پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق

زیانهای ناشی از خاموشی بر مصرف‌کنندگان

شیرین باکمالی

سازمان برق ایران

چکیده:

امروزه مهمترین هدف شرکتهای تولید برق تأمین اُنرژی الکتریکی مصرف‌کنندگان با هزینه و سطح قابلیت اطمینان بهینه می‌باشد، مفهوم قابلیت اطمینان هر دوجنبه کفایت و اطمینان عرضه برق را در برمی‌گیرد. بنابراین وقفه در تولید صرفنظر از عامل ایجاد آن موجب کاهش سطح اطمینان سیستم می‌گردد. افزایش هزینه انرژی، هزینه‌های ساخت و نرخ بهره استفاده بهینه از منابع ملی و ملاحظات محیطی و نگرش ارگانهای دولتی و عمومی نیاز به بررسی همه جانبه و مطالعه منطقی تعیین سطح قابلیت اطمینان سیستم را فراگیرتر می‌نماید. مهمترین جنبه بررسی تعیین ارزش قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد تا با توجه به این ارزش هزینه‌های تأمین آن مقایسه گردد. اساسی‌ترین فاکتور در تعیین ارزش قابلیت اطمینان سیستم هزینه‌هائی است که بر اثر وقفه در تولید متوجه مشترکین می‌گردد.

در حالی که بررسی قابلیت اطمینان سیستم در طی دهه گذشته بر مبنای اصول علمی و مشخص قرار گرفته است، تعیین ارزش آن یا برعکس برآورد هزینه‌های عدم عرضه برق که ناشی از عدم اطمینان به سیستم می‌باشد هنوز از روش علمی تکوین یافته تبعیت نمی‌کند به دلیل اینکه تبدیل به مبلغ کردن هزینه‌های قطع برق کار بسیار پیچیده‌ای بوده و اغلب هر خاموشی هزینه خاص خود را دارد.

در اکثر تحقیقات انجام شده جهت تعیین هزینه‌های خاموشی نظیر بررسیهای انجام شده در استانبول، تایوان، جامایکا و شیلی و همچنین مطالعات انجام شده توسط کوفمان Kaufman، پریستمان Priestman، شیپلی SHipley و دیگران مسأله ارتباط بین هزینه‌های خاموشی و طول مدت خاموشی نادیده گرفته شده است، لذا چنانچه هزینه‌های خاموشی بصورت تابع خطی از طول زمان خاموشی نباشد بررسیهائی که در این زمینه انجام می‌گیرد به نتایج نادرستی منجر می‌گردد، مقاله حاضر با تأکید بر ارتباط طول زمان خاموشی و هزینه‌های حاصله ارائه می‌گردد.

شرح مقاله:

کمبود تولید نیروی برق به صور مختلف نظیر: تغییرات فرکانس، افت ولتاژ، قطع بار و خاموشی کامل نمایان شده و از نظر اقتصادی بر مصرف‌کنندگان خساراتی را تحمیل می‌نماید که ساده‌ترین آن برآورد خسارات ناشی از قطع برق می‌باشد، بطور کلی خسارات خاموشی به دو دسته تقسیم می‌گردد:

ـ خسارات مستقیم خاموشی به علت وقوع خاموشی.

ـ خسارات غیرمستقیم به علت احتمال وقوع خاموشی.

خسارات ناشی از خاموشی واقعی به علت کاهش روند نرمال تولید یا توقف آن می‌باشد، خسارات غیرمستقیم بدون وقوع خاموشی نیز بوجود می‌آید به دلیل اینکه مشترکین برق با طرق پر هزینه و کارآیی پایین جبران احتمال وقوع خاموشی را می‌نمایند و یا از طریق خرید منابع تولید انرژی جایگزین، لذا هزینه غیرمستقیم خاموشی را نمی‌توان به خاموشی خاصی مربوط دانست بلکه بستگی به استنباط عموم از قابلیت اطمینان سیستم دارد و در عین حال نمایانگر هزینه واقعی جایگزینی در اقتصاد است که هنگام مقایسه سطح قابلیت اطمینان پروژه‌های مختلف توسعه سیستم و همچنین اثرات مدیریت بار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

حداکثر قابلیت اطمینان سیستم بستگی به میزان ظرفیت رزرو تولیدی دارد که برای جلوگیری از خاموشی می‌تواند در مدار قرار گیرد، اگر میزان ظرفیت ذخیره کم باشد قابلیت اطمینان کاهش یافته و خسارات خاموشی افزایش می‌یابد. ساخت نیروگاه‌های جدید قابلیت اطمینان سیستم را بهبود می‌دهد اما در مقابل هزینه‌های سرمایه‌گذاری افزایش می‌یابد.

۱ ـ قابلیت اطمینان بهینه سیستم:

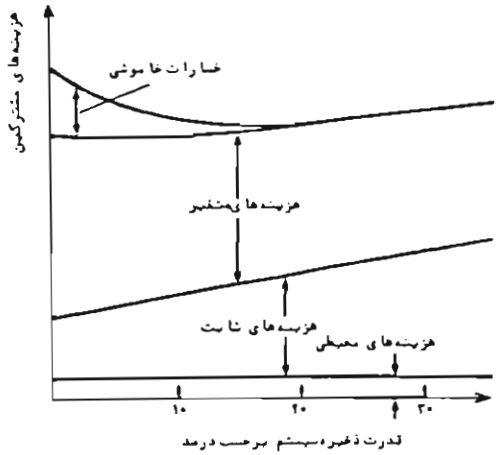
مطالعات انجام شده در رابطه با تغییرات هزینه‌های مشترکین برحسب تغییرات ظرفیت ذخیره سیستم بیانگر این مطلب است که میزان قدرت ذخیره اپتیمم سیستم زمانی است که مجموع هزینه‌ها به حداقل برسد، لذا روند تغییرات هزینه در چهار گروه زیر بررسی می‌گردد:

ـ هزینه‌های متغیر. ـ هزینه‌های ثابت.

ـ هزینه‌های محیطی. ـ هزینه‌های خاموشی.

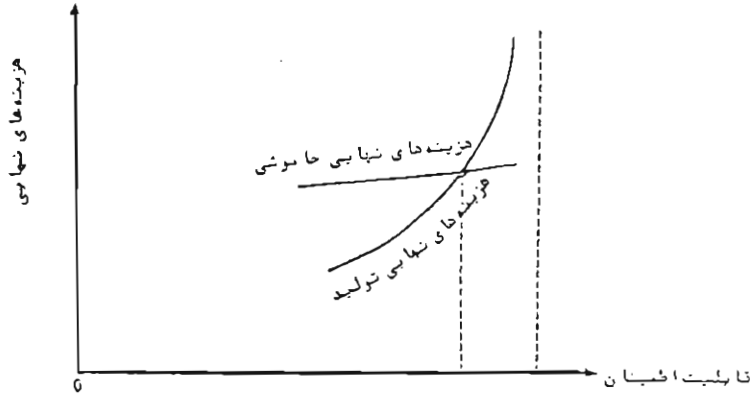
کل هزینه‌های مشترکین برای هر سطحی از قدرت ذخیره برآورد مجموع چهار گروه هزینه فوق‌الذکر می‌باشد. در نمودار (۱) تغییرات هزینه مشترکین برحسب تغییرات قدرت ذخیره نمایش داده شده است، بطوری که نمودار مذکور نشان می‌دهد با افزایش قدرت ذخیره هزینه

خاموشی به دلیل افزایش قابلیت اطمینان سیستم سیر نزولی دارد و هزینه‌های متغییر نیز به علت انعطاف در سیستم تولید تا حدی کاهش می‌یابد ولی در مقابل هزینه‌های ثابت به علت سرمایه‌گذاری در تأسیسات جدید افزایش می‌یابد، هزینه‌های محیطی برحسب نوع واحد نصب شده افزایش یا کاهش یافته یا همراه با تغییرات جزئی خواهد بود. نقاط حداقل منحنی حدود قدرت ذخیره سیستم راکه کمترین هزینه را به مشترکین تحمیل می‌نماید نشان می‌دهد.



« نمودار (۱) تغییرات هزینه مشترکین براساس تغییرات ظرفیت ذخیره سیستم. »

بطور کلی هزینه نهائی تولید و هزینه نهائی خاموشی با افزایش قابلیت اطمینان افزایش می‌یابد ولی روند افزایش هزینه‌های خاموشی ملایم‌تر بوده و ماهیت منفی دارد همانطورکه در نمودار (۲) مشخص است قابلیت اطمینان اپتیمم محل تلاقی این دو منحنی می‌باشد.



« نمودار (۲) تغییرات هزینه نهائی تولید و هزینه نهائی خاموشی برحسب تغییرات قابلیت اطمینان سیستم. »

مسأله پیچیده در ارزیابی خسارات خاموشی در ارتباط با سطوح مختلف قابلیت اطمینان سیستم عدم تفکیک دقیق خسارات مستقیم و غیرمستقیم خاموشی می‌باشد.

۲ ـ خسارات مستقیم و غیرمستقیم خاموشی :

هزینه مستقیم و غیرمستقیم خاموشی در یک سطح خاص از قابلیت اطمینان تحت تأثیر میزان قابلیت اطمینان انتظاری و واقعی قرار می‌گیرد، این مسأله در دو وضعیت مجزا به شرح زیر قابل بررسی می‌باشد.

وضعیت اول :

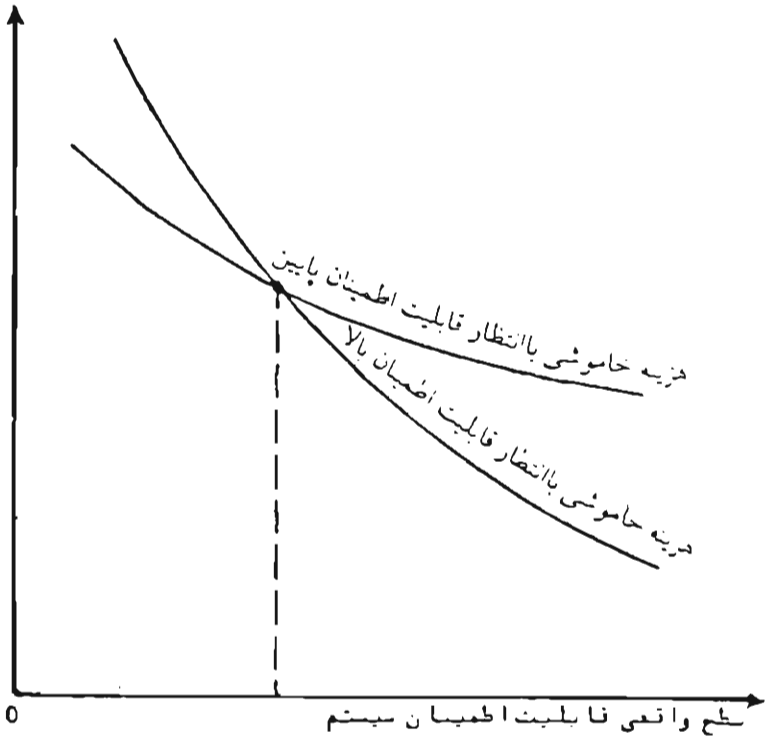
در این حالت مصرف‌کننده انتظار قابلیت اطمینان پائین را دارد، بنابراین سعی می‌نماید که فعالیتهای تولیدی خود را با سطح قابلیت اطمینان پایین تطبیق دهد یا منابع تولید انرژی جایگزین خریداری نماید تا خسارات مستقیم خاموشی را کاهش دهد. این نحوه برخورد منجر به خسارات غیرمستقیم خاموشی می‌گردد که قبلاً به آن اشاره شد، هر چند که مجموع خسارات مستقیم و غیرمستقیم خاموشی بستگی به سطح قابلیت اطمینان واقعی سیستم دارد و اگر قابلیت اطمینان واقعی پائین باشد هزینه‌های مستقیم خاموشی علیرغم اقدامات پیش گیرانه مشترکین بالا خواهد بود و به این ترتیب مجموع هزینه خاموشی افزایش می‌یابد لیکن چنانچه قابلیت اطمینان واقعی بالا باشد هزینه مستقیم خاموشی ناچیز خواهد بود و در مجموع هزینه خاموشی نسبت به حالت قبل که قابلیت اطمینان واقعی پایین می‌باشد کمتر می‌گردد.

وضعیت دوم :

در این حالت مشترک انتظار قابلیت اطمینان بالائی را دارد لذا کمتر سعی می‌نماید خود را با شرایط خاموشی تطبیق دهد، بنابراین هزینه غیرمستقیم خاموشی پایین خواهد بود ولی چنانچه قابلیت اطمینان واقعی پایین باشد مجموع خسارات خاموشی افزایش می‌یابد لیکن در حالت قابلیت اطمینان واقعی بالای سیستم این هزینه کاهش می‌یابد، ارتباط بین قابلیت اطمینان واقعی و انتظاری و خسارات خاموشی در نمودار (۳) نمایش داده شده است، در این نمودار هر منحنی نمایشگر مجموع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم خاموشی در برابر سطح قابلیت اطمینان واقعی سیستم و میزان قابلیت اطمینان انتظاری می‌باشد.

هنگامی که فاصله بین قابلیت اطمینان واقعی و انتظاری سیستم زیاد باشد میزان خسارات خاموشی بالا خواهد بود و همزمان با افزایش قابلیت اطمینان واقعی سیستم کاهش می‌یابد،

مجموع خسارات خاموشی زمانی به حداکثر می‌رسد که قابلیت اطمینان انتظاری بالا و قابلیت اطمینان واقعی پایین باشد و کمترین خسارت زمانی است که قابلیت اطمینان انتظاری و واقعی سیستم بالا باشد.



« شکل (۳) نمودار ارتباط مجموع هزینه خاموشی و سطوح قابلیت اطمینان واقعی و انتظاری. »

۳ ـ روشهای برآورد خسارات خاموشی :

دو مکتب فکری در مورد نحوه محاسبه خسارات خاموشی وجود دارد: نظریه اول برآورد هزینه خاموشی براساس تمایل به پرداخت الکتریسیته برنامه‌ریزی شده می‌باشد و نظریه دوم تعیین خسارات بر مبنای تأثیر خاموشی بر تولید کالاها و خدمات است.

۱ ـ ۳ ـ نظریه برآورد خسارات خاموشی برمبنای تمایل به پرداخت :

در این روش خسارات خاموشی بر مبنای انتظار کاهش سطح رفاه سنجیده می‌شود. به

عبارت دیگر میزان تمایل برای جبران خاموشی منهای هزینه‌های صرفه‌جوئی شده در اثر عدم تولید تعیین‌کننده خسارات خاموشی می‌باشد. در این روش فرض بر این است که تولید برق در مصرف‌کنندگان بطور مستقیم ایجاد رضایت می‌نماید، بنابراین خسارات خاموشی بر مبنای فقدان این رضایت سنجیده می‌شود.

۲ ـ ۳ ـ برآورد خسارات برمبنای تأثیر خاموشی در فعالیتهای تولیدی :

در روش دوم محاسبه خسارات خاموشی که بر مبنای تأثیر خاموشی در میزان تولید می‌باشد فرضیه فوق در نظر گرفته نشده است و به جای آن الکتریسیته به عنوان یک واسطه فرض شده که از طریق تولید کالاها و خدمات در مصرف‌کنندگان ایجاد رضایت می‌نماید نه به عنوان یک کالای نهائی که خود مستقیماً ایجاد رضایت می‌نماید. بنابراین در روش دوم خسارات خاموشی بر مبنای هزینه‌هائی که در اثر قطع برق متوجه جامعه و کاهش سطح تولید می‌گردد سنجیده می‌شود.

۳ ـ ۳ ـ معایب نظریه برآورد هزینه خاموشی براساس تمایل به پرداخت :

روش اول محاسبه خسارات خاموشی نواقص زیر را دارد:

الف : نظریه تمایل به پرداخت برای الکتریسیته برنامه‌ریزی شده الزاماً معیار دقیقی برای تعیین واقعی میزان پرداخت به منظور پیش‌گیری از خاموشی اتفاقی نیست.

ب : یک خاموشی بی‌برنامه موجب توقف فعالیتهائی می‌شود که نیاز به مصرف برق دارد و بنابراین هزینه واقعی خاموشی ممکن است به مراتب بیش از تمایل به پرداخت باشد.

ج : بر طبق این نظریه قطع برق براساس تمایل به پرداخت مشترکین انجام می‌شود به این ترتیب که ابتدا برق آنهائی قطع می‌گردد که کمترین تمایل به پرداخت را دارند لیکن در اغلب موارد قطع برق بر مبنای تمایل به پرداخت انجام نمی‌گیرد. بطور مثال چنانچه علت خاموشی اشکال در تولید نبوده بلکه به علت اختلال در سیستم.توزیع باشد برنامه‌ریزی قطع برق براساس معیارهای از پیش تعیین شده به سختی امکان‌پذیر می‌باشد.

د : لازمه اجرای روش تعیین خسارات خاموشی بر مبنای تمایل به مصرف اطلاع دقیق از تغییرات منحنی تقاضا در قبال قیمت برای مصرف‌کنندگان مختلف می‌باشد و برآورد تجربی این منحنی‌ها بسیار پیچیده بوده و توام با اشتباهات قابل ملاحظه می‌باشد.

با توجه به مطالب اشاره شده تعیین خسارات خاموشی بر مبنای تأثیر آن بر روی

فعالیتهای تولیدی مناسب‌تر و دقیق‌تر می‌باشد. در جریان تولید سرمایه و کار همراه با سایر داده‌ها نظیر مواد اولیه و کالاهای واسطه در طی زمان جریانی از ستاده‌ها را بوجود می‌آورد، در شرایط رقابت آزاد سود خالص حاصل از تولید یک واحد نهائی در زمان معین برابر ارزش واحد تولیدی منهای ارزش داده‌های سیستم می‌باشد. هنگامی که خاموشی رخ می‌دهد سود حاصل از تمام فعالیتهائی که وابسته به برق می‌باشد کاهش می‌یابد و خسارات خاموشی به صورت مستقیم نمایان می‌گردد، به دلیل اینکه هزینه داده‌های جریان تولید افزایش یافته یا اینکه ارزش ستاده‌ها تنزل می‌نماید به خصوص قطع برق احتمالاً موجب ضایعات مواد اولیه یا تولیدات واسطه یا محصول نهائی گردیده و یا اینکه عوامل تولید بلااستفاده باقی می‌ماند.

۴ ـ ارتباط بین هزینه و طول مدت خاموشی :

مهمترین مسأله در برآورد خسارات ناشی از خاموشی ارتباط بین طول مدت خاموشی و خسارات وارده می‌باشد، اگر جمع خسارات خاموشی به صورت تابع خطی از طول مدت خاموشی نباشد برآورد خسارات حاصله نادرست خواهد بود. خسارات خاموشی مصرف‌کنندگان صنعتی، کشاورزی، روستائی و غیره به دو بخش ثابت و متغیر تقسیم می‌شود، هزینه‌های ثابت به مجرد وقوع خاموشی بوجود می‌آید و مستقل از طول زمان خاموشی می‌باشد، هزینه‌های متغیر با طول زمان خاموشی افزایش می‌یابد.

مطالعه حاضر نشان می‌دهد اغلب بررسیهای که تاکنون به منظور برآورد هزینه خاموشی انجام شده الگوی مناسبی جهت تجزیه و تحلیل اثرات ناشی از خاموشی و در نتیجه برآورد خسارات حاصله بدست نمی‌دهد، بطور کلی این مسأله که تولید به صورت پروسه‌ای که در طول زمانهای متعدد انجام می‌گیرد نادیده گرفته می‌شود در نتیجه روشهای موجود برآورد خسارات خاموشی صرفاً جنبه‌های مالی هزینه خاموشی را برآورد می‌نماید تا اثرات اقتصادی آن را. همچنین در اکثر مطالعات فقط خسارات وارده به مشترکین تجاری و صنعتی بررسی می‌گردد. حتی در مطالعاتی که خسارات وارده به مشترکین خانگی را بررسی می‌نماید هزینه فرصت زمان هدر رفته در اثر خاموشی نادیده گرفته می‌شود و نهایتاً توجه لازمه به ارتباط بین طول زمان خاموشی و خسارات حاصله نمی‌گردد.

روشهای برآورد هزینه خاموشی برای گروههای مختلف مصرف‌کنندگان باید به شیوه خرد نگری و توجه به خصوصیات خاص مشترکین انجام گیرد، کاربرد این هزینه‌ها بستگی به وجود اطلاعات کافی از سطح فعالیت اقتصادی و اثرات ناشی از خاموشی دارد البته می‌توان با

استفاده از روشهای میان بر حجم کار میدانی لازم جهت مطالعات میکرو را تقلیل داد، بطور مثال ارزش افزوده برای هر کیلووات‌ساعت در صنایع خاص می‌تواند ملاک خوبی برای برآورد متوسط هزینه خاموشی هر کیلووات‌ساعت باشد.

۵ ـ کاربرد هزینه خاموشی :

کاربرد هزینه‌های خاموشی در قسمتهای مختلف شبکه از مسیر تولید تا شبکه‌های توزیع را می‌توان به شرح زیر بیان نمود.

۱ ـ ۵ ـ برنامه‌ریزی تولید :

کاربرد استفاده از نتایج مطالعات خاموشی و ارزش آن در نیروگاهها را می‌توان به شرح زیر مطرح نمود.

ـ تعیین بهینه ظرفیت ذخیره با توجه به توازن بین سرمایه‌گذاری و خسارات خاموشی.
ـ برنامه‌ریزی مطلوب منابع در شرایط عدم اطمینان.
ـ معیار انتخاب مکان نیروگاهها و خطوط با توجه به اختلاف جغرافیائی هزینه خاموشی.
ـ تعیین مبانی میزان اختصاص سرمایه برای منابع مختلف.
ـ توجیه سرمایه‌گذاری در تأسیسات تولید برق.

۲ ـ ۵ ـ شبکه توزیع و فوق توزیع :

در این بخش از شبکه نیز هزینه‌های خاموشی نقش مهمی را ایفا می‌نماید که می‌توان موارد زیر را نام برد.

ـ توجیه اقتصادی تقویت شبکه و خطوط توزیع.
ـ طرح و اجرای پست و خطوط انتقال اختصاصی.
ـ معیار تخصیص بودجه برای تغییرات سیستم در مقابل هزینه خاموشی منطقه‌ای.
ـ تقدم تعمیر پستها و فیدرها.

۳ ـ ۵ ـ بهره‌برداری :

در رابطه با بهره‌برداری و نگهداری از شبکه‌های برق نقش بکارگیری هزینه‌های خاموشی را می‌توان به شرح زیر خلاصه نمود.

ـ گسترش مدیریت کمبود.

ـ تعیین سطح بهینه کاهش مصرف و راهنمای نرخ.
ـ برنامه‌ریزی منظم جهت انتخاب بهینه زمان بازدید.
ـ برنامه‌ریزی تعمیرات برای یکنواخت کردن خسارات خاموشی.
ـ مدیریت سوخت.

۴ ـ ۵ ـ نرخ‌گذاری :

یکی دیگر از موارد استفاده از هزینه‌های خاموشی بکارگیری آن در نرخ‌گذاری می‌باشد که در این رابطه می‌توان موارد زیر را مطرح نمود.
ـ تعیین تعرفه‌های فروش برق با توجه به قابلیت اطمینان توزیع.
ـ نرخ‌گذاری با توجه به نوع مصرف و ضریب اطمینان آن.
ـ طراحی نرخ بر مبنای زمان مصرف.

۶ ـ نتیجه‌گیری :

خسارات خاموشی نمایانگر عواقب اقتصادی کاهش عرضه برق به مشترکین هنگام افزایش موقت تقاضای برق نسبت به ظرفیت قابل بهره‌برداری می‌باشد. این کاهش قدرت برای مصرف‌کننده به صورگوناگون نظیر کاهش ولتاژ و فرکانس یا قطع کامل برق متجلی می‌گردد، گر چه تمام این پدیده‌ها خساراتی را به مصرف‌کنندگان تحمیل می‌نماید لیکن خسارات قطع کامل برق بی‌تردید بالاترین هزینه خاموشی را ایجاد می‌نماید. باید توجه نمود که هزینه خاموشی مصرف‌کنندگان مختلف متفاوت بوده و میزان تغییرات هزینه خاموشی درون طبقات و بین طبقات مختلف بستگی به میزان اتکاء مشترکین به مصرف برق و همچنین قابلیت جبران تولید یا محصول از دست رفته در اثر خاموشی دارد، معمولاً هزینه خاموشی به دو بخش خسارات مستقیم و خسارات غیرمستقیم خاموشی تقسیم می‌گردد.

تعیین صحیح هزینه خاموشی شرط لازمه تعیین سطح قابلیت اطمینان سیستم می‌باشد. مهمترین مورد استفاده عملی هزینه خاموشی تعیین استانداردهای اقتصادی مناسب از سطح قابلیت اطمینان طرحهای تولید، انتقال و توزیع و همچنین بهینه‌سازی سیستم می‌باشد. اغلب در مطالعات انجام شده توجه کافی به هزینه‌های خاموشی ناشی از اشکال در شبکه انتقال یا توزیع نمی‌گردد در حالی که بخش عمده‌ای از هزینه‌های خاموشی مربوط به اختلالات شبکه توزیع می‌باشد.

مهمترین مسئله‌ای که در برآورد هزینه خاموشی وجود دارد ارتباط بین طول زمان

خاموشی و خسارات وارده می‌باشد اگر چنانچه خسارات خاموشی به صورت تابع خطی از طول زمان خاموشی نباشد مطالعاتی که بر این مبنا انجام می‌گیرد به بیراهه رفته و نتایج نادرستی به دست می‌دهد یکی از دقیق‌ترین روشها برآورد خسارات خاموشی در بخشهای مختلف به تفکیک هزینه‌های ثابت و متغییر خاموشی می‌باشد که در مقاله حاضر مد نظر قرار گرفته است.

۷ ـ منابع :

۱ ـ شیرین باکمالی "بررسی هزینه خاموشی در چند کشور" دفتر بار و انرژی و مدیریت مصرف معاونت برنامه‌ریزی، شرکت توانیر، مهر ۱۳۷۳.

2 - Sh. Bakamali; "A Suitable method for utility pricing", PSC-94 Saint-Petersburg, Russia, July 1994.

3 - Sh. Bakamali; "Rating model for electric utility" IASTED, Tehran Tehran University, July 1990.

4 - Ron Allen & Roy Billinton; "Power System reliability", University of Saskatchewan, Canada.

5 - Mohan Munasinghe; "Costs incurred by residential electricity due to power failure" Journal of Consumer Research.

6 - Mohan Munasinghe; "Electric power economics".

7 - Mohan Munasinghe; "The economics of power system, reliability and planning" Baltimore The Johns Hopkins University Press 1979.

8 - Michael Beenstock; "Generators and the cost of electricity outages" Energy Economics, Oct. 1991.