



اعمال محدودیت سوخت زمستانه در تحلیل و توزیع بهینه بار بین بلوک‌های یک نیروگاه سیکل ترکیبی

حبیب رجیبی مشهدی

h_mashhadi@um.ac.ir

استادیار گروه برق

دانشکده مهندسی - دانشگاه فردوسی مشهد

مصطفی رجیبی مشهدی

mo_ra18@um.ac.ir

دانشجوی دکتری برق - دانشگاه فردوسی مشهد

دفتر بازار برق - شرکت برق منطقه‌ای خراسان

واژه‌های کلیدی: محدودیت سوخت، توزیع بار، نیروگاه سیکل ترکیبی، الگوریتم ژنتیک، برنامه ریزی تولید

چکیده

محدوبی نبوده و منحنی هزینه افزایشی آن، اکیداً افزایشی نیست. لذا برنامه ریزی تولید این گونه واحدها به روش کلاسیک با محدودیتهایی روبه روست. ضمن آنکه استفاده از دو نوع سوخت، حالت‌های مختلفی را برای نیروگاه سیکل ترکیبی ایجاد می کند که بر پیچیدگی مسئله خواهد افزود. از اینرو در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسئله توزیع بهینه بار در نیروگاههای سیکل ترکیبی حل شده است.

نتایج حاصله از اعمال این محدودیت نشان میدهد که بسته به محدودیتهای داخلی و خارجی سوخت هر نیروگاه سیکل ترکیبی، توزیع بار بین بلوکهای آن متفاوت خواهد بود و فروشندگان برق این نیروگاهها، بایستی با توجه به توزیع بهینه بار بلوکهای سیکل ترکیبی و محدودیت سوخت به گونه ای قیمت دهی کنند که حداکثر سود را با کمترین هزینه سوخت کسب نمایند.

در این مقاله محدودیت سوخت روزانه در فصل زمستان در توزیع بار بهینه بین بلوکهای یک نیروگاه سیکل ترکیبی مورد مطالعه قرار می گیرد. این محدودیت هر ساله با توجه به محدودیت انتقال گاز و وضعیت شبکه برق توسط شرکت توانیر و شرکت مدیریت شبکه برق ایران به نیروگاههای دارای محدودیت اعلام می گردد. نیروگاهها بایستی با توجه به محدودیت سهمیه گاز مصرفی و سوخت مایع روزانه، تولید داشته باشند. از طرفی نیروگاهها نیز در استفاده از نوع سوخت دارای محدودیتهای از جمله امکان تعویض سوخت و یا استفاده از سوخت مخلوط می باشند. لذا در این مقاله، محدودیت سوخت به دو محدودیت های خارج و داخل نیروگاه تفکیک شده و هر مورد فرمول بندی شده است. به علاوه منحنی هیت ریت یک بلوک سیکل ترکیبی منحنی

۱- مقدمه

هر ساله با شروع فصل سرد و افزایش مصرف گاز شهری، برخی از نیروگاههای کشور با مشکل افت فشار گاز رو به رو می شوند. وزارت نفت (شرکت ملی گاز) مجبور است به منظور تأمین گاز شهروندان، سهمیه روزانه نیروگاههای کشور را در این مدت، مشخص و محدود نماید. به علاوه تأمین سوخت دوم که برای نیروگاههای سیکل ترکیبی گازوئیل می باشد، نیز با محدودیتهایی روبه روست، از اینرو وزارت نیرو با شروع فصل سرد، این سهمیه بندی و محدودیت سوخت را به نیروگاههای دارای محدودیت ابلاغ نموده و به گونه ای برنامه ریزی می نماید که در تأمین برق مطمئن مصرف کنندگان وقفه ای صورت نگیرد.

از اینرو بایستی برنامه ریزی تولید واحدهای نیروگاهی با لحاظ نمودن محدودیت سوخت انجام پذیرد تا اولاً هزینه مصرف سوخت به حداقل برسد و ثانیاً میزان تولید نیروگاهها بر اساس سهمیه سوخت آنها صورت پذیرد.

برخی از نیروگاههای سیکل ترکیبی کشور نیز از جمله نیروگاههایی بودند که در سال گذشته با محدودیت سوخت مواجه شدند. این نیروگاهها با توجه به آرایش (ترکیب) و میزان محدودیت نوع سوخت می توانند از آرایش و میزان تولید و سوخت مصرفی مختلفی برخوردار باشند. هر بلوک یک نیروگاه سیکل ترکیبی واحد مورد مطالعه شامل دو واحد گازی و یک واحد بخار است. تولید واحد بخار این نیروگاه وابسته به میزان تولید واحدهای گازی است و منظور از آرایش یک بلوک نیز حالتیهای مختلف در مدار بودن واحدهای گازی و بخار مربوط به آن بلوک است.

از طرفی منحنی هیت ریت یک بلوک سیکل ترکیبی با یک نوع سوخت منحنی محدبی نبوده و لذا برنامه ریزی تولید این گونه واحدها به روش کلاسیک با محدودیتهایی روبه روست. به علاوه مسئله استفاده از سوختهای چندگانه حالتیهای مختلفی را برای نیروگاه سیکل ترکیبی ایجاد می کند که بر پیچیدگی حل مسئله خواهد افزود. لذا در این مقاله سعی شده ابتدا مسئله برنامه ریزی تولید واحدهای سیکل ترکیبی با محدودیت سوخت مدلسازی شده و سپس با استفاده از

الگوریتم ژنتیک که توانمندی مناسبی برای حل مسائل غیر محدب دارد، توزیع بهینه بار بین بلوکهای یک نیروگاه سیکل ترکیبی انجام شود. از اینرو در بخش دوم این مقاله به ویژگیهای مورد نیاز مسئله برنامه ریزی تولید واحدهای سیکل ترکیبی اشاره شده و در بخش سوم محدودیت سوخت از دیدگاه واحد نیروگاهی و نیروگاه توصیف شده است. بخش چهارم به قابلیت های الگوریتم ژنتیک در حل مسائل بهینه سازی اشاره شده و در بخش پنجم مسئله برنامه ریزی تولید فرمول بندی می شود. در بخش ششم مسئله با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده و بالاخره در بخش هفتم مطالب جمع بندی و نتیجه گیری شده است.

۲- ویژگیهای واحدهای سیکل ترکیبی

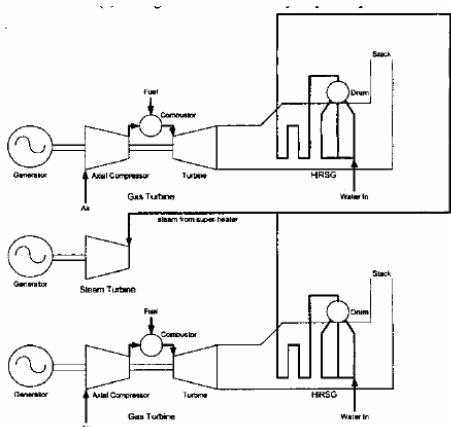
۲-۱- کلیات

یکی از مهمترین مباحث در سیستم قدرت، بهره برداری سیستم قدرت با کمترین هزینه است. برنامه ریزی تولید که شامل حل مسئله درمدار قرارگرفتن واحدها و مسئله پخش بار اقتصادی است، یکی از موضوعات مهم در این زمینه به شمار می رود. هدف از حل این مسئله، حداقل سازی هزینه سیستم با تخصیص تولید حقیقی به هر واحد نیروگاهی برای پاسخگویی به نیاز مصرف شبکه است. به عبارت دیگر حل مسئله درمدار قرار گرفتن واحدها، آرایش روزانه واحدها را مشخص خواهد کرد و پخش بار اقتصادی که یک مسئله بهینه سازی است، میزان تولید واحدهای در مدار قرار گرفته را معلوم خواهد نمود [۱].

مطالعات پخش بار اقتصادی با استفاده از رابطه هزینه تولید هر واحد نیروگاهی در توانهای تولیدی آن صورت می گیرد. به جهت ساده سازی فرمول بندی، در حالت معمولی توابع هزینه واحدهای نیروگاهی خطی و درجه دوم در نظر گرفته می شود. هزینه تولید همان هزینه های متغیر واحدهای نیروگاهی است که عمدتاً متأثر از هزینه سوخت است.

اما در آزمون کارائی^۱ واحدها معمولاً از منحنی هیت ریت استفاده می شود که رابطه عکس با منحنی کارائی واحدها دارد.

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

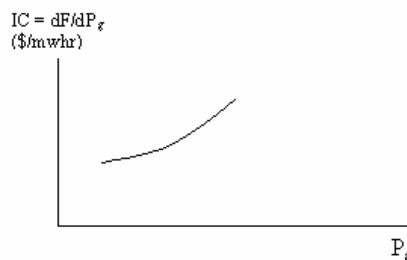


شکل ۲- بلوک سیکل ترکیبی با دو واحد گازی و یک واحد بخار

۲-۳- منحنی هزینه تولید واحد سیکل ترکیبی

همانطور که در زیر بخش ۱-۲- اشاره شد، در اکثر موارد منحنی هزینه افزایشی تولید یک واحد تولید گازی یا بخار، منحنی اکیداً صعودی است. در نتیجه برای هر میزان تولید، یک هزینه افزایشی متناظر خواهیم داشت. اما در واحدهای سیکل ترکیبی، منحنی هزینه افزایشی تولید، منحنی اکیداً صعودی نبوده و می‌توان میزان تولیدهای مختلفی را یافت که هزینه افزایشی برابری داشته باشند. در شکل‌های ۳ و ۴، منحنی هزینه تولید و منحنی هزینه افزایشی تولید برای یک واحد سیکل ترکیبی نمونه آمده است. ضمن آنکه منحنی هزینه تولید در حالت‌های مختلف یک بلوک سیکل ترکیبی، می‌تواند متفاوت باشد. شکل ۵ منحنی هزینه افزایشی یک نیروگاه سیکل ترکیبی نمونه را در چهار حالت مختلف نشان می‌دهد. از این رو برآزش منحنی هزینه تولید نیروگاه سیکل ترکیبی با معادله درجه دوم از دقت مناسبی برخوردار نبوده و معمولاً با معادلات مرتبه بالاتر از جمله با معادله درجه سوم آن را تقریب می‌زنند. با توجه به موارد فوق، روش‌های بهینه‌سازی کلاسیک نمی‌توانند دستیابی به نقطه بهینه سرتاسری را برای حل مسئله پخش بار اقتصادی نیروگاه سیکل ترکیبی تضمین کنند. چراکه در این روش‌ها در هزینه‌های افزایشی برابر، تولید واحدها تا تأمین نیاز مصرف افزایش یافته و بیم آن خواهد رفت تا این روش‌ها در پاسخ بهینه محلی متوقف شوند.

با مشتق‌گیری از منحنی ورودی - خروجی، منحنی افزایشی هیت ریت بدست خواهد آمد. در صورتیکه هزینه سوخت واحد در منحنی افزایشی هیت ریت ضرب شود، منحنی هزینه افزایشی^۱ (IC) که در پخش بار اقتصادی نقش مهمی دارد، بدست خواهد آمد. در شکل ۱ منحنی هزینه افزایشی یک واحد نمونه رسم شده است.



شکل ۱ - منحنی هزینه افزایشی یک واحد نمونه

در صورتیکه منحنی ورودی - خروجی برحسب یک معادله درجه دوم یا هرگونه منحنی محدب و پیوسته ای تخمین زده شود، منحنی نرخ افزایشی هزینه، اکیداً افزایشی است (نظیر شکل ۱).

۲-۲- آرایش واحدهای سیکل ترکیبی

در شکل ۲، یک بلوک شامل دو واحد گازی و بخار را نشان می‌دهد. تولید واحد بخار این نیروگاه وابسته به میزان تولید واحدهای گازی است و منظور از آرایش یک بلوک نیز حالت‌های مختلف در مدار بودن واحدهای گازی و بخار است. با توجه به آنکه بلوک سیکل ترکیبی مورد مطالعه شامل دو واحد گازی و یک واحد بخار است، آرایش و یا حالت‌های مختلفی به لحاظ در مدار بودن واحدهای گازی و بخار خواهد داشت. لازم به توضیح است که در آگروز(دودکش) هر واحد گازی یک بویلر تعبیه شده و در نتیجه سیستم دارای دو بویلر بوده که بخار سوپر هیت شده در هر دو بویلر، توربین بخار واحد گازی را به چرخش در خواهد آورد. در جدول شماره یک، حداقل و حداکثر تولید مجاز یک واحد سیکل ترکیبی در هر حالت آمده است. به عبارت دیگر حدود حداقل و حداکثر تولید مجاز همراه با حالت‌های مختلف از یک بلوک سیکل ترکیبی تغییر خواهند کرد.

1. Incremental Cost

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۱- حدود حداقل و حداکثر تولید مجاز یک بلوک سیکل ترکیبی نمونه در حالت‌های مختلف

State	GTA	GTB	ST	Pmin	Pmax
1	1	0	0	PminA	PmaxA
2	0	1	0	PminB	PmaxB
3	1	1	0	PminA+ PminB	PmaxA+PmaxB
4	1	0	1/2	PminCC1	PmaxA+1/2PmaxS
5	0	1	1/2	PminCC1	PmaxB+1/2PmaxS
6	1	1	1/2	PminCC1+pminA	PmaxA+PmaxB+1/2PmaxS
7	1	1	1	2PminCC1	PmaxA+PmaxB+PmaxS

محدودیت سوخت

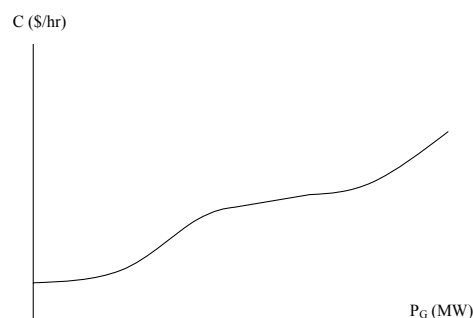
این محدودیت معمولاً به شکل روزانه و در برخی موارد با افت فشار گاز به صورت ساعتی نیز اعمال می‌شود. از طرفی در هر شرایطی برای هر واحد نیروگاهی، امکان مانور تعویض سوخت وجود ندارد. لذا می‌شود این محدودیت را به دو محدودیت خارج و داخل نیروگاه تفکیک نمود.

۱-۳- محدودیت سوخت روزانه

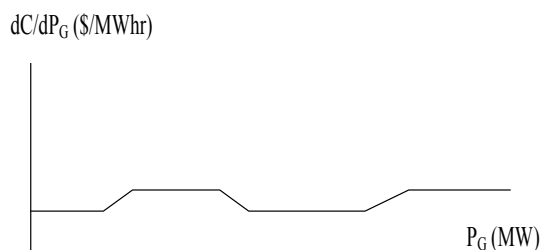
همانطور که در بخش اول ذکر شد با شروع فصل سرد و افزایش مصرف گاز شهری، شرکت توانیر و شرکت مدیریت شبکه برق ایران با توجه به برنامه ریزی مصرف سوخت کشور و توافقات انجام شده با مسئولین وزارت نفت، میزان سوخت مصرفی روزانه گاز و همچنین مازوت و گازوئیل نیروگاه‌های دارای محدودیت را مشخص می‌کند. به طبع با توجه به راندمان واحدها، قابلیت تولید انرژی این واحدها نیز با توجه به سهمیه سوخت مشخص خواهد شد.

در سال ۸۴ بیش از ۱۰ نیروگاه با این محدودیت مواجه شدند و به لحاظ قوانین بازار برق ایران و مصوبات هیأت تنظیم بازار برق ایران، در زمره واحدهای انرژی محدود قرار گرفتند. متناظر با این محدودیت میزان انرژی تولیدی روزانه این واحدها در کم باری و بار متوسط و بار اوج مشخص می‌شد [۳]. البته میزان تولید واحدها در هر ساعت، با توجه به قیمت دهی نیروگاهها در بازار برق در آرایش بازار برق و محدودیت انرژی مشخص شده، به دست می‌آید.

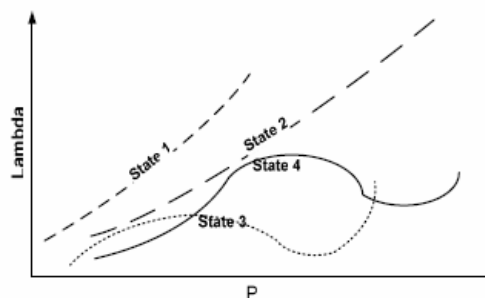
به هر حال این مطلب برای فروشندگان برق با نیروگاههای سیکل ترکیبی مطرح بود که در صورتی که بخواهند که



شکل ۳- منحنی هزینه برای واحد سیکل ترکیبی نمونه



شکل ۴- منحنی هزینه افزایشی برای یک واحد سیکل ترکیبی



شکل ۵- منحنی هزینه افزایشی برای چهار حالت مختلف از یک

بلوک سیکل ترکیبی نمونه [۲]

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

الگوریتم ژنتیک

تاکنون روشهای مختلفی برای حل مسئله پخش بار اقتصادی استفاده شده است [۱]. این روشها را می‌شود در سه گروه ذیل گنجانید:

۱. روشهای یکایک شماری
۲. روشهای کلاسیک نظیر روشهای برنامه ریزی پویا و روشهای مبتنی بر گرادیان و روش نیوتن رافسون و برنامه ریزی خطی و یا برنامه ریزی درجه دوم
۳. روشهای هوش مصنوعی نظیر روش مبتنی بر الگوریتم ژنتیک، سرد شدن تدریجی فلزات، حرکت جمعی پرندگان، روشهای مبتنی بر سیستم ایمنی روشهای یکایک شماری به لحاظ حجم محاسبات روشهای کارایی نبوده و روشهای کلاسیک نیز علاوه بر نیازمندی به محاسبات طولانی برای شبکه‌های بزرگ، برای نیروگاههای سیکل ترکیبی با محدودیتهای روبه‌رو هستند. به همین لحاظ الگوریتم‌های تکاملی نظیر الگوریتم ژنتیک کاربردی‌تر خواهند بود.

الگوریتم ژنتیک در حل مسئله پخش بار اقتصادی، برای اولین بار در سال ۱۹۹۱ در یک تز فوق لیسانس توسط آقای David C. Walters زیر نظر آقای 'Gerald B. Sheble' انجام شده است. نتایج بدست آمده از این تز در مقاله ای در مرجع [۵] در سال ۱۹۹۳ منتشر شده است. در ادامه این تحقیقات، چند مقاله نیز با بهبود مدل‌سازی از روش الگوریتم ژنتیک استفاده نموده‌اند. روش الگوریتم ژنتیک روش شناخته شده ای مبتنی بر اصل انتخاب طبیعی است که از توضیح بیشتر در مورد آن خودداری می‌شود. در این مقاله نیز از نرم افزار مطلب ویرایش 7.1 که دارای جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک می‌باشد، استفاده شده است.

۵- فرمول بندی مسئله برنامه ریزی تولید

هدف از حل مسئله برنامه ریزی تولید یک نیروگاه یا چند بلوک نیروگاه سیکل ترکیبی، حداقل سازی هزینه سوخت مصرفی هر نیروگاه با توجه به محدودیت‌های مسئله از جمله محدودیت سوخت است.

محدودیت سوخت را رعایت کنند و کمترین هزینه تولید را داشته باشند، کدام حالت و از چه نوع سوختی برای هر حالت استفاده نمایند. این فروشندگان با رسیدن به این پاسخ، قادر خواهند بود استراتژی قیمت دهی واحدهای خود را مشخص نمایند.

۲-۳- محدودیت واحد نیروگاهی در استفاده از سوختهای مختلف

معمولاً اغلب واحدهای نیروگاهی این قابلیت را ندارند که در هر شرایطی بتوانند از سوخت‌های مختلفی استفاده نمایند. برخی از مشکلات نظیر تعویض سوخت در مرجع [۴] آمده است.

این محدودیت با توجه به نوع واحد و تکنولوژی آن به انواع مختلفی قابل تفکیک است. موارد ذیل نمونه‌هایی از این محدودیت است.

الف) واحدهایی که امکان استفاده از دو سوخت را به طور همزمان (مخلوط) ندارند و در طی یک دوره قادر به تعویض سوخت نمی‌باشند.

ب) واحدهایی که امکان استفاده از دو سوخت را به طور همزمان (مخلوط) ندارند و لیکن در طی یک دوره قادر به تعویض سوخت می‌باشند.

ج) واحدهایی که امکان استفاده از دو سوخت را به طور همزمان (مخلوط) داشته و میزان استفاده از هر سوخت درصد مشخص و ثابتی دارد.

د) واحدهایی که امکان استفاده از دو سوخت را به طور همزمان (مخلوط) و میزان هر سوخت با درصد متغیری را دارند.

ه) واحدهای که در طی یک دوره یا بیش از آن امکان تعویض سوخت را ندارند. (ریسک مانور)

از اینرو چنانچه حل مسئله برنامه ریزی تولید برای کل واحدهای موجود در شبکه سراسری مد نظر باشد، بایستی با توجه به تکنولوژی واحدها در استفاده از سوخت‌های چندانگانه، تمام محدودیت‌ها را لحاظ نمود. در این مقاله از محدودیت ج برای حل مسئله استفاده شده است.

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

۵-۱- فرضیات مسئله

متناسب با واقعیتهای موجود در مسئله برنامه ریزی تولید و بدون آنکه در کلیات تحقیق خدشه ای وارد شود، می توان برخی فرضیات را در مسئله، به منظور ساده سازی اعمال نمود. الف) هر واحد از دو سوخت می تواند در آن واحد استفاده کند. ب) امکان تعویض سوخت در هر دوره وجود داشته باشد. با توجه به آنکه ساعت کم باری ۸ ساعت و ساعت بار متوسط ۱۲ ساعت و ساعات اوج ۴ ساعت می باشد و طول هر دوره برابر ساعات تعریف شده می باشد، امکان انجام این مانور دور از انتظار نیست. ج) با توجه به مدت هر دوره، از لحاظ نمودن قید محدودیت حداقل زمان توقف و روشن بودن واحدها صرف نظر شده است. د) محدودیت مصرف هر سوخت و انرژی روزانه مورد نیاز متناسب با آن اعلام می گردد. ه) در صورتیکه محدودیت اعلام شده باشد، اما نیروگاه دارای ذخیره و مشکل افت فشار گاز نشود، باز هم محدودیت لحاظ شده و فرض بر آن است که نیروگاه اجازه استفاده از سوخت بیشتر از مقدار ابلاغ شده را ندارد.

۵-۳- محدودیتهای لحاظ شده

الف) محدودیت تولید مجاز

این محدودیت حداقل و حداکثر تولید مجاز هر آرایش از یک بلوک سیکل ترکیبی که در جدول شماره ۱ آمده است را تأمین می کند.

$$P_{\min i} \leq p_i \leq P_{\max i} \quad (2)$$

ب) محدودیت پاسخگویی به بار

$$\sum_{i=1}^m P_i(h) = P_{Dh} \quad (3)$$

$$\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^m P_i(h) = \sum_{h=1}^H P_{Dh} \quad (4)$$

این محدودیت، تقاضای بار از بلوک سیکل ترکیبی در طی هر دوره مطابق رابطه (۳) و یا تأمین بار در یک شبانه روز مطابق رابطه (۴) می باشد. $P_i(h)$ تولید واحد i ام در دوره h ام و P_{Dh} تقاضای انرژی در دوره h ام می باشد. معمولاً دوره ها توسط شرکت مدیریت شبکه به کم باری و عادی و پرباری یا صبح و ظهر و پیک تفکیک می شوند.

ج) محدودیت سوخت واحد

در این مسئله فرض شده است که واحدهای گازی بلوک سیکل ترکیبی درصد مشخصی از سوخت مخلوط را می توانند داشته باشند. درصدهای مشخص از هر نوع سوخت که توسط سیستم کنترل قابل انتخاب می باشند، در جدول شماره ۲ آمده است.

۵-۲- تابع هدف

فرمول بندی بر اساس حداقل سازی تابع هزینه چند بلوک سیکل ترکیبی است.

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1} C_{ij} (P_i, X_i). \quad (1)$$

در رابطه (۱)، i تعداد بلوک سیکل ترکیبی و j تعداد آرایش ممکن برای بهره برداری از هر بلوک سیکل ترکیبی است. C_{ij} تابع هزینه بلوک i در حالت j ، در تولید P_i و حالت سوخت استفاده شده X_i می باشد.

جدول ۲- درصدهای استفاده از سوخت مشخص یک واحد گازی

State	liquid	gas
۱	۱۰۰	۰
۲	۷۰	۳۰
۳	۶۰	۴۰
۴	۵۰	۵۰
۵	۴۰	۶۰
۶	۳۰	۷۰
۷	۰	۱۰۰

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

- ۶. حداکثر تعداد نسلها: ۱۰۰۰
- ۷. شرط توقف: ۲۰ ثانیه یا ۵۰ بار توقف در یک پاسخ و یا حداکثر تعداد نسلها

ورودی های برنامه :

- ۱. میزان تقاضای برق روزانه (مجموع در سه دوره کم باری و بار متوسط و بار اوج یا صبح و ظهر و پیک). این تقاضا به طور نمونه در سال ۸۴ برای نیروگاه نیشابور برابر ۱۰۶۵۸ مگاوات در نظر گرفته شده است [۳].
- ۲. تابع هزینه تولید هر بلوک سیکل ترکیبی در هر حالت و وضعیت سوخت (مطابق ضمیمه مقاله در نظر گرفته شده است). توضیح اینکه برای حل یک مسئله واقعی نیاز به منحنی یا تابع هزینه تولید واقعی نیروگاه مربوطه می باشد.
- ۳. حدود حداکثر و حداقل تولید مجاز هر بلوک سیکل ترکیبی در هر حالت (در این مقاله مطابق جدول ضمیمه در نظر گرفته شده است).
- ۴. محدودیت سوخت گاز و مایع در شبانه روز :
به طور نمونه در سال ۸۴ ، برای نیروگاه نیشابور این محدودیت برای سوخت گاز مصرفی ۲ میلیون متر مکعب و برای سوخت گاز ۳۵۴ هزار لیتر بوده است [۳]. اما در این مقاله مقادیر متفاوتی لحاظ شده است.
- ۵. محدودیت سوخت هر بلوک سیکل ترکیبی :
حالت‌های مختلفی می توان برای آن در نظر گرفت که از جمله می توان بلوک شماره ۱ تنها گاز سوز و بلوک شماره ۲ با قابلیت سوخت مخلوط و بلوک ۳ تنها مایع سوز و یا حالت‌های دیگری باشد.

خروجی های برنامه :

- ۱. تولید هر بلوک سیکل ترکیبی در هر دوره (یا روزانه)
- ۲. آرایش هر بلوک سیکل ترکیبی در هر دوره (یا روزانه)
- ۳. میزان سوخت مصرفی در هر دوره (یا روزانه)
- ۴. منحنی های بهترین مقدار و متوسط تابع برازندگی

ضمن آنکه استفاده از سوخت مخلوط در تولید بیش از ۳۵ درصد بار برای هر واحد گازی امکان پذیر است. به عبارت دیگر در تولید بیش از P_{min} گازی که حدود ۵۰ مگاوات برای هر واحد منظور شده، امکان تعویض سوخت وجود دارد.

(د) محدودیت سوخت روزانه

این محدودیت، سهمیه سوخت مصرفی روزانه نیروگاه را مشخص می کند. از آنجاکه دو نوع سوخت گاز و گازوئیل در واحدهای سیکل ترکیبی مورد استفاده قرار می گیرد، دو محدودیت زیر برای واحدها در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^m FL_i(PL_h) \leq Fll \quad (5)$$

$$\sum_{h=1}^H \sum_{i=1}^m FG_i(Pg_h) \leq Flg \quad (6)$$

که در آن FL_i و FG_i به ترتیب تابع مصرف سوخت گازوئیل و گاز بلوک i ام می باشد که در طی دوره H بایستی از سهمیه یا میزان محدودیت‌های مشخص شده سوخت گازوئیل Fll و سوخت گاز Flg کمتر باشد.

۶- حل مسئله توزیع بهینه بار بین بلوک های سیکل

ترکیبی با محدودیت سوخت با استفاده از الگوریتم ژنتیک

با توجه به تابع هدف و محدودیت‌های مسئله با استفاده از نرم افزار مطلب ویرایش 7.1 که دارای جعبه ابزار الگوریتم ژنتیک می باشد، مسئله بهینه سازی حل شده است.

پارامترهای مهم و قابل تنظیم الگوریتم ژنتیک به شرح ذیل انتخاب شده اند:

- ۱. اندازه جمعیت : ۵۰
- ۲. تابع انتخاب : تصادفی یکنواخت^۱
- ۳. تولید نسل جدید با احتمال نخبه گرائی^۲ ۰/۸
- ۴. جهش^۳ با احتمال تابع گوسی
- ۵. جابجائی^۴ single point

- 1. Random uniform
- 2. Elitism
- 3. Mutation
- 4. Cross over

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

اجرای برنامه:

اطلاعات مورد نیاز اعم از تابع هزینه و نرخ و ارزش حرارتی سوخت و محدودیتهای تولید هر حالت در ضمیمه مقاله آمده است. پس از اعمال محدودیت ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسئله برای شرایط مختلفی حل شد که سه مورد آن در این مقاله آمده و به اختصار توصیف شده است.

شرایط الف:

در این حالت وضعیت واحدها به لحاظ سوخت به شرح ذیل می باشد:

- بلوک اول: آماده با سوخت گاز

- بلوک دوم: آماده با سوخت مخلوط با سهم مشخص ۵۰٪ گاز و ۵۰٪ مایع
 - بلوک سوم: آماده با سوخت مایع
- همانطور که در جدول ۳ ملاحظه می شود، بلوک یک که آماده با سوخت گاز می باشد، در تمام شبانه روز در مدار بوده و بلوک دو در ساعات عادی و اوج با ترکیبهای مشخص و بلوک ۳ تنها در ساعات اوج در مدار قرار گرفته است. در این جدول آرایش هر بلوک مطابق با حالت‌های مشخص شده در جدول یک نیز آمده است. در جدول ۴ میزان سوخت مصرفی گاز و مایع ناشی از اجرای برنامه آمده است.

جدول ۳- محدودیتهای و خروجی های برنامه مطابق با شرایط الف

title	min-load(MW)	med- load((MW)	max-load(MW)	daily load(MWH)
hours	8	12	4	24
constraint	210	420	800	9920
block CC1	210	300	300	6480
fuel state	7	7	7	—
combination	7	7	7	—
block CC2	0	120	299	2636
fuel state	4	4	4	—
combination	0	5	7	—
block CC3	0	0	201	804
fuel state	1	1	1	—
combination	0	0	6	—
sum of blocks	210	420	800	9920

جدول ۴ - محدودیت و مصرف سوخت روزانه مطابق با شرایط الف

title	daily gas consume(m ³)	Daily liq. Consume (lit.)
hours	24	24
constraint	3.50E+06	5.50E+05
real	3.13E+06	5.02E+05

شرایط ب:

در این شرایط وضعیت واحدها به لحاظ سوخت به شرح ذیل در نظر گرفته شده است.

- بلوک اول: آماده با سوخت گاز

- بلوک دوم: آماده با سوخت گاز
 - بلوک سوم: آماده با سوخت مایع
- همانطور که در جدول ۵ ملاحظه می شود، بلوک یک که آماده با سوخت گاز می باشد، در تمام شبانه روز در مدار بوده و بلوک دو در ساعات عادی و اوج با ترکیبهای مشخص و بلوک ۳ تنها در ساعات اوج در مدار قرار گرفته است. در جدول فوق، آرایش هر بلوک مطابق با حالت‌های مشخص شده در جدول یک نیز درج شده است. در جدول ۶ نیز میزان سوخت مصرفی گاز و مایع ناشی از اجرای برنامه آمده است.

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

جدول ۵- محدودیتها و خروجی های برنامه مطابق با شرایط ب

title	min-load(MW)	med- load((MW)	max-load(MW)	daily load(MWH)
hours	8	12	4	24
constraint	210	420	800	9920
block CC1	210	300	300	6480
<i>fuel state</i>	7	7	7	-
<i>combination</i>	7	7	7	-
block CC2	0	120	300	2640
<i>fuel state</i>	4	4	4	-
<i>combination</i>	0	5	7	-
block CC3	0	0	219.19	876.76
<i>fuel state</i>	1	1	1	-
<i>combination</i>	0	0	6	-
sum of blocks	210	420	819.19	9996.76

همانطور که در جدول ۷ ملاحظه می شود، بلوک یک که آماده با سوخت گاز می باشد، در تمام شبانه روز در مدار بوده و بلوک دو در ساعات عادی و اوج با ترکیبهای مشخص و بلوک ۳ در ساعات عادی و اوج با سوخت مایع در مدار قرار گرفته است. در جدول ۷، آرایش هر بلوک مطابق با حالتیهای مشخص شده در جدول یک نیز آمده است. در جدول ۸ میزان سوخت مصرفی گاز و مایع ناشی از اجرای برنامه آمده است.

در شکل ۶ نیز نحوه همگرایی منحنی برآزندگی و تولید هر واحد در ساعات اوج شرایط ج آمده است.

جدول ۶ - محدودیت و مصرف سوخت روزانه مطابق با شرایط الف

title	daily gas consume(m ³)	Daily liq. Consume (lit.)
hours	24	24
constraint	3.50E+06	5.50E+05
real	3.33E+06	2.10E+05

شرایط ج :

این حالت وضعیت واحدها به لحاظ سوخت مطابق شرایط ب می باشد با این تفاوت که محدودیت سوخت گاز روزانه به ۳ میلیون متر مکعب در روز کاهش یابد.

جدول ۷- محدودیتها و خروجی های برنامه مطابق با شرایط ج

title	min-load(MW)	med- load((MW)	max-load(MW)	daily load(MWH)
hours	8	12	4	24
constraint	210	420	800	9920
block CC1	210	300	300	6480
<i>fuel state</i>	7	7	7	-
<i>combination</i>	7	7	7	-
block CC2	0	70	300	2040
<i>fuel state</i>	4	4	4	-
<i>combination</i>	0	1	7	-
block CC3	0	50	219.19	1476.76
<i>fuel state</i>	1	1	1	-
<i>combination</i>	0	1	6	-
sum of blocks	210	420	819.19	9996.76

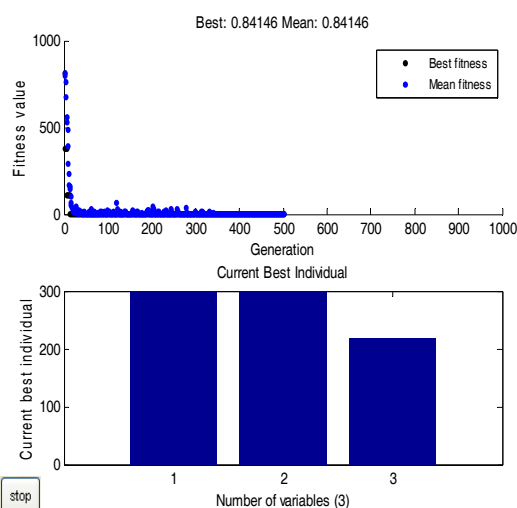
بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

دهی برای فروشندگان برق واحدهای انرژی محدود به نحوی که در آن محدودیت سوخت روزانه و تکنولوژی واحدها به لحاظ استفاده از سوخت‌های مختلف در آن منظور شده باشد، از اهمیت زیادی برخوردار است. از این رو در این مقاله اولاً محدودیت سوخت، به محدودیت‌های خارج و داخل نیروگاه تفکیک شده و ثانیاً فرمول بندی شده است. محدودیت سوخت خارجی نیروگاه با سهمیه سوخت روزانه تحویلی به نیروگاه و محدودیت سوخت داخلی نیروگاه نیز با توجه به قابلیت‌های تعویض سوخت و استفاده از سوخت مخلوط مشخص شده است.

از طرفی با توجه به آنکه یک بلوک نیروگاه سیکل ترکیبی، شامل دو واحد گازی و یک واحد بخار است، آرایش و یا حالت‌های مختلفی به لحاظ در مدار بودن واحدهای گازی و بخار خواهد داشت. ضمن آنکه منحنی هیت ریت یک بلوک سیکل ترکیبی، منحنی محدبی نبوده و منحنی هزینه افزایشی آن نیز اکیداً افزایشی نیست. لذا برنامه ریزی تولید یا توزیع بهینه بار بین بلوک‌های سیکل ترکیبی به روش کلاسیک با محدودیت‌هایی روبه روست. علاوه بر آن استفاده از دو نوع سوخت، حالت‌های مختلفی را برای نیروگاه سیکل ترکیبی ایجاد می‌کند که بر پیچیدگی مسئله خواهد افزود. از اینرو در این مقاله از الگوریتم ژنتیک که قابلیت مناسبی در رسیدن به جواب بهینه سرتاسری دارد، در حل مسئله توزیع بهینه بار بین بلوک‌های یک نیروگاه سیکل ترکیبی با توجه به محدودیت سوخت استفاده شده است. نتایج حاصله از اعمال این محدودیت نشان می‌دهد که بسته به محدودیت‌های داخلی و خارجی سوخت هر نیروگاه سیکل ترکیبی، آرایش و میزان تولید آن متفاوت خواهد بود. لذا فروشندگان برق نیروگاه‌های سیکل ترکیبی، بایستی با توجه به آرایش آماده بلوک‌های سیکل ترکیبی و محدودیت سوخت واحدها که ممکن است به طور روزانه تغییر نماید به گونه‌ای قیمت دهی کنند که حداکثر سود را با کمترین هزینه سوخت کسب نمایند. یا به عبارت دیگر فروشندگان برق با اجرای برنامه قادر خواهند بود کمترین هزینه تولید را بسته به میزان محدودیت سوخت

جدول ۸ - محدودیت و مصرف سوخت روزانه مطابق با شرایط ج

title	daily gas consume(m ³)	Daily liq. Consume (lit.)
hours	24	24
constraint	3.00E+06	5.50E+05
real	2.95E+06	3.53E+05



شکل ۶ - منحنی برازندگی و تولید هر واحد در ساعات اوج شرایط ج

۷- نتیجه‌گیری

در این مقاله اثر محدودیت سوخت روزانه در فصول سرد (پائیز و زمستان) در توزیع بهینه بار بین بلوک‌های یک نیروگاه سیکل ترکیبی مورد بررسی قرار گرفت. این محدودیت هر ساله با توجه به محدودیت انتقال گاز و وضعیت شبکه برق، توسط شرکت توانیر و شرکت مدیریت شبکه برق ایران به نیروگاه‌های دارای محدودیت اعلام می‌گردد. در سال ۸۴ بیش از ۱۰ نیروگاه با این محدودیت مواجه شدند و به لحاظ قوانین بازار برق ایران و مصوبات هیأت تنظیم بازار برق ایران، در زمره واحدهای انرژی محدود قرار گرفتند. متناظر با این محدودیت میزان انرژی تولیدی روزانه این واحدها در کم باری و بار متوسط و بار اوج قابل محاسبه است. از طرفی میزان تولید واحدها در هر ساعت با توجه به قیمت دهی فروشندگان (نیروگاه‌ها) و محدودیت انرژی در آرایش بازار برق مشخص می‌شود. لذا تعیین استراتژی قیمت

بیست و یکمین کنفرانس بین‌المللی برق

ضمائم :

تابع هزینه پایه تولید بلوک سیکل ترکیبی:

$$F = -5.363 \times 10^{-8} P^3 + 9.076 \times 10^{-5} P^2 + 8.781 P + 424.41$$

ارزش حرارتی گازوئیل: ۸۶۷۹ کیلوکالری بر لیتر

ارزش حرارتی گاز: ۸۱۶۰ کیلو کالری بر مترمکعب

نرخ تقریبی سوخت گاز ۴۰ ریال برای هر متر مکعب

نرخ تقریبی سوخت گازوئیل ۶۰ ریال برای هر لیتر

حدود حداکثر و حداقل تولید مجاز در حالت‌های مختلف یک

بلوک سیکل ترکیبی

State	GTA	GTB	ST	Pmin(MW)	Pmax(MW)
1	1	0	0	50	100
2	0	1	0	50	100
3	1	1	0	100	200
4	1	0	1/2	105	150
5	0	1	1/2	105	150
6	1	1	1/2	165	250
7	1	1	1	210	300

روزانه و محدودیت استفاده از سوخت های مختلف در هر واحد، با مشاهده خروجی برنامه که شامل آرایش هر بلوک و نوع سوخت مصرفی برای هر بلوک است، در اختیار داشته باشند.

مراجع

[۱] محمدحسین جاویدی، مصطفی رجبی مشهدی، برنامه ریزی کوتاه مدت واحدهای نیروگاهی با در نظر گرفتن محدودیت بار حداقل، شانزدهمین کنفرانس بین المللی توانیر، آبان ۱۳۸۰

[2] Feng Gao, Gerald B. Sheble, " Economic Dispatch Algorithms For Thermal Unit System Involving Combined Cycle Units, IEEE 15th PSCC, Liege, 22-26 August 2005

[۳] مکاتبه شرکت توانیر، "واحدهای انرژی محدود"، نامه شماره ۳۱/۴۰۲۵ مورخ ۸۴/۱۰/۱۸

[۴] مصطفی رجبی مشهدی و... " افزایش کارایی واحدهای گازی GE-F9 در تعویض سوخت به مایع با ارائه چند راهکار کاربردی، هفدهمین کنفرانس بین المللی توانیر، مهر ۱۳۸۲

[5] "Genetic Algorithm solution of Economic Dispatch with valve point loading", David C. Walters, Gerald B. Shamble', IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 8, No. 3, August 1993,p 1325-1333