18th International Power System Conference

۱۸ برق بین‌المللی کنفرانس

98-F-SEA-194

بررسی اثر قیمت خاموشی بر توسعه بهینه سیستم تولید برق کشور

محسن موحد – فرخ امینی
پـژوهشـگـاه نیـــرو

واژه‌های کلیدی : توسعه بهینه تولید، هزینه خاموشی، احتمال عدم تامین بار

چکیده

برنامه‌ریزی توسعه نیروگاههای کشور با توجه به نیاز به سرمایه‌گذاری سنگین جهت احداث نیروگاهها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در این مقاله روشهای مختلف برنامه‌ریزی توسعهٔ سیستم تولید و معیارهای مورد توجه در هر یک از این روشها مورد بحث قرار گرفته و پس از آن نتایج حاصل از بررسی اثرات قیمت خاموشی بر توسعهٔ بهینه سیستم تولید برق کشور به کمک نرم‌افزارWASP[1] عنوان گردیده است. به منظور تصریح بیشتر اثر قیمت خاموشی روی هزینه‌های توسعه بهینه شبکه تولید، ظرفیت نیروگاهی مورد نیاز طی دوره زمانی ۱۳۸۱ – ۱۴۰۰ به ازای مقادیر مختلف قیمت خاموشی با استفاده از نرم‌افزار WASP به دست آمده و هزینه‌های متناظر آنها با یکدیگر مقایسه شده است.

۱– مقدمه

طراحی و برنامه‌ریزی توسعه بهینه شبکهٔ قدرت جایگاه ویژه‌ای در برنامه‌ریزی کشور دارد. تامین بی‌وقفه انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف‌کنندگان با کیفیت استاندارد و نازلترین قیمت، هدف اساسی طراحان شبکه قدرت می‌باشد. این طراحی در بخشهای گوناگون تولید، انتقال و توزیع صورت می‌گیرد اما در این میان برنامه‌ریزی بهینه توسعه تولید از اهمیت بیشتری برخوردار است زیرا هزینه‌های احداث و بهره‌برداری از نیروگاهها بزرگترین مولفه هزینه برای صنعت برق می‌باشد. در این مقاله ابتدا روشهای مختلف برنامه‌ریزی توسعه سیستم تولید مورد بحث قرار گرفته و پس از آن ضمن معرفی نرم‌افزار WASP ، که برنامه‌ریزی توسعه بهینه شبکه تولید را انجام می‌دهد، نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزار با توجه به قیمتهای مختلف خاموشی و در شرایط حفظ قابلیت اطمینان سیستم در سطوح گوناگون ارائه و تحلیل می‌گردد.

1. Wien Automatic System Planning

Archive of SID

www.SID.ir

۲- معرفی روشهای برنامه‌ریزی توسعه سیستم تولید

افزایش ظرفیت تولید با توجه به رشد روز افزون استفاده از انرژی الکتریکی ضروری می‌باشد. روشهای گوناگونی برای برنامه‌ریزی توسعه ظرفیت تولید برق وجود داردکه در ادامه به سه روش به صورت اجمال اشاره شده است.

۲-۱- برنامه‌ریزی براساس ذخیره ثابت

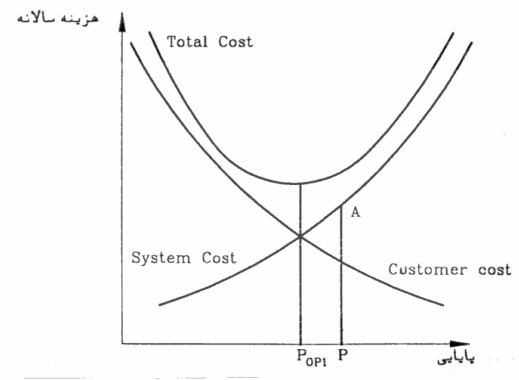
در این روش درصد مشخصی از ظرفیت به عنوان ذخیره مورد نیاز سیستم، با توجه به تجربیات کارشناسان و یا کشورهای مشابه، تعیین می‌گردد. با توجه به روند افزایش سالیانه حداکثر بار و با فرض حفظ ذخیرهٔ مورد نیاز، ظرفیت نیروگاهی لازم طی دورهٔ مطالعه محاسبه می‌گردد. درصد ذخیرهٔ عنوان شده باید بگونه‌ای باشد که اثرات خروجهای اضطراری و تعمیرات نیروگاهها را شامل گردیده و عوامل دیگر مانند ذخیره‌گردان و یا تاخیرات احتمالی در اجرای طرحهای احداث نیروگاهها را پوشش دهد.

۲-۲- برنامه‌ریزی براساس ریسک ثابت

در این روش برنامه‌ریزی توسعه تولید با فرض حفظ قابلیت اطمینان[2] سیستم در محدودهٔ مشخص انجام می‌پذیرد. در این صورت یکی از شاخصهای قابلیت اطمینان مورد نظر قرار گرفته و برنامه‌ریزی براساس حفظ این شاخص در محدودهٔ مورد نظر انجام می‌شود. به عنوان نمونه، یک شاخص مورد استفاده احتمال عدم تامین بار (LOLP)[3] می‌باشد. بدین ترتیب برنامه‌ریزی توسعه سیستم تولید می‌تواند بگونه‌ای باشد که شاخص LOLP در هیچیک از سالهای دورهٔ مطالعه از مقدار مشخصی فراتر نرود. قابلیت دسترسی[4] واحدهای نیروگاهی در این روش تاثیر زیادی بر مقدار افزایش ظرفیت تولید دارد. هر گاه نیروگاههای سیستم قابلیت دسترسی بالاتری داشته باشند، ریسک بروز خاموشی کاهش یافته و به تبع آن نیاز به ظرفیت‌سازی کاهش می‌یابد.

۲-۳- برنامه‌ریزی براساس قیمت خاموشی

در این روش هزینه خاموشی عامل تعیین کننده جهت برنامه‌ریزی توسعه تولید است. به منظور درک بهتر موضوع به شکل ۱ توجه می‌نماییم.



شکل ۱ - نمودار تغییرات هزینه سالانه برحسب قابلیت اطمینان

افزایش ظرفیت تولید موجب افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری می‌گردد که مجموع این هزینه‌ها در شکل ۱ به عنوان System Cost معرفی شده است. از سوی دیگر افزایش ظرفیت تولید موجب افزایش قابلیت اطمینان و کاهش مقدار خاموشی خواهد گردید. هر گاه قیمت خاموشی به ازای هر کیلو وات‌ساعت تامین نشده مورد نظر قرار گیرد، هزینه‌های خاموشی با افزایش ظرفیت تولید کاهش خواهد یافت. این مؤلفه در شکل ۱ به عنوان Customer Cost

2. Reliability
3. Loss of Load Probability
4. Availibility

www.SID.ir

معرفی شده است. مجموع دو مولفه عنوان شده تابع کل هزینه (Total Cost) را تعیین می‌نماید که دارای یک نقطه کمینه به ازای مقدار مشخصی از ظرفیت (و یا قابلیت اطمینان) خواهد بود. به این ترتیب در این روش تنها تابع هزینه به عنوان معیار بوده و نقطه بهینه نقطه‌ای است که این تابع را حداقل نماید.

۳- معرفی نرم‌افزار WASP

این نرم‌افزار، که توسط موسسه تحقیقاتی آرگن وابسته به دانشگاه شیکاگو آمریکا و به سفارش آژانس بین‌المللی انرژی اتمی تهیه گردیده است، در بسیاری از کشورها جهت برنامه‌ریزی توسعهٔ بهینه سیستم تولید استفاده می‌گردد. با اجرای این نرم‌افزار، ظرفیتهای نیروگاهی مورد نیاز به تفکیک نوع نیروگاه در هر یک از سالهای دورهٔ زمانی مطالعه تعیین می‌شود. تعیین طرح توسعه سیستم با استفاده از هر یک از ۳ روش عنوان شده در بخش قبل توسط نرم‌افزار امکان‌پذیر می‌باشد. به منظور اجرای نرم‌افزار ابتدا مشخصات روند رشد پیک بار و منحنی تداوم بار طی دوره مطالعه بهمراه مشخصات نیروگاههای موجود به آن معرفی می‌شود. سپس نرم‌افزار با توجه به نیروگاههایی که به عنوان کاندیدا (برای ورود به شبکه تولید) به آن معرفی شده است، طرح توسعه بهینه سیستم تولید را با حداقل نمودن مجموع ارزش حال هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و خاموشی طی دورهٔ مطالعه تعیین می‌نماید. به این منظور آرایش‌های مختلفی از کاندیداهای معرفی شده برای هر یک از سالهای دوره زمانی مطالعه تشکیل شده و سیستم تولید و مصرف برای هر یک از آرایشها شبیه‌سازی می‌گردد. تعیین هزینه‌های توسعه تولید بهمراه مقدار شاخصهایی مانند LOLP و یا ENS [۵] حاصل شبیه سازی فوق می‌باشند. در نهایت با به کارگیری روش برنامه‌ریزی پویا [۶] تابع هزینه کل دوره مطالعه کمینه می‌گردد و در نتیجه نوع و زمان ورود نیروگاههای برگزیده به سیستم تولید مشخص می‌شود.

در ادامه، نتایج اجرای نرم‌افزار WASP برای تعیین طرح توسعه بهینه شبکه تولید برق کشور طی دوره زمانی ۱۳۸۱ - ۱۴۰۰ در دو حالت مختلف آورده شده است. در حالت اول، بهینه‌سازی بر مبنای قیمت خاموشی انجام شده و حالت دوم اختصاص به بهینه‌سازی براساس دستیابی به حد مشخصی از LOLP دارد. متذکر می‌گردد طرحهای مصوب وزارت نیرو برای توسعه ظرفیت نیروگاهی تا سال ۱۳۹۰ به نرم‌افزار معرفی شده است و بنابراین بهینه‌سازی توسعه ظرفیت نیروگاهی مورد نیاز کشور توسط نرم‌افزار عملاً برای دوره زمانی ۱۳۹۱ – ۱۴۰۰ انجام شده است.

۴- نتایج اجرای نرم‌افزار

اطلاعات اولیه مورد نیاز جهت اجرای نرم‌افزار شامل مشخصات بار و نیروگاههای موجود براساس آخرین اطلاعات موجود در معاونت برنامه‌ریزی سازمان توانیر تهیه شده‌اند. قیمت خاموشی (قیمت هر کیلووات‌ساعت عرضه نشده) نیز با به روز نمودن مقادیر حاصل از مطالعات انجام شده توسط دانشگاه تربیت مدرس در سال ۱۳۷۳ [۱] معادل ۱/۲ دلار بر کیلوواتساعت در نظر گرفته شده است. جدول ۱ خروجی نرم‌افزار را در شرایطی که هیچگونه محدودیت ذخیره و LOLP منظور نگردیده و بهینه‌سازی براساس قیمت خاموشی انجام شده است نشان می‌دهد.

5. Energy Not Served

6. Dynamic Programming

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱- خروجی نرم‌افزار WASP به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات‌ساعت و عدم محدودیت روی LOLP (قیمتها به هزار دلار)

سال	هزینه ساخت	ارزش اسقاطی	هزینه‌های بهره‌برداری	هزینه خاموشی	کل هزینه‌ها	جمع تجمعی هزینه‌ها	احتمال عدم تامین بار(٪)	S325	G13P	CC40	G13B
۲۰۲۱	۲۶۵۰۹۶	۲۳۷۶۰۸	۶۷۵۶۷۷	۵۱۹۳	۷۰۸۳۵۸	۲۵۲۳۲۵۳۶	۱/۱۷۷	۰	۶۴	۵۲	۰
۲۰۲۰	۳۰۴۱۰۹	۲۴۵۲۹۴	۷۰۹۵۳۱	۵۸۴۸	۷۷۴۱۹۴	۲۴۵۲۴۱۷۸	۱/۱۸	۰	۵۴	۴۷	۰
۲۰۱۹	۳۲۰۷۶۶	۲۲۹۷۸۲	۷۴۵۴۳۴	۶۹۲۴	۸۴۳۳۴۲	۲۳۷۴۹۹۸۴	۱/۲۰۷	۰	۴۷	۴۱	۰
۲۰۱۸	۳۳۴۷۰۸	۲۱۸۵۹۰	۷۸۱۹۳۳	۹۱۷۷	۹۰۷۲۲۸	۲۲۹۰۶۶۴۲	۱/۲۸۱	۰	۳۷	۳۶	۰
۲۰۱۷	۳۶۳۷۳۳	۲۰۸۰۷۶	۸۲۰۰۱۷	۷۸۶۸	۹۸۳۵۴۲	۲۱۹۹۹۴۱۴	۱/۱۹۸	۰	۳۳	۳۰	۰
۲۰۱۶	۴۱۸۴۱۳	۲۱۷۶۸۵	۸۵۸۴۱۶	۹۰۰۰	۱۰۶۸۱۴۴	۲۱۰۱۵۸۷۲	۱/۲۲۵	۰	۲۵	۲۵	۰
۲۰۱۵	۴۱۵۹۸۱	۱۹۷۵۰۳	۸۹۸۸۰۴	۱۰۸۳۴	۱۱۲۸۱۱۶	۱۹۹۴۷۷۲۸	۱/۲۸۳	۰	۲۰	۱۹	۰
۲۰۱۴	۴۵۱۶۶۲	۱۸۲۸۶۰	۹۴۰۰۹۱	۸۴۲۸	۱۲۱۷۳۲۰	۱۸۸۱۹۶۱۲	۱/۱۷	۰	۱۸	۱۳	۰
۲۰۱۳	۵۲۱۱۹۴	۱۹۴۹۵۶	۹۸۱۱۲۲	۸۹۷۵	۱۳۱۶۳۳۵	۱۷۶۰۲۲۹۲	۱/۱۷۸	۰	۱۲	۸	۰
۲۰۱۲	۳۴۸۲۴۶	۹۳۶۷۰	۱۰۲۴۵۷۴	۱۰۲۱۸	۱۲۸۹۳۶۸	۱۶۲۸۵۹۵۷	۱/۲۱۸	۰	۹	۲	۰
۲۰۱۱	۰	۰	۱۰۶۳۰۳۹	۳۵۴۸	۱۰۶۶۵۸۷	۱۴۹۹۶۵۸۹	۰/۸۷۹	۰	۰	۰	۰
۲۰۱۰	۰	۰	۱۱۱۸۶۶۶	۸۹۴	۱۱۱۹۵۶۰	۱۳۹۳۰۰۰۲	۰/۵۱	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۹	۰	۰	۱۱۷۲۸۵۰	۱۵۴	۱۱۷۳۰۰۴	۱۲۸۱۰۴۴۲	۰/۲۳۱	۰	۰	۰۰	۰
۲۰۰۸	۰	۰	۱۲۳۰۵۱۹	۷۵۶	۱۲۳۱۲۷۵	۱۱۶۳۷۴۳۸	۰/۱۳۲	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۷	۰	۰	۱۲۸۵۷۰۲	۵۶۲	۱۲۸۶۲۶۴	۱۰۴۰۶۱۶۳	۰/۱۶	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۶	۰	۰	۱۳۹۰۹۱۱	۲۸۶۲	۱۳۹۳۷۷۴	۹۱۱۹۸۹۹	۰/۷۱۷	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۵	۰	۰	۱۴۴۶۴۴۲	۵۷۰۸۰	۱۵۰۳۵۲۲	۷۷۲۶۱۲۶	۱/۹۸۶	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۴	۰	۰	۱۵۴۱۴۳۹	۱۲۰۸۳۸	۱۶۶۲۲۷۷	۶۲۲۲۶۰۴	۲/۸۶۲	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۳	۰	۰	۱۵۷۸۳۲۱	۲۸۴۷۳۳	۱۸۶۳۰۵۵	۴۵۶۰۳۲۷	۴/۴۹۷	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۲	۰	۰	۱۷۱۱۰۴۸	۹۸۶۲۲۴	۲۶۹۷۲۷۲	۲۶۹۷۲۷۲	۹/۴۳۹	۰	۰	۰	۰

در ستونهای سمت چپ، ارزش حال مولفه‌های هزینه شامل سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و خاموشی و همچنین ارزش اسقاطی نیروگاههای انتخاب شده، در پایان دورهٔ مطالعه ارائه گردیده و مجموع سالیانه و همچنین تجمعی آنها طی دورهٔ مطالعه برحسب هزار دلار ارائه شده‌اند. پس از آن مقدار LOLP محاسبه شده توسط نرم‌افزار در هرسال معرفی گردیده و نهایتاً در ستونهای سمت راست تعداد انتخابهای نرم‌افزار از کاندیداهای معرفی شده نشان داده شده است. کاندیداهای معرفی شده شامل واحدهای بخاری ۳۲۵ مگاوات (S325)، واحدهای گازی پیک ۱۳۰ مگاوات (G13P)، واحدهای سیکل ترکیبی ۴۰۰ مگاوات (CC40) و واحدهای گازی پایه ۱۳۰ مگاوات (G13B) می‌باشند. ملاحظه می‌گردد که نرم‌افزار جمعاً ۶۴ واحد گازی پیک و ۵۲ واحد سیکل ترکیبی جمعاً به ظرفیت ۲۹۱۲۰ مگاوات تا سال ۱۴۰۰ علاوه بر نیروگاههای موجود و در دست احداث تا سال ۱۳۹۰ را انتخاب و وارد مدار نموده است. متوسط مقدار سالانه LOLP حدود ۱/۲٪ می‌باشد که معادل احتمال خاموشی ۴/۴ روز در سال است (۰/۰۱۲ x ۳۶۵). ارزش حال مجموع انباشته هزینه‌ها به ۲۵/۲ میلیارد دلار رسیده است که در حقیقت کمترین مقدار هزینه برای توسعه سیستم (متناظر با نقطـه کمینه منحنی System Cost در

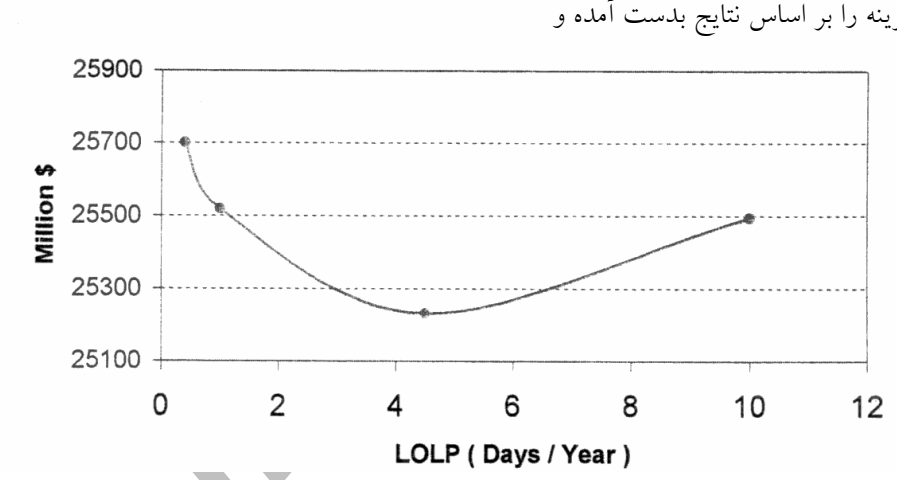
Archive of SID

www.SID.ir

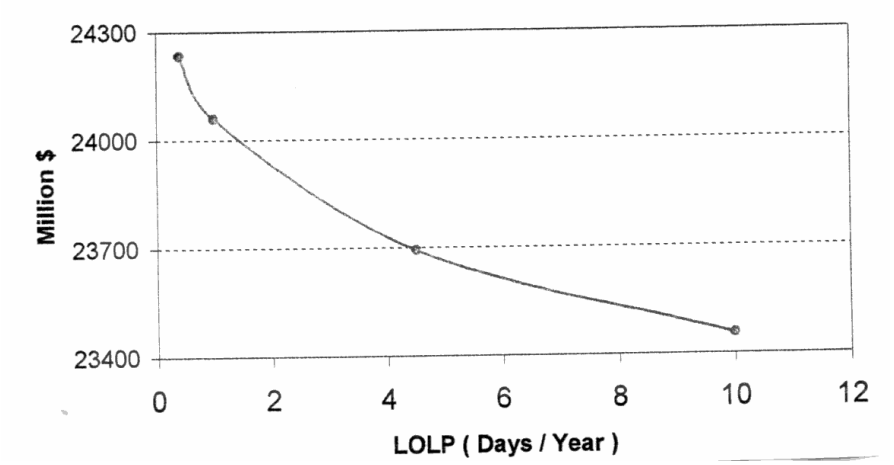
شکل ۱) می‌باشد. هر گونه ظرفیت سازی بیشتر به قصد بهبود قابلیت اطمینان و یا ظرفیت‌سازی کمتر به قصد کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری، موجب افزایش کل هزینه‌های سیستم تولید می‌گردد. این موضوع با اجرای نرم‌افزار با معرفی حد LOLP (دومین روش بهینه‌سازی) به ازای مقادیر ۱۰ روز در سال (قابلیت اطمینان کمتر از نقطهٔ کمینه تابع هزینه)، ۱ روز در سال و ۰/۴ روز در سال (یک روز در ۲/۵ سال) مورد بررسی قرار گرفته است. جدول ۲ مقادیر ظرفیت‌سازی و همچنین کل هزینه توسعه تولید را در شرایط یاد شده نشان می‌دهد. شکلهای ۲ تا ۴ نیز مولفه‌های هزینه را بر اساس نتایج بدست آمده و مشابه آنچه در شکل۱ بصورت تئوری عنوان گردید نشان می‌دهند.

جدول ۲- نتایج اجرای نرم‌افزار WASP به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات ساعت و مقادیر مختلف LOLP

LOLP (روز درسال)	هزینه توسعه تولید (میلیون دلار)	ظرفیت‌سازی (مگاوات)
۱۰	۲۵۴۹۵	۲۶۳۴۰
۴/۴	۲۵۲۳۳	۲۹۱۲۰
۱	۲۵۵۲۰	۳۲۶۹۰
۰/۴	۲۵۷۰۱	۳۴۱۵۰

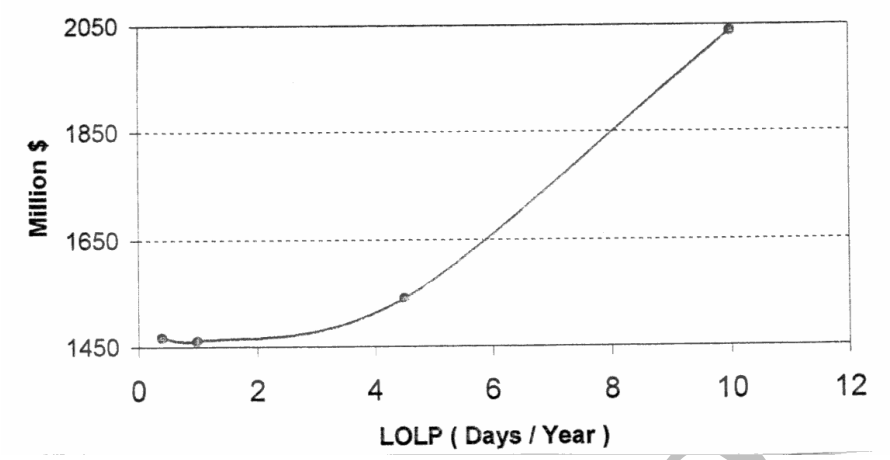


شکل ۲ – مجموع هزینه‌های تولید (سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و خاموشی) به‌ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات‌ساعت



شکل ۳ – مجموع هزینه‌های سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری به‌ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات‌ساعت

www.SID.ir



شکل ۴ – مجموع هزینه‌های خاموشی به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات‌ساعت

۵ – آنالیز حساسیت قیمت خاموشی

آن‌گونه که نتایج اجرای نرم‌افزار WASP نشان داد، به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات‌ساعت مقدار LOLP معادل ۴/۴ روز در سال به دست آمد که در مقایسه با مقادیر ذکر شده در مراجع و استانداردهای معتبر که حدود یک روز در سال است، بسیار زیاد به نظر می‌رسد. لذا در این قسمت نتایج اجرای نرم‌افزار با فرض قیمتهای خاموشی ۳/۵ و ۶ دلار بر کیلووات‌ساعت بررسی می‌شوند. می‌توان انتظار داشت که افزایش قیمت خاموشی، افزایش ظرفیت‌سازی تولید به منظور کاهش خاموشیها و افزایش قابلیت اطمینان را به دنبال داشته باشد. در جدول ۳، مقادیر LOLP ، هزینه توسعه تولید و ظرفیت سازی به ازای ۳ مقدار ۱/۲، ۳/۵ و ۶ دلار بر کیلووات ساعت برای قیمت خاموشی نشان داده شده است. آن گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، مقدار LOLP از ۴/۴ روز در سال به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات‌ساعت (گزینه مبنا) ، به ترتیب به ۳/۱ و ۲/۸ روز در سال به ازای قیمتهای خاموشی ۳/۵ و ۶ دلار بر کیلووات‌ساعت کاهش یافته است. از سوی دیگر، هزینه توسعه تولید از ۲۵۲۳۳ میلیون دلار در گزینه مبنا به ترتیب به ۲۸۰۹۸ و ۳۱۱۶۹ میلیون دلار افزایش یافته که متناظر با ظرفیت‌سازی به میزان ۲۹۷۸۰ و ۲۹۹۱۰ مگاوات می‌باشد.

حال چنانچه مبنای بهینه‌سازی توسعه تولید، دستیابی به حد مشخصی از LOLP باشد نتایج اجرای نرم‌افزار تفاوت خواهد کرد. در جداول ۴ و ۵ نتایج اجرای برنامه WASP به ازای قیمتهای خاموشی ۳/۵ و ۶ دلار بر کیلووات‌ساعت وبه منظور دستیابی به مقادیر LOLP معادل ۱۰ ، ۱ و ۰/۴ روز در سال نشان داده شده است.

جدول ۳- نتایج اجرای نرم‌افزار WASP به ازای قیمتهای مختلف خاموشی

قیمت خاموشی (دلار بر کیلووات ساعت)	هزینه توسعه تولید (میلیون دلار)	ظرفیت سازی (مگاوات)	LOLP (روز درسال)
۱/۲	۲۵۲۳۳	۲۹۱۲۰	۴/۴
۳/۵	۲۸۰۹۸	۲۹۷۸۰	۳/۱
۶	۳۱۱۶۹	۲۹۹۱۰	۲/۸

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۴- نتایج اجرای نرم‌افزار WASP به ازای قیمت خاموشی ۳/۵ دلار بر کیلووات ساعت و مقادیر مختلف LOLP

LOLP (روز درسال)	هزینه توسعه تولید (میلیون دلار)	ظرفیت‌سازی (مگاوات)
۱۰	۲۹۴۰۲	۲۶۳۴۰
۳/۱	۲۸۰۹۸	۲۹۷۸۰
۱	۲۸۳۲۰	۳۲۶۹۰
۰/۴	۲۸۵۱۴	۳۴۱۵۰

جدول ۵- نتایج اجرای نرم‌افزار WASP به ازای قیمت خاموشی ۶دلار بر کیلووات ساعت و مقادیر مختلف LOLP

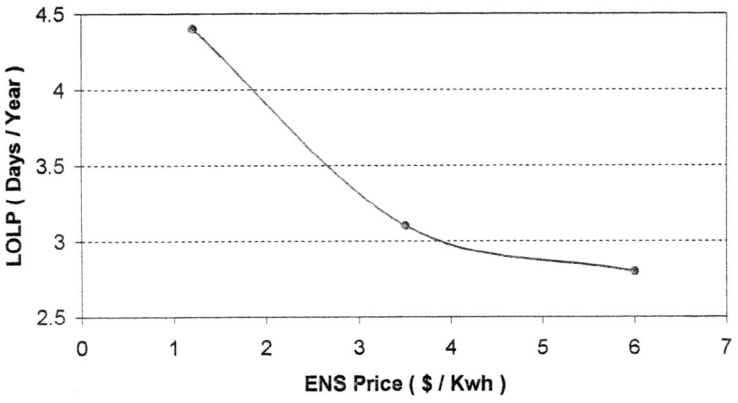
LOLP (روز درسال)	هزینه توسعه تولید (میلیون دلار)	ظرفیت‌سازی (مگاوات)
۱۰	۳۳۶۴۹	۲۶۳۴۰
۲/۸	۳۱۱۶۹	۲۹۹۱۰
۱	۳۱۳۶۳	۳۲۶۹۰
۰/۴	۳۱۵۷۲	۳۴۱۵۰

آن‌گونه که جداول ۴ و۵ نشان می‌دهد، حداقل هزینه توسعه تولید در شرایطی ایجاد می‌شود که محدودیتی برای LOLP وجود نداشته باشد. در نظر گرفتن هر حدی برای LOLP منجر به افزایش هزینه توسعه تولید می‌شود. کاهش LOLP، همان‌گونه که جداول ۴ و ۵ نشان می‌دهند، افزایش ظرفیت سازی و هزینه توسعه تولید را به دنبال دارد افزایش هزینه‌ها در حالتی که LOLP معادل ۱۰ روز در سال است به دلیل افزایش قابل توجه هزینه خاموشی در این حالت است. نتایج به دست آمده از انجام آنالیز حساسیت قیمت خاموشی نشان می‌دهند :

افزایش قیمت خاموشی از ۱/۲ به ۶ دلار بر کیلووات‌ساعت نقطه بهینه را دستخوش تغییرات شدید نمی‌نماید به گونه‌ای که LOLP بهینه را از ۴/۴ به ۲/۸ روز در سال می‌رساند که باز هم بیشتر از مقدار پیشنهادی در مراجع معتبر است.

روند افزایش هزینه توسعه تولید در صورت نیاز به LOLP های پایین، مثل ۰/۴ روز در سال، بشدت صعودی است.

تغییر LOLP متناظر با نقطه دارای حداقل هزینه، در شرایط افزایش قیمت خاموشی از ۱/۲ به ۳/۵ دلار بر کیلووات‌ساعت شدید ولی در شرایط افزایش قیمت از ۳/۵ به ۶ دلار بر کیلووات‌ساعت خفیف می‌باشد. لذا انتظار می‌رود افزایش بیشتر هزینه خاموشی تاثیر قابل توجه و معنی داری روی کاهش LOLP نداشته باشد. در شکل ۵ نحوه تغییرات حد LOLP بهینه با تغییر هزینه خاموشی نشان داده شده است.



شکل ۵ – تغییرات LOLP برحسب تغییرات هزینه خاموشی

Archive of SID
www.SID.ir

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی شد با به کارگیری نرم‌افزار WASP اثر هزینه خاموشی بر روی هزینه‌های توسعه بهینه ظرفیت تولید برق کشور طی دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۴۰۰ نشان داده شود. همچنین با انجام آنالیز حساسیت روی قیمت خاموشی، تغییر مقادیر ظرفیت‌سازی مورد نیاز، هزینه توسعه تولید و شاخص LOLP بر اثر تغییر قیمت خاموشی در دوره زمانی مذکور نشان داده شد. از سوی دیگر نتایج بررسیهای به عمل آمده در این مقاله نشان می‌دهد چنانچه برنامه‌ریزی توسعه تولید برق کشور با هدف دستیابی به LOLP معادل یک روز در سال انجام شود، می‌توان مطمئن بود که حتی در قیمتهای بالای خاموشی (بیش از ۶ دلار بر کیلووات‌ساعت) حد فوق مقدار قابل قبولی می‌باشد. دستیابی به این مقدار LOLP به معنی افزایش هزینه‌های سرمایه‌گذاری می‌باشد که در صورت امکان تامین هزینه‌ها، سیستم تولید برق کشور به شرایط کاری مناسب از دید فنی (و نه لزوماً اقتصادی) دست خواهد یافت. نکته‌ای که در این ارتباط باید مورد توجه قرار گیرد لزوم تعیین LOLP نه به صورت مستقل بلکه به صورت سازگار با وضعیت اقتصادی کشور است. در واقع باید مبنای دقیقی برای تعیین LOLP به منظور استفاده در برنامه‌ریزی توسعه بهینه ظرفیت تولید برق کشور وجود داشته باشد.

مراجع

۱- بررسی اثر هزینه خاموشی روی توسعه بهینه تولید، قابلیت اطمینان و هزینه نهایی بلند مدت برق، گروه انرژی و مدیریت مصرف، پژوهشگاه نیرو، ۱۳۸۱

2- Wien Automatic System Planning (WASP) User's Manual, International Atomic Energy Agency, 1995.

قدردانی

این مقاله حاوی بخشهایی از نتایج پروژه تحقیقاتی « محاسبه هزینه خاموشی در گروههای مختلف صنعتی و معدنی در کل کشور» است که به سفارش معاونت برنامه‌ریزی توانیر توسط گروه انرژی و مدیریت مصرف پژوهشگاه نیرو به انجام رسیده است. بدینوسیله از حمایتهای به عمل آمده قدردانی می‌گردد.

Archive of SID

www.SID.ir