

بررسی اثر قیمت خاموشی بر توسعه بهینه سیستم تولید برق کشور

محسن موحد - فرخ امینی
پژوهشگاه نیرو

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

۱- مقدمه

طراحی و برنامه‌ریزی توسعه بهینه شبکه 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.

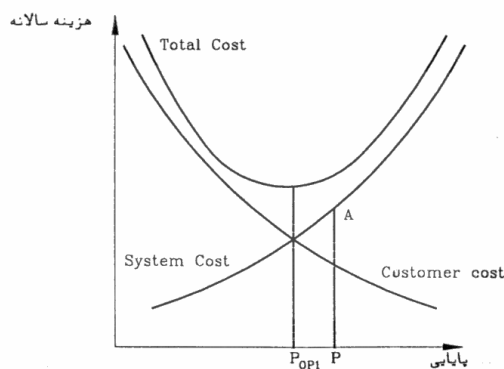
چکیده

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 توسعه 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 توسعه بهینه سیستم تولید برق کشور به کمک نرم‌افزار WASP¹ 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.

سالهای دوره مطالعه از مقدار مشخصی فراتر نرود. قابلیت دسترسی^۴ 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

۲-۲- 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 دارد که 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 ذخیره مورد نیاز، ظرفیت نیروگاهی لازم طی دوره مطالعه محاسبه می‌گردد. درصد ذخیره عنوان شده باید بگونه‌ای باشد که اثرات خروجی 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^۲ سیستم در محدوده مشخص انجام می‌پذیرد. در این صورت یکی از شاخصهای قابلیت اطمینان مورد نظر قرار گرفته و برنامه‌ریزی براساس حفظ این شاخص در محدوده مورد نظر انجام می‌شود. به عنوان نمونه، یک شاخص مورد استفاده احتمال عدم تامین بار (LOLP)^۳ می‌باشد. بدین ترتیب برنامه‌ریزی توسعه سیستم تولید می‌تواند بگونه‌ای باشد که شاخص LOLP در هیچیک از

2. Reliability
3. Loss of Load Probability

4. Availability

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 توسعه بهینه سیستم تولید استفاده می‌گردد. با اجرای این نرم‌افزار، ظرفیتهای نیروگاهی مورد نیاز به تفکیک نوع نیروگاه در هر یک از سالهای دوره 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 دوره 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 شبیه‌سازی 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.

6. Dynamic Programming

5. Energy Not Served

جدول ۱- خروجی نرم افزار WASP به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات ساعت 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	۸۳۳۳۴۲	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	۲۱۰۱۵۸۱۲	۱/۲۲۵	۰	۲۵	۲۵	۰
۲۰۱۵	۴۱۵۹۸۱	۱۹۷۵۰۳	۸۹۸۸۰۴	۱۰۸۳۴	۱۱۲۸۱۱۶	۱۹۹۹۷۷۲۸	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	۱۳۹۳۰۰۲	۰/۵۱	۰	۰	۰	۰
۲۰۰۹	۰	۰	۱۱۷۲۸۵۰	۱۵۴	۱۱۷۳۰۰۴	۱۲۸۱۰۴۴۲	۰/۲۳۱	۰	۰	۰	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

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 نقطه کمینه منحنی System Cost در

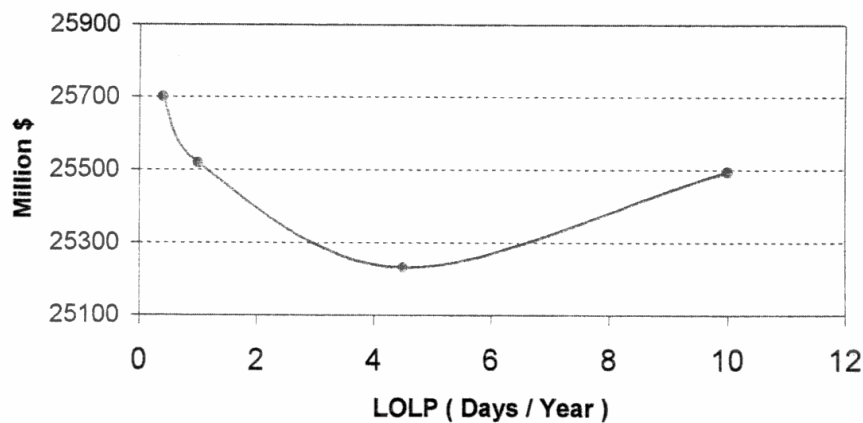
در ستونهای سمت چپ، ارزش حال مولفه‌های هزینه شامل سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری و خاموشی و همچنین ارزش اسقاطی نیروگاههای انتخاب شده، در پایان دوره مطالعه ارائه گردیده و مجموع سالیانه و همچنین تجمعی آنها طی دوره مطالعه برحسب هزار دلار ارائه شده‌اند. پس از آن مقدار LOLP محاسبه شده توسط نرم‌افزار در هر سال معرفی 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

مشابه آنچه در شکل ۱ بصورت تئوری عنوان گردید نشان می دهند.

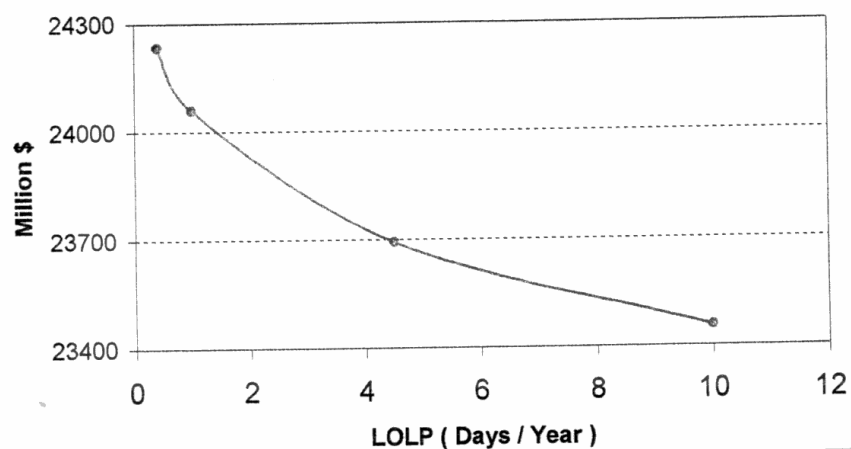
جدول ۲- نتایج اجرای نرم افزار WASP به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات ساعت و مقادیر مختلف LOLP

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

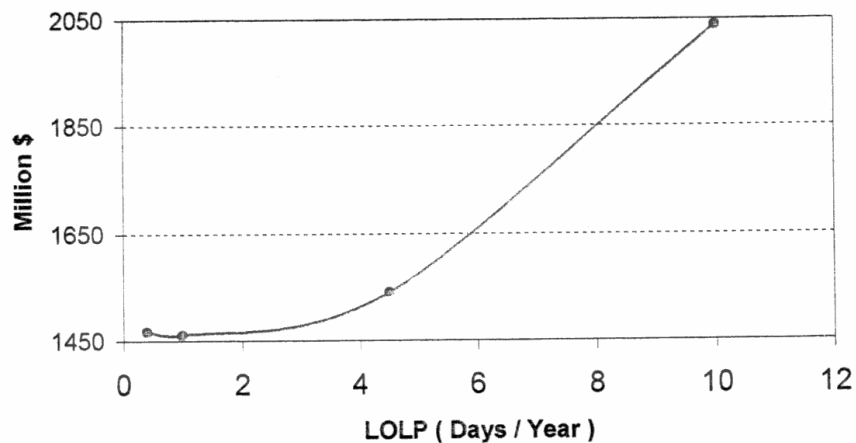
شکل ۱) می باشد. هر گونه ظرفیت سازی بیشتر به قصد بهبود قابلیت اطمینان و یا ظرفیت سازی کمتر به قصد کاهش هزینه های سرمایه گذاری، موجب افزایش کل هزینه های سیستم تولید می گردد. این موضوع با اجرای نرم افزار با معرفی حد LOLP (دومین روش بهینه سازی) به ازای مقادیر ۱۰ روز در سال (قابلیت اطمینان کمتر از نقطه کمیته 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 ظرفیت سازی و همچنین کل هزینه توسعه تولید را در شرایط یاد شده نشان می دهد. شکل های ۲ تا ۴ نیز مولفه های هزینه را بر اساس نتایج بدست آمده و



شکل ۲ - مجموع هزینه های تولید (سرمایه گذاری، بهره برداری و خاموشی) به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات ساعت



شکل ۳ - مجموع هزینه های سرمایه گذاری و بهره برداری به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات ساعت



شکل ۴ - مجموع هزینه‌های خاموشی به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات ساعت

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 کیلووات ساعت و به 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

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

۵ - آنالیز حساسیت قیمت خاموشی

آن‌گونه که نتایج اجرای نرم‌افزار WASP نشان داد، به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات ساعت 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 کیلووات ساعت 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 ظرفیت‌سازی به ازای ۳ مقدار ۱/۲، ۳/۵ و ۶ دلار بر کیلووات ساعت برای قیمت خاموشی نشان داده شده است. آن‌گونه که در این جدول مشاهده می‌شود، مقدار LOLP از ۴/۴ روز در سال به ازای قیمت خاموشی ۱/۲ دلار بر کیلووات ساعت (گزینه مبنا)، به ترتیب به ۳/۱ و ۲/۸ روز در سال به ازای قیمت‌های خاموشی ۳/۵ و ۶ دلار بر کیلووات ساعت کاهش یافته است. از سوی دیگر، هزینه توسعه تولید

جدول ۴- نتایج اجرای نرم افزار WASP به ازای قیمت خاموشی

۳/۵ دلار بر کیلووات ساعت و مقادیر مختلف LOLP

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

جدول ۵- نتایج اجرای نرم افزار WASP به ازای قیمت

خاموشی ۶ دلار بر کیلووات ساعت و مقادیر مختلف LOLP

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

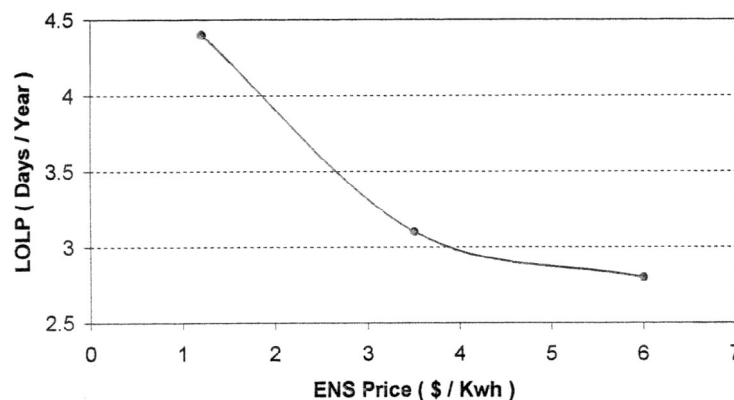
توسعه تولید می شود. کاهش LOLP همان گونه که جداول ۴ و ۵ نشان می دهند، افزایش ظرفیت سازی و هزینه توسعه تولید را به دنبال دارد افزایش هزینه ها در حالتی که LOLP معادل ۱۰ روز در سال است به دلیل افزایش قابل توجه هزینه خاموشی در این حالت است. نتایج به دست آمده از انجام آنالیز حساسیت قیمت خاموشی نشان می دهند:

افزایش قیمت خاموشی از ۱/۲ به ۶ دلار بر کیلووات ساعت نقطه بهینه را دستخوش تغییرات شدید نمی نماید به گونه ای که LOLP بهینه را از ۴/۴ به ۲/۸ روز در سال می رساند 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 کیلووات ساعت شدید ولی در شرایط افزایش قیمت از ۳/۵ به ۶ دلار بر کیلووات ساعت خفیف می باشد. لذا انتظار می رود 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.

آن گونه که جداول ۴ و ۵ نشان می دهد، حداقل هزینه توسعه تولید در شرایطی ایجاد می شود که محدودیتی برای LOLP وجود نداشته باشد. در نظر گرفتن هر حدی برای LOLP منجر به افزایش هزینه



شکل ۵- تغییرات LOLP بر حسب تغییرات هزینه خاموشی

۶- نتیجه گیری

در این مقاله سعی شد با به کارگیری نرم افزار WASP اثر هزینه خاموشی بر روی هزینه های توسعه بهینه ظرفیت تولید برق کشور طی دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۴۰۰ نشان داده شود. همچنین با انجام آنالیز حساسیت روی قیمت خاموشی، تغییر مقادیر ظرفیت سازی 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 می دهد چنانچه برنامه ریزی توسعه تولید برق کشور با هدف دستیابی به LOLP معادل یک روز در سال انجام شود، می توان مطمئن بود که حتی در قیمت های بالای خاموشی (بیش از ۶ دلار بر کیلووات ساعت) حد فوق مقدار قابل قبولی می باشد. دستیابی به این مقدار LOLP به معنی افزایش هزینه های سرمایه گذاری می باشد که در صورت امکان تامین هزینه ها، سیستم تولید برق کشور به شرایط کاری مناسب از دید فنی (و نه لزوماً اقتصادی) دست خواهد یافت. نکته ای 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 برنامه ریزی 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 گروه های مختلف صنعتی و معدنی در کل کشور » است که به سفارش معاونت برنامه ریزی توانیر توسط گروه انرژی و مدیریت مصرف پژوهشگاه نیرو به انجام رسیده است. بدینوسیله از حمایت های به عمل آمده قدردانی می گردد.