشتر، عملکردی مطمئن داشته باشد (برای توصیف پیشامدهای احتمالی طراحی فصل ۱ را ببینید). در اکثر موارد، سیستم های قدرت می توانند در پیشامدهای احتمالی منفرد و بسیاری از پیشامدهای احتمالی را که با هم رخ می دهند، تحمل کنند. سیستم های حفاظتی و کنترل برای جلوگیری از انتشار اغتشاش به سایر قسمت های شبکه عمل می کنند.

لیکن گاهی، ترکیب غیر عادی حوادث باعث می شود که قسمتی از سیستم به هم پیوسته، به طور کامل جدا شده و یک یا چندپاره الکتریکی را تشکیل دهد. حادثه آغازگر معمولاً پیشامدی است که از موارد در نظر گرفته شده در معیار طبیعی طراحی، شدیدتر است: برای نمونه، خارج شدن چندین خط انتقال در اثر گردبادی سخت؛ بریزش توفان یخ؛ یا بد عمل کردن وسیله مخابراتی. حوادث ناشی از حادثه آغازگر، با تحت فشار قرار دادن بیشتر سیستم، باعث توقف های زنجیره ای غیر قابل کنترل می شود. ممکن است در طی وضعیت پیش آمده تغییرات وسیعی در فرکانس (از ۵۸ تا ۶۳ هرتز) و نیز در ولتاژ (از ۵۰٪ تا ۱۲۰٪ مقدار قبل از اغتشاش) به وجود آید. بدین ترتیب سیستم می تواند به حالت فوق بحرانی نیز تنزل موقعیت پیدا کند، که نتیجه آن از دست دادن قسمت های اعظم بار سیستم است. به طور کلی، اعمال منترلی و سیستم های حفاظتی، پاسخ سیستم را در طی این وضعیت، تحت شعاع خود قرار می دهند. در برخی موارد، این موقعیت با هماهنگی ضعیف بین سستم های حفاظتی و کنترل، تشدید می شود. در اینجا باید به منظور نجات هر چه بیشتر سیستم از فروپاشی کامل، از عمل کنترل اضطراری استفاده کرد.



شکل ۱۶-۲ انتقال حالت های سیستم حین آشفتگی های شدید

## پاسخ سیستم به حالت پارگی

پاسخ سیستم به وضعیت پارگی، در اصل یک گذرای فرکانس مداوم است. بنابر این، کنترل سرعت و پاسخ های متعاقب توربین و سیستم های تغذیه انرژی نقش اساسی در تعیین ماهیت عملکرد دینامیکی سیستم ایفا می کنند. اغلب، وضعیت با شرایط ولتاژ بالا یا پایین ترکیب می شود.

**پاره های کم تولید.** در یک پاره گی با مجموع تولید اولیه کمتر از مجمع بار، فرکانس کاهش پیدا می کند. اگر ذخیره چرخان کافی در داخل پارگی وجود داشته باشد، فرکانس سیستم در چند ثانیه به نزدیکی مقدار عادی باز می گردد، اما اگر تولید کافی با توانایی افزایش ریع خروجی در دسترس نباشد، فرکانس ممکن است به مقادیری برسد که به وسیله رله های حفاظتی کمبود فرکانس به خارج از مدار کردن واحد های تولید حرارتی منجر شود و بدین ترتیب وضعیت را تشدید کند. بنابر این، از اغلب طراحی های بار زدایی کمبود فرکانسی، برای کاهش بار وصل شده به سطحی که بتواند به طور رضایت بخشی به وسیله تولید تأمین گردد، استفاده می شود.

در نتیجه، در یک پاره کم تولید، گذرای اولیه به پاسخ های ذخیره چرخان تولید و رله های بار زدایی وابسته است. ظرف چندین ثانیه، حداقل مقدار فرکانس به دست خواهد آمد. پس از این، نقطه، پاسخ فرکانسی سیستم به مشخصه های توربین بستگی خواهد داشت.

**پاره های پر تولید.** در پاره ای با تولید اضافی اولیه، فرکانس بالا خواهد رفت، و سیستم کنترل سرعت با کاهش توان مکانیکی تولید شده حاصل از توربین ها، پاسخ خواهد داد. در عمل، نیروگاه ها در این حالت، یک «بار برداری جزئی» را تجربه می کنند. عملکرد پاره و توانایی آن در پایدار سازی، بدون از دست دادن بار به توانایی نیروگاه ها در تحمل بار برداری جزئی، بستگی دارد. این موضوع در بخش ۱۶-۳ بیشتر توضیح داده خواهد شد.

**تعاادل توان راکتیو.** عملکرد سیستم در داخل پارگی، تحت تأثیر تعادل توان راکتیو نیز قرار دارد. ممکن است عدم تطابق زیاد در مجموع توان راکتیو تولید شده و جذب شده به شرایط ولتاژ بالا یا پایین منجر شود و ممکن است محدود کننده های فوق و یا زیر تحریک گاورنر و کنترل ها فعال گردند. در بدترین حالت، پاسخ رله های حفاظتی، به خارج کردن واحد های تولید منجر می شود. برای نمونه، یک پارگی با خطوط و یا کابل های FHV ی کم بار، ممکن است باعث جذب مقادیر بالایی از توان راکتیو به وسیله ژنراتورها شود و اگر این موقعیت بسرعت اصلاح نشود، این احتمال وجود دارد که به خارج شدن واحد ها (به وسیله حفاظت بی تحریکی) منتهی گردد.

**تجهیزات جنبی نیروگاه.** بروز تغییرات، بخصوص کاهش، در ولتاژ و فرکانس منبع تغذیه ممکن است باعث تنزل عملکرد آن دسته از تجهیزات جنبی نیروگاه شود که با موتورهای القایی کار می کنند. برای نمونه، پمپ های گردش آب، آب حاصل از میعان، تخلیه گرم کن، و آب تغذیه با موتورهای القایی کار می کنند. تنزل عملکرد این پمپ ها ممکن است به از دست دادن خلا کندانسور، درجه حرارت بالای خروجی توربین و

جریان ناکافی آب تغذیه و یا آب حاصل از میعان منجر شود. بنابر این، بسیاری از نیروگاه های هسته ای، به رله های کمبود ولتاژ و کمبود فرکانس مجهز می شوند تا نیروگاه را در حالت ولتاژ های پایین ( به طور نوعی، ۷۰٪ مقدار نامی) +و یا حالت فرکانس های پایین (به طور نوعی، ۵۹,۲ هرتز) از مدار خارج کنند. معمولا موتورهای نیروگاه، در مدارهای راه اندازی و حفاظتی از رله ها و کنتاکتورهای الکترومغناطیسی استفاده می کنند. پاسخ این کنتاکتورها و رله ها به افت های شدید یا طوفانی ولتاژ می توان مونورها را قطع کند.

### بازیابی سیستم

هنگامی که پارگی ها به وضعیت حالت دائمی می رسند، اپراتورها اقداماتی اتخاذ می کنند تا سیستم به هم پیوسته را باز یابی کنند. این اقدامات شامل تنظیم تولید و بار در هر پارگی، دوباره سنکرون کردن پارگی ها و باز یابی واحدهای تولیدی، باره و سایر امکانات است که به هنگام بروز اغتشاش، از مدار خارج شده اند. راه اندازی و بارگذاری مجدد واحد های حرارتی با چندین عامل محدود می شود، و ممکن است که توان کامل برای چندین ساعت وجود نداشته باشد. اگر واحدهای حرارتی بسرعت برای بارگذاری مجدد در دسترس باشند، می توان باز یابی توان را به میزان چشم گیری سرعت داد. بنابر این، بسیاری از شرکت ها روش «عمل به بار خانگی» را اختیار کرده اند. در زیر چند روش مختلف استفاده شده برای این کار آورده شده است:

(الف) در هنگام قطع، آتش را خاموش کنید و برای مدت تقریبا ۲۰ دقیقه به ذخیره حرارتی دیگ بخار تکیه کنید.

(ب) همانند «الف». لیکن آتش را مجددا روشن کنید و اجازه دهید دیگ بخار با مشعل های مشتعل کار کند.

(ج) در بار بسیار پایین یکی از روش های خاص آتش را اعمال کنید.

(د) دیگ بخار را در توان کامل رها کنید یا توان را به حداقل کاهش دهید. بخار اضافی را در جو رها سازید و از ذخیره آب تغذیه (معمولا برای چند ساعت) استفاده کنید.

(ه) دیگ بخار را در بار حداقل رها کرده، بخار اضافی را به طور میان بُر به داخل کندانسور وارد کنید.

### ۱۶-۲ تفاوت بین پایداری میان مدت و بلند مدت

همان طور که در فصل دوم اشاره شد، عبارت های پایداری میان مدت و پایداری بلند مدت، واژه های جدیدی در مراجع پایداری سیستم قدرت هستند. معرفی این عبارت ها، به دلیل نیازی بود که در برخورد با مسائل مرتبط با پاسخ دینامیکی سیستم های قدرت به آشفتگی های شدید، احساس می شد.

پایداری بلند مدت، آنگونه که در مراجع ۱۱ تا ۱۵ تعریف شده است، فرض می کند ک نوسان های توان سنکرون کننده بین ماشینی میرا شده و در نتیجه آن یکنواختی فرکانس سیستم است. در اینجا، تمرکز بر پدیده های گذر و طولانی تر همراه با آشفتگی های مقیاس بزرگ سیستم و عدم تطابق های مداوم حاصل بین تولید و مصرف توان حقیقی و راکتیو می باشد و عواملی چون دینامیک دیگ بخار واحدهای حرارتی، دینامیک

کانال و آبگذر واحدهای آبی، کنترل خود کار تولید، حفاظت ها و یا کنترل های سیستم انتقال نیروگاه، اشباع ترانسفورمر، و اثر غیر اسمی بر بارها و شبکه، به احتمال زیاد بر پایداری بلند مدت نقش خواهند داشت.

عبارت پایداری میان مدت در مراجع ۱۴ و ۱۵ معرفی شده است که انتقال بین پاسخ های گذرا و پاسخ های بلند مدت را نشان می دهد. در پایداری میان مدت، مرکز توجه نوسان هاس توان سنکرون کننده بین ماشین ها، برخی از پدیده های گذر، و احتمالا انحراف های بزرگ ولتاژ یا فرکانس است.

از این تعاریف مشاهده می شود، تفاوت چندانی بین پایداری میان مدت و بلند مدت وجود ندارد. آنچه که پایداری بلند مدت را متمایز می کند فرض یکنواخت بودن فرکانس سیستم است و اینکه دینامیک های سریع، قابل توجه نیستند. این فرضیات در صورتی سودمندند که ابزار تحلیلی، آنها را برای پیاده کردن شبیه سازی لازم داشته باشد؛ لیکن با نرم افزارهای امروزی که روش های پیشرفته مبتنی بر پراکندگی و روش های موثر انتگرال گیری ضمنی را بکار می گیرند، شبیه سازی چارچوب های بلند زمان با مدل سازی دینامیک سریع، کمتر موجب نگرانی است.

تا آنجا که ملاحظات مدل سازی مورد نظر باشد، تفاوت تعریف شده مشخصی بین چارچوب زمانی میان مدت و چارچوب زمانی بلند مدت وجود ندارد. برای دوره های زمانی پس از دوره گذرا، باید انتخاب مدل های کاربردی در شبیه سازی، بر اساس پدیده های مورد تحلیل و نمایش سیستم به کار گرفته شده (به جاب طول واقعی شبیه سازی)، باشد. برای نمونه ممکن است نادیده گرفتن دینامیک های دیگ بخار یا کنترل فرایند بخار در شبیه سازی «میان مدت» برای شبیه سازی اغتشاش هایی که برای آنها توابع محرک این دینامیک ها کوچک هستند، قابل قبول باشد. لیکن، نادیده گرفتن این دینامیک های گند برای اغتشاش های شدیدتری، که ممکن است حفاظت های مربوط به متغیرهایی مانند فشارهای بخار را تحریک کند، می توان اثر فوق العاده ای بر نتایج شبیه سازی داشته باشد. تجربیات بدست آمده از چندین شرکت، نیاز به نمایش نوسان های بین ماشینی و گذراهای سریع مرتبط به سیستم های تحریک را در مطالعات پایداری بلند مدت مشخص کرده است. از این رو تفاوت بین پایداری بلند مدت و میان مدت را نمی توان به طور رضایت بخشی بر مبنای ثابت چارچوب زمانی و یا ملاحظات مدل سازی بنا کرد. با توجه به این نکات، بهترین روش برای دسته بندی مسائل پایداری مرتبط با آشفستگی های شدید سیستم، حذف ایده میان مدت به عنوان یک دسته جدا و استفاده از بلند مدت برای شامل کردن کلیه مطالعات پس از چارچوب زمانی گذرا می باشد.

در این صورت پایداری بلند مدت به صورت «توانایی سیستم قدرت در دستیابی به یک تعادل قابل قبول کاری پس از بروز اغتشاش شدید در سیستم» تعریف می شود، که ممکن است سیستم را به چندین زیر سیستم تقسیم کرده یا نکند. چارچوب زمانی موزد نظر، به انداء کافی بیش از دوره گذراست تا علاوه بر دینامیک های سریع، اثر دینامیک های گند سیستم های خودکار کنترل و حفاظتی را نیز شامل شود. ممکن است شبیه سازی های بلند مدت، اغتشاش های شدید فراتر از پیشامدهای احتمالی عادی طراحی را نیز شامل شود، پیشامدهایی که سبب شود تاسیستم قدرت به چندین پاره مجزای متوالی تجزیه شود، به طوری که ژنراتورها

در هر پاره، به صورت سنکرون باقی بمانند. پایداری در این حالت، بدین ترتیب تعریف می شود که آیا هر پارها حداقل اختلال در سرویس ها به یک تعدل قابل قبول کاری می رسد یا خیر. در بدترین وضعیت، حفاظت های سیستمی و واحدی ممکن است به طور ترکیبی شرایط را خراب کنند و منجر به فروپاشی بخش یا تمام پاره شوند.

به طور کلی، مسائل پایداری بلند مدت با پاسخ های غیر کافی وسایل، هماهنگی ضعیف تجهیزات کنترلی و حفاظتی، یا ذخیره ناکافی توان حقیقی یا راکتیو مرتبط می باشد.

زمان های مشخصه فرایندها و وسایلی از قبیل کنترل های ژنراتورها و حفاظت ها، تا چندین دقیقه متناظر با پاسخ های وسایلی از قبیل سیستم های تغذیه انرژی توربین ها و تنظیم کننده های ولتاژ بار است. از دیدگاه تحلیلی، برنامه های پایداری بلند مدت، برنامه های تعمیم یافته پایداری گذراست که در آنه توانایی تنظیم مرحله زمانی انتگرالگیری بر حسب گذرهای غالب، ایجاد شده است.

یکی از کاربردهای شبیه سازی پایداری بلند مدت، که مورد توجه روزافزون نیز قرار گرفته استف تحلیل دینامیکی پایداری ولتاژ ( که در فصل ۱۴ بررسی شد ) است، که در آن لازم است اثر تغییر دهنده یک ترانسفورمر، حفاظت فوق تحریک ژنراتور و حدود توان راکتیو، و بارهای ترموستاتی، شبیه سازی شوند. در این حالت، نوسان های بین ماشینی، چندان مهم نیستو گذراهای سیستم منبع تغذیه انرژی نیز ممکن است حیاتی نباشد. لیکن، باید برای نادیده گرفتن برخی از دینامیک های سریع با احتیاط عمل کرد.

### ۱۶-۳ پاسخ نیروگاه حین آشفته گی های شدید

۱۶-۳-۱ نیروگاه های حرارتی

توانایی نیروگاه ها در پشت سر گذاشتن بار برداری جزئی، از اهمیت فراوانی در حداقل کردن اثر آشفته گی شدید و باز یافتن سریع کاری عادی نیروگاه برخوردار است. مراجع ۱۸ تا ۲۱ پاسخ های نیروگاه ها را به بار برداری های جزئی و مسائل تجربه شده در برخورد موفقیت آمیز با چنین آشفته گی هایی توصیف می کنند.

مراجع ۲۲، که به وسیله یک گروه کاری از IEEE تهیه شده است، رهنمودهایی را برای بهبود پاسخ نیروگاه به بار برداری های جزئی ارائه می کند. خلاصه ای از این رهنمودها در زیر آورده شده است:

الف) کنترل کلی نیروگاه؛ برای تحمل باربرداری جزئی، کنترل کلی نیروگاه باید برای تطابق با توان الکتریکی خروجی بی درنگ توان ورودی ( جریان سوخت ) را کم کند. از آنجا که در این کاهش تأخیرهای زمانی وجود دارند، باید توان ورودی به طور موقت، کاهش زیادی در توان خروجی ایجاد کند. بهترین منبع برای تعیین میزان کاهش توان ورودی، توان خروجی واقعی است.

ب) کنترل دیگ بخار؛ بدون سیستم کنارگذر توربین، بار برداری جزئی از نظر دیگ بخار تزویج شده است، نیز لازم است. لیکن، دیگ های بخار یکبار عبور اغلب دارای سیستم های کنارگذر فوق حرارت ده و

یا توربین با ظرفیت محدود برای حفاظت رله های کوره و کمک به کنترل فشار هستند. از این توانمندی کنار گذر می توان برای ایجاد سهولت در آهنگ کاهش سوخت و جریان آب تغذیه استفاده کرد.

برای دیگ خای نوع طبله ای، باید برای کاهش جریان آب تغذیه به تأخیر انداخته شود زیرا پاسخ بلافاصله سطح آب طبله، با جریان بخار افزایش حاصل در فشار طبله، کاهش می یابد. به علاوه، برای به دست آوردن سطح بالاتری از آب ذخیره در سطح توان پایین تر اضافه تغذیه الزامی می باشد. کنترل مناسب سطح آب، بخصوص برای تغییرات بزرگ در جریان بخار، مهم است. به منظور تقویت توانایی کنترل سطح آب طی یک بار برداری جزئی، باید به افزایش موقت بازه بین حدود عمل کننده بالا و پایین سطح آب، توجه کرد یا عمل کننده را برای جریان شدید آب تغذیه به تأخیر انداخت.

برای هر کدام از انواع دیگ بخار به طور کلی تأخیر در کاهش جریان هوا مطلوب است زیرا اثر سرمایشی جریان هوای اضافی عقب افتادگی های پاسخ جریان سوخت را جبران می کند. لیکن، باید ورود هوا به مشعل های در حال کار نسبت به جریان سوخت کنترل شود تا احتراق پایدار، حفظ شود.

برای پمپ های تغذیه ای که به وسیله توربین های بخار کمکی کار می کنند، بستن شیرهای میان راهی در جریان بخار، وقفه ایجاد می کنند، بنابر این لازم است که از یک منبع بخار جایگزین و یا از پمپ هایی که به وسیله موتور کار می کنند استفاده شود.

ج) کنترل – توربین ژنراتور (توربوژنراتور)؛ کنترل های اضافه سرعت توربین به گونه ای طراحی شده اند تا اضافه سرعت پیش آمده ناشی از باربرداری کامل را به حدود ۱٪ زیر نقاط تنظیم رله اضافه سرعت، محدود کنند. بدهی است که بدین ترتیب از عمل کردن اضافه سرعت حین باربرداری جزئی جلوگیری می شود.