دانشگاه آزاد اسلامي واحد دماوند
دانشكده فني و مهندسي
كروه مهندسي برق

پروژه تاسیسات الکتریکی

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت

مهرداد دقیق فرسوده
و
حمید داوری راد

استاد راهنما:
مهندس محمد ایمان غیاثی

بهار ۸۸

Damavand Islamic Azad University

Electric Installation Project

Reliability Evaluation Of Power Systems

By:

Mehrdad Daghigh Farsude

&

Hamid Davary rad

Teaher:

M.I.Ghiasy

May ۲۰۰۹

فهرست

فصل اول

۱-مقدمه ٤

۱-۱ سابقه بحث ٤

۱-۲ تغيير سناريو ٦

۱-۳ معيار احتمالاتي قابليت اطمينان ٦

۱-٤ مقادير آماري و احتمالاتي ۸

۱-٥ مقادير مطلق و نسبي ۱۲

۱-٦ روشهاي ارزيابي ۱٤

۱-۷ مفاهيم كفايت و امنيت ۱٦

۱-۸ تحليل سيستم ۱۹

۱-۹ هزينه و ارزش قابليت اطمينان ۲۲

۱-۱۰مفاهيم داده ها ۲٦

۱-۱۱ تفسير نهايي ۲۷

فصل دوم

۲-ظرفيت توليد-روشهاي احتمالي پايه ۲۹

۲-۱ مقدمه ۲۹

۲-۲ مدل سيستم توليد ۳۳

۲-۲-۱ عدم دسترسي واحد هاي توليدي ۳۳

۲-۲-۲ جدول احتمالي خاموشي ظرفيت ۳۹

۲-۲-۳ مقايسه معيار قطعي و احتمالي ٤٤

۲-۲-٤ يك الگوريتم بازگشتي براي ساخت مدل ظرفيت ٤۹

۲-۲-٥ الگوريتم بازگشتي براي خ ٥۰

۲-۲-٦ روشهاي ديگر ساخت مدل ٥۲

۲-۳ شاخصهاي از دست دادن بار ٥۸

۲-۳-۱ مفاهيم و روشهاي ارزيابي ٥۸

۲-۳-۲ مثالهاي عددي ٦۲

۲-٤ نرخ خروج اجباري معادل (EFOR) ٦۸

۲-٥ تحليل توسعه ظرفيت ۷۱

۲-٥-۱ روشهاي ارزيابي ۷۱

۲-٥-۲ اثرات اختلال ۷٤

۲-٦ خروجهاي برنامه ريزي شده ۷۸

۲-۷ روشهاي ارزيابي بر پايه دوره ۸۲

۲-۸ عدم قطعيت در پيش بيني بار ۸٤

۲-۹ عدم قطعيت در نرخ خروج اجباري ۹۱

۲-۹-۱ روش دقيق ۹۳

۲-۹-۲ روش تقريبي ۹٤

۲-۹-۳ كاربرد ۹٤

۲-۹-٤ محاسبات LOLE ۹٦

۲-۹-٥ ملاحظات اضافي ۹۹

۲-۱۰ شاخصهاي از دست رفتن انرژي ۱۰۰

۲-۱۰-۱ شاخصهاي ارزيابي انرژي ۱۰۰

۲-۱۰-۲ انرژي مورد انتظار تامين نشده ۱۰۳

۲-۱۰-۳ سيستمهاي انرژي محدود شده ۱۰۷

۲-۱۱ مطالعات عملي سيستم ۱۱۱
۲-۱۲ نتايج ۱۱۲
مراجع..... ۱۱٤

مقدمه

۱-۱ سابقه بحث

سیستم های قدرت الکتریکی بسیار پیچیده اند. تعدادی از عوامل این پیچیدگی ها عبارتند از:

ابعاد فیزیکی آنها، گسترش جغرافیای شبکه توزیع شده، به هم پیوستگی آنها در سطح ملی و بین المللی، عدم عبور توان از مسیر مورد نظر بهره بردار و طبیعت آن از قوانین فیزیکی. این واقعیت که انرژی الکتریکی نمی تواند به طور مناسب و موثر و به مقدار زیاد ذخیره شود؛ رفتار غیرقابل پیش بینی سیستم در یک نقطه از آن می تواند تأثیر زیادی را در فواصل زیاد از منبع آشفتگی به همراه داشته باشد و دلایل متعدد دیگر. این عوامل به خوبی در مهندسی سیستم قدرت و مدیریت ها شناخته شده اند، بنابراین به اختصار به آنها پرداخته می شوند. در هر حال تاریخچه توسعه و سناریوهای جاری بین شرکت های قدرت الکتریکی برای درک مناسب چرایی و چگونگی ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت الکتریکی پیچیده می‌باشد.

سیستم های قدرت در دهه های اخیر همواره در حال پیشرفت بوده اند. نخستین تأکید آنها بر تامین یک منبع قابل اطمینان و اقتصادی انرژی الکتریکی برای مصرف کننده ها می باشد[۱].

ظرفیت های اضافی و ذخیره در تولید و لوازمات شبکه تامین می شوند تا به حد کافی و قابل قبول پیوستگی منبع انرژی را در صورت بروز خطا و خاموشی های اجباری نیروگاه و قطع با برنامه های شبکه جهت تعمیرات تامین نماید. مقدار افزونگی ظرفیت باید متناسب با نیاز بوده و منبع نیز تا حد ممکن اقتصادی باشد. بنابراین سوال اصلی اینست: "چه مقدار افزونگی و یا چه قیمتی".

احتمال قطعی مصرف کننده ها بوسیله افزایش در سرمایه گذاری در بخش فاز طراحی، فاز بهره برداری یا هردو می تواند کاهش داده شود. افزایش سرمایه گذاری می تواند به افزایش قیمت بهره برداری منجر شود و باید در ساختار تعرفه منعکس گردد. در نتیجه اگرچه ممکن است سیستم بسیار مطمئن بوده باشد اما نتیجه به

کارگیری آن ایجاد فشارهای اقتصادی است. از طرف دیگر سرمایه گذاری کم به طرف نقطه مخالف حرکت می کند. بنابراین بدیهی است که فشارهای اقتصادی و قابلیت اطمینان می توانند باهم رقابت داشته باشند و این مسئله به بحث های مشکل مدیریتی در فازهای طراحی و برداری می انجامد.

این مسائل به طور گسترده ای بررسی و شناسایی شده اند و در چند دهه اخیر معیارها، روش های طراحی و برنامه ریزی و بهره برداری برای تحلیل و بهبود وضع دشوار بین فشارهای اقتصادی و قابلیت اطمینان توسعه داده شده اند. اما معیارها و روش های ابتدایی مورد استفاده در کاربردهای عملی همه بر پایه روش های قطعی اند. معیارهای نوعی عبارتند از:

الف) ظرفیت برنامه ریزی شده تولید- ظرفیت منصوبه معادل با حداکثر تقاضای مورد انتظار به اضافه درصد ثابتی از حداکثر تقاضای مورد انتظار.

ب) ظرفیت بهره برداری- ظرفیت در حال گردش معادل با تقاضای بار مورد انتظار به اضافه ذخیره معادل با یک بزرگترین واحد.

ج) ظرفیت برنامه ریزی شده شبکه- ترکیب تعداد حداقل مدارات با یک گروه بار (معمولاً به صورت یک معیار (n-۱) یا (n-۲) شناخته شده که بستگی به مقدار مازاد دارد)، که حداقل تعداد بستگی به حداکثر تقاضای گروه دارد.

اگرچه این روش ها و دیگر معیارهای مشابه برای محاسبه خرابی های تصادفی بوجود آمده، تعمیم داده شده اند ولی ذاتاً آنها قطعی و مشخص می باشند. ضعف عمده معیارها در اینست که آنها نمی توانند برای طبیعت احتمالاتی یا آماری رفتار سیستم، تقاضاهای مشترکین یا انواع خرابی ها بکار روند.

جنبه های احتمالاتی عموماً عبارتند از:

الف) نرخ های خاموشی اجباری واحدهای تولیدی با تابعی از اندازه واحد و نوع آن شناخته می شوند و بنابراین درصد ثابت ذخیره ریسک مورد نظر را نمی توانند تامین کنند.

ب) نرخ خرابی یک خط هوایی تابعی از طول، طراحی، موقعیت و محیط می باشد، بنابراین ریسک مورد نظر خاموشی منبع تغذیه نمی تواند بوسیله تعداد حداقل مدارات تامین شود.

ج) تمام بحث های برنامه ریزی و بهره برداری بر پایه روش های پیش بینی بار می باشند. این روش ها بدقت نمی توانند بارها را پیش بینی نمایند و در پیش بینی ها عدم قطعیت‌هایی وجود دارند.

۱-۲ تغییر سناریو

تا انتهای دهه ۱۹۸۰ و نزدیک به سال ۱۹۹۰، تمام سیستم های قدرت توسط دولت ها به طور مستقیم یا غیرمستقیم از طریق آژانس هایی یا در اختیار شرکت های خصوصی بهره‌برداری می شدند و تحت کنترل سیاست ها و قوانین دولتی درآمده، یا به صورت کنترل شده و یا قراردادی بودند. این سیستم ها که به طور مرکزی برنامه ریزی و بهره برداری شده‌اند، برای انتقال انرژی از منابع بزرگ تولید از طریق سیستم های انتقال و توزیع به مصرف کننده های اختصاصی به کار می رفتند.

قانون زدایی از شرکت های خصوصی و خصوصی سازی صنایع دولتی به شدت در حال انجام است. هدف افزایش رقابت، جداسازی بخش های مختلف، و اجازه دسترسی به سیستم نه تنها برای تولیدکنندگان و مشتریان بلکه فروشندگان انرژی می باشد. پس گرایش به سوی مفهوم "بازار برق" با انجام معامله در سطوح واسطه متعدد در سراسر سیستم پیش می رود. این مسئله به مفهوم "مشترکین" به جای "مصرف کننده ها" تمایل دارد. چراکه تعدادی از مشترکین نیاز به مصرف ندارند، بلکه انرژی را به صورت یک کالا دوباره می فروشند. نتیجه این توسعه، افزایش در مقدار انرژی تولیدی در سطوح توزیع محلی توسط ژنراتورهای غیرشرکتی مستقل و افزایش انواع جدید منابع انرژی تجدیدپذیر و طرح های توسعه داده شده CHP[۲] (تولید توام گرما و توان) می باشد.

گرچه این تغییر سناریو ممکن است تأثیر بسیار زیادی روی روش سیستم توسعه و بهره‌برداری و سطوح قابلیت اطمینان آینده و استانداردها بگذارد. ولی نیاز به تشخیص اثر توسعه سیستم روی مشترکین و اصول اساسی ارزیابی قابلیت اطمینان را مرتفع نمی سازد و نیاز به ارزیابی عملکرد کنونی و پیش بینی رفتار آینده سیستم ها باقی می ماند. احتمالا آنچه بیشتر اهمیت دارد، افزایش تعداد بازیگران در بازار انرژی الکتریکی است.

۱-۳ معیار احتمالاتی قابلیت اطمینان

رفتار سیستم در طبیعت تصادفی است، بنابراین منطقی است که ارزیابی چنین سیستمهایی باید بر اساس روش هایی باشد که به این رفتار پاسخ دهند (یعنی روش های احتمالاتی). این موضوع از سال ۱۹۳۰ شناخته شده است [۵-۲] و تاکنون انتشارات زیادی مربوط به توسعه مدلها، روش ها و کاربرد ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت موجود بوده است [۱۱-۶]. در هر حال این حقیقت وجود دارد که بیشترین برنامه ریزی، طرح و معیار بهره‌برداری حاضر، بر اساس روش های برآوردی قطعی می باشد. اینها برای چند دهه توسط شرکت ها مورد استفاده قرار گرفته اند و بحثی که می تواند باشد و هست، اینکه آنها در گذشته بسیار خوب در صنعت بکار گرفته شده اند. به هر حال توجیه استفاده از یک روش احتمالاتی این است که شامل ارزیابی موارد بیشتری در پروسه تصمیم گیری می باشد. برای بررسی این مفهوم مناسب است که به سابقه تاریخی برگشته و دو مطلب ارائه شود:

مسئله اساسی در برنامه ریزی سیستم، برآورد صحیح ظرفیت ذخیره می باشد. مقدار بسیار کم آن، قطعی وسیع و مقدار بسیار زیاد، گرانی را به همراه دارد. نتیجه نامعلوم بودن قابلیت اطمینان واقعی هر تاسیساتی، هدر رفتن بیشتر سرمایه است.

بطور معمول، پیچیدگی مسئله در یافتن پاسخی برای آن بوسیله قوانین شست را مشکل می‌سازد. با وجود همان پیچیدگی از یک طرف و مهندسی خوب و صدای اقتصادی از طرف دیگر تصدیق می کنند که استفاده روش های تحلیلی، ارزیابی منظم تمام عوامل مهم را اجازه می دهد. هیچ روش دقیقی در دسترس نیست که اجازه دهد مسائل ذخیره به همان دقتی که مسائل مدار بوسیله کاربرد قانون اهم حل می گردد، حل شوند. در هر حال مشکل اساسی آنها بوسیله کاربرد "عاقلانه" تئوری احتمالاتی انجام می پذیرد.

(GIUSEEPPE CALABRESE (۱۹۴۷)[۱۲])

مزایای ظرفیت که از اتصالات دو یا چند سیستم تولید الکتریکی نتیجه می شود، می تواند با بهترین و بیشترین منطق بوسیله روش های احتمالاتی ارزیابی شود، و چنین مزایایی اغلب به طور عادلانه در سیستم های عملی به

اتصالات با مفهوم "روش مزایای متقابل تخصیص" اختصاص داده می شود، چون بر اساس مزایای متقابل چندین سیستم انجام گرفته است.

(CARL WATCHORN(۱۹۵۰)[۱۳])

این شخصیت های برجسته از ۵۰ سال قبل نیاز به "ارزیابی احتمالاتی"، "رابطه اقتصاد با قابلیت اطمینان" و "ارزیابی مزایا یا ارزش" را شناسایی کردند، در زمانی که هنوز روش ها و معیارهای برآورد قطعی در بخش های برنامه ریزی و بهره برداری حاکم بودند.

دلایل عمده ذکر شده برای این وضعیت: فقدان اطلاعات، محدودیت کامپیوتر، فقدان روشهای حقیقی قابلیت اطمینان، بیزاری از استفاده روش های احتمالاتی و عدم فهم صحیح و معنی احتمالات و شاخص های ریسک می باشند. این دلایل امروزه معتبر نمی باشند چون اغلب شرکت ها اطلاعات کاربردی و معتبر داشته، روش های ارزیابی قابلیت اطمینان بسیار پیشرفته می باشند و اغلب مهندسین درک کاربردی از روش های احتمالاتی دارند. هدف ما این است که بهبود روش های مناسب ارزیابی قابلیت اطمینان جهت استفاده در سیستم قدرت را نشان دهیم نماید و اهمیت شاخص های قابلیت اطمینان متعددی را که می تواند ارزیابی گردد توضیح دهیم. این تحقیق آشکارا نشان می دهد که نیازی به محدود کردن مصنوعی طبیعت احتمالاتی و ذات احتمالاتی سیستم قدرت به حوزه قطعی وجود ندارد، با وجود این حقیقت که، چنین حوزه ای ممکن است احساس راحتی و امنیتی بیشتری نماید.

۱-۴ مقادیر آماری و احتمالاتی

آنچه که در این مرحله اهمیت دارد تخمین چرایی فعالیت هایی است که باید با در نظر گرفتن ارزیابی امنیت انجام شود. خرابی های قطعات، وسائل و سیستم ها به طور تصادفی رخ می دهند و توالی، مدت و شدت خرابی ها سالانه تغییر می کند. مسئله جدید و غیرمنتظره‌ای درباره این موضوع وجود ندارد. معمولاً تمام شرکت ها مشروح حوادث را بطوریکه اتفاق می افتند، ثبت می نمایند و یک دسته از مقادیر عملکرد را به دست می‌آورند. اینها می توانند محدود شوند یا از لحاظ تعداد و مفهوم وسیع باشند که شامل بندهایی مثل موارد زیر می باشد:

- دسترس پذیری سیستم
- برآورد انرژی تامین نشده
- تعداد حوادث
- تعداد ساعات قطعی
- خروج از محدوده تنظیم ولتاژ
- خروج از محدوده تنظیم فرکانس

این مقادیر با ارزش هستند چون آنها:

الف) نقاط ضعف که به تقویت و اصلاح نیاز دارند را شناسایی می کنند.

ب) روندهای ترتیب وقایع را در انجام قابلیت اطمینان ارائه می کنند.

ج) استفاده شاخص های موجود را که به صورت راهنمایی برای مقادیر مورد قبول در ارزیابی‌های قابلیت اطمینان آینده بکار می روند، ارائه می کنند.

د) توانیی مقایسه پیش بینی های قبلی با تجربه های عملی را تامین می کنند.

ه) پاسخ در تغییرات طراحی سیستم را نمایش می دهند.

نکته مهم اینکه این مقادیر، شاخص های آماری هستند و آنها مقادیر قطعی نمی باشند اما در بهترین حالت مقادیر متوسط یا امید یک توزیع احتمالاتی می باشند.

اگر رفتار آینده سیستم در حال ارزیابی باشد، همان اصول اساسی بکار می رود. فرض می‌کنیم ایراداتی که به طور تصادفی در گذشته اتفاق افتاده در آینده نیز رخ دهد، لذا سیستم به طور احتمالاتی، یا صراحتاً بطور اتفاقی رفتار می کند. مقادیر پیش بینی شده که می توانند با مقادیر یا شاخص های عملکرد قبلی مقایسه شوند می توانند در مقایسه تاریخ گذشته و پیش بینی آینده بسیار مفید باشند. این مقادیر تنها به کمک روش های احتمالاتی پیش بینی می شوند و تلاش جهت انجام کار به کمک روش های قطعی، امری واهی می‌باشد.

برای استفاده روش ها و معیارهای قطعی، سیستم باید به شکل مصنوعی به صورت مقادیر تنظیمی معینی که نه تغییرپذیری و نه عدم قطعیت دارند، باشد. شناسایی این محدوده در یک مطالعه وسیع، سناریوهای مشخص یا حوادث معتبر را نتیجه می دهد. ضعف اساسی این است که از احتمال صرف نظر شده و نمی توان ریسک واقعی را تعیین کرد.

در این جا، مروری بر تفاوت خطر و ریسک و روشی که این دو به وسیله تقریب های قطعی و احتمالاتی تعیین می گردند، مفید می باشد. بحث این مفاهیم در "سیستم های مهندسی" ارائه شده است، ولی تکرار آن مفید می باشد.

دو مفهوم خطر و ریسک اغلب با هم اشتباه می شوند. درک ریسک اغلب بوسیله احساسی که می تواند صنعت را در یک وضعیت بدی قرار دهد، معادل شده است. خطر حادثه ای است که اگر اتفاق بیافتد به حالت خطرناک یا خرابی در سیستم هدایت می شود. به عبارت دیگر خطر یک حادثه نامطلوب است و شدت آن در ارتباط با دیگر حوادث می تواند درجه بندی گردد. تحلیل های قطعی، تنها خروجی و درجه بندی حوادث را می توانند در نظر بگیرند. ولی خطر، حتی اگر بی نهایت نامطلوب باشد، اگر اتفاق نیافتد پی آمدی ندارد یا به عکس می تواند صرف نظر گردد. به عبارت دیگر نه تنها ریسک حوادث پرخطر و شدت آنها را شامل می شود بلکه شامل احتمال آنها نیز می شود. ترکیب شدن و احتمال پارامترهای وسائل و سیستم است که ریسک واقعی را نشان می دهد. این موضوع تنها می تواند بوسیله روش های احتمالاتی انجام گیرد.

۱-۵ مقادیر مطلق و نسبی

محاسبه شاخص های قابلیت اطمینان برای یک دسته بخصوص اطلاعات و شرایط سیستم ممکن است. این شاخص ها می تواند به صورت مقادیر مطلق یا نسبی قابلیت اطمینان سیستم دیده شود.

شاخص های مطلق مقادیری هستند که انتظار می رود یک سیستم آن را در معرض نمایش قرار دهد. آنها می توانند بخش هایی از عملکرد گذشته را نشان دهند چون اطلاعات کامل از آنها مشخص است. اما پیش بینی آینده- آن هم با دقت فراوان- اگر غیرممکن نباشد بی‌نهایت مشکل است. چراکه عملکرد آینده بطور قابل توجه

ای با عدم قطعیت های خاصی که به اطلاعات عددی و نیازمندی های پیش بینی شده سیستم وابسته است، حاصل می‌شود. همچنین مدل های مورد استفاده نه تنها بسیار با دقت رفتار دستگاه یا سیستم را نشان نمی دهند بلکه تقریبی هستند. این موضوع مسائل مورد توجهی را برای عملکردهایی که مقادیر مطلق بسیار مطلوب است، مطرح می کند. بنابراین دقت در این عملکردها حیاتی است، به ویژه در وضعیت هایی که وابستگی سیستم وجود دارد، مانند خطاهای رایجی که باعث بروز خطاهای اضافی در سیستم می گردد.

از سوی دیگر شاخص های قابلیت اطمینان نسبی آسانتر تفسیر می شوند و معمولاً می توان اطمینان قابل ملاحظه ای را در آنها یافت. در این حالت ها می توان رفتار سیستم قبل و بعد از یک طراحی یا تغییر عملکرد را ارزیابی کرد. نتیجه این تغییر عملکرد بوسیله ارزیابی نسبی بهبود می یابد. بنابراین شاخص ها با یکدیگر و نه در برابر اهداف مشخص شده، مقایسه می‌شوند. این امر موجب اطمینان از وجود عدم قطعیت در اطلاعات و نیازهای سیستم در تمام شاخص ها می شود بنابراین اطمینان معقول در اختلافات مربوط می بایستی موجود باشد. در عمل، تعدادی مشخص از استراتژی ها و سناریوهای طراحی و عملکرد مقایسه می‌شوند و هرکدام از نظر فایده درجه بندی می شوند. این موضوع به تعیین شایستگی نسبی هر راه حل کمک می کند و یکی از آنها را همواره بدون تغییر در نظر می گیرد.

بخش های آینده این تحقیق، توصیف روش هایی برای ارزیابی این شاخص ها و مقادیر می‌باشد. تأکید فراوان روی استفاده آنها به صورت مقادیر نسبی می باشد.

نکته مهمی که باید در زمان ارزیابی این مقادیر به یاد داشته باشید این است که فهم کاملی از عملیات مهندسی سیستم ضروری است. مقدار تئوری احتمالاتی نمی تواند این تابع مهندسی مهم را تحت شعاع قرار دهد. بنابراین واضح است تئوری احتمالاتی تنها ابزاری است که یک مهندس را قادر می سازد تا دانش سیستم را به پیش بینی رفتار آینده احتمالی تبدیل کند. تنها بعد از رسیدن به این فهم است که می توان از مدلی نتیجه گرفت و روش ارزیابی مناسبی را انتخاب نمود. هم مدل و هم روش باید انعکاس و پاسخ عملکردها و خطاهای سیستم باشند. بنابراین گام های اصلی شامل:

- فهم عملکرد اجزای سیستم
- شناسایی راه هایی که خرابی ها می توانند اتفاق بیافتد
- استنباط توالی خرابی ها
- استخراج مدل هایی برای نمایش این مشخصات
- سرانجام انتخاب روش ارزیابی.

۱-۶ روش های ارزیابی

شاخص های قابلیت اطمینان سیستم قدرت می تواند بوسیله روش های گوناگونی محاسبه شوند. اساس روش ها در "سیستم های مهندسی" توصیف شده و کاربردهای مشروح در بخشهای آینده شرح داده می شوند.

دو روش اصلی، روش تحلیلی و شبیه سازی می باشند. بسیاری از روش ها بر پایه روش تحلیلی می باشند و روش های شبیه سازی نقش کمتری در کاربردهای مشخص دارند. دلیل اصلی این است که معمولاً شبیه سازی به زمان محاسباتی زیادی نیازمند است و مدل ها و روش های تحلیلی به طور موثری برای برنامه ریزها و طراحان، نتایج عینی مورد نیاز را تهیه می نمایند. اکنون این موضوع تغییر کرده است و علاقه جهت مدلسازی جامع رفتار سیستم و ارزیابی مناسب مجموعه شاخص های قابلیت اطمینان سیستم افزایش یافته است (سیستمهای مهندسی، مرجع ۱۴ و مقالات متعدد مربوطه در مراجع ۶-۱۰ را ببینید).

روش های تحلیلی سیستم را بوسیله یک مدل ریاضی نمایش می دهند و از این مدل شاخص های قابلیت اطمینان به کمک حل عددی مستقیم محاسبه می گردند. معمولاً مدل‌ها شاخص های مورد انتظار را در یک زمان محاسباتی نسبتاً کوتاه تهیه بدست می‌دهند. متاسفانه، خیلی اوقات مفروضات برای ساده سازی مسئله تهیه و مدل تحلیلی سیستم نیاز می باشد. این حالت بویژه مربوط به زمانی که سیستمهای پیچیده و فرآیند بهره

برداری پیچیده باید مدل شوند، می باشد. بنابراین تحلیل نهایی می تواند کم و بیش یا بیشتر مفهومش را از دست بدهد. در چنین حالتی استفاده از روش های شبیه سازی در ارزیابی قابلیت اطمینان خیلی مهم است.

روش های شبیه سازی شاخص های قابلیت اطمینان را بوسیله شبیه سازی فرآیند واقعی و رفتار تصادفی سیستم برآورد می کند. بنابراین روش با مسئله به صورت یک سری آزمایشات واقعی رفتار می کند. بطور تئوری روش ها واقعاً می توانند تمام مقاصد و روابط ذاتی در برنامه ریزی، طراحی و بهره برداری سیستم قدرت را به حساب بیاورند. اینها شامل حوادث اتفاقی نظیر خاموشی ها و تعمیرات اجزاء که به وسیله توزیع احتمالاتی معمول نمایش داده شده، وابستگی حوادث و رفتار عناصر، طبقه بندی خرابی های عناصر، تغییرات بار، تغییر ورودی انرژی نظیر آنچه در ژنراتورهای آبی اتفاق می افتد، همانند تمام انواع رویه های مختلف بهره برداری می باشد.

اگر عملکرد موجود سیستم برای یک دوره زمانی طولانی شبیه سازی شود، مطالعه رفتار سیستم تصویر روشنی از نوع کمبودهایی که سیستم ممکن است تحمل نماید، قابل اجراست. این اطلاعات ثبت شده اجازه می دهد تا مقادیر مورد انتظار شاخص های قابلیت اطمینان همراه با توزیع های فراوانی های آنها ارزیابی شوند. این اطلاعات جامع توصیفی کامل از قابلیت اطمینان سیستم را ارائه می دهد.

مراحل شبیه سازی می تواند بوسیله یکی از دو رویکرد زیر دنبال شود:

الف) تصادفی- بعد از انتخاب این فواصل با یک روش تصادفی، فواصل زمانی پایه در دوره شبیه سازی آزمایش می شوند.

ب) دائمی- هر فاصله زمانی اصلی دوره شبیه سازی شده به ترتیب وقوع آزمایش می گردد.

فاصله زمانی پایه بر طبق نوع سیستم تحت مطالعه، همانند طول دوره ای که بایستی شبیه‌سازی شود، انتخاب می گردد به این دلیل سطح اطمینان معین در شاخص های برآوردی را تامین کند.

انتخاب روش شبیه سازی بخصوص، به نقشی که گذشته سیستم در رفتارش بازی می کند، بستگی دارد. اگر گذشته هیچ تاثیری نداشته باشد روش تصادفی می تواند استفاده شود، اما اگر گذشته روی شرایط حاضر تأثیر

بگذارد روش دائمی نیازمند می باشد. این در حالتی است که سیستم قدرتی شامل نیروگاه آبی با استفاده قبلی از منابع انرژی (نظیر آب) توانایی تولید انرژی در فواصل زمانی بعدی را تحت تأثیر قرار می دهد.

باید توجه شود که قطع نظر از اینکه چه روشی استفاده شود، شاخص های پیش بینی شده، تنها می توانند به خوبی مدل نتیجه گرفته شده برای سیستم، تناسب روش، کیفیت اطلاعات مورد استفاده در مدل ها و روش ها، باشند.

۱-۷ مفاهیم کفایت و امنیت

هر زمان که بحث قابلیت اطمینان سیستم قدرت پیش می آید، همواره حالت هایی از سیستم مطرح می شود که می تواند شامل حالات کفایت، امنیت، وضعیت اعلام خطر، حالت اضطراری و یا حالت های دیگر باشد [۱۵]. بویژه این حالات برای سیستم های انتقال نیز مطرح می باشد. بنابراین بحث در مورد این موضوع و مفهوم چنین حالت هایی مفید می‌باشد.

مفهوم کفایت معمولاً به وجود امکانات مناسب و کافی در سیستم جهت رساندن انرژی مورد تقاضای مشترکین در نظر گرفته می شود [۱]. این امکانات شامل تولید انرژی کافی، پیوستگی شبکه های انتقال و توزیع جهت انتقال انرژی به نقاط بار مشترکین می باشد. بنابراین کفایت به حالتی از سیستم که در شرایط استاتیکی و بدون وجود اغتشاش هاست، مرتبط می شود.

از طرف دیگر امنیت به توانایی سیستم جهت پاسخ به اغتشاش های رخ داده بین سیستم، عنوان می گردد [۱]. بنابراین امنیت، به پاسخ سیستم به اغتشاش های مربوطه ارتباط دارد. اینها شامل شرایطی است که سبب تأثیرات محلی و گسترده و از دست دادن تولید اصلی و امکانات انتقال می باشند.

هدف این بخش از بحث درک تفاوت این دو مفهوم از یکدیگر است. این موضوع می تواند به یک سوءتفاهم در این بحث منجر گردد. در واقع آن مقصود این نیست تا نشان دهد که دو فرآیند مجزای اجرایی برای قابلیت اطمینان سیستم وجود دارد، بلکه قصد دارد اطمینان دهد که قابلیت اطمینان می تواند با یک سبک ساده و روش منطقی محاسبه گردد. بطوریکه معرفی گردید، کلمات از نقطه نظر عملی خیلی آسانتر محاسبه می‌شود و

ورودی ارزشمندی را برای فرآیند تصمیم گیری ایجاد می‌کند. بنابراین تحقیق انجام شده در این رابطه [۱۰-۶] ملاحظه می‌گردد. گرچه تحقیقات محدودی روی مسئله «امنیت» انجام گرفته است ولی این موضوع زمینه کاری برای تحقیق و توسعه بیشتر می‌باشد.

آنچه که از بحث فوق مشخص است این است که کفایت برای توصیف حالتی از سیستم استفاده می شود که در آن نرخ ورود به سیستم و خروج از آن قابل چشم پوشی است و بنابراین به صورت شرایط ماندگار معرفی می شود. آنگاه این حالت تحلیل می گردد و در صورتی که تمام قیود سیستم شامل بار، ولتاژها، نیازمندی های VAR و غیره بطور کامل ارشا شده باشد، سیستم دارای کفایت می باشد. در صورتی که حتی یکی از قیود سیستم قدرت نقض شود، سیستم ناکافی خواهد بود. گاهی اوقات شرایط دیگری ممکن است در نظر گرفته شود اینکه، حالت کافی طور دیگری فرض می شود که کافی باشد، اگر و فقط اگر پس از انتقال، به یک حالت کافی دیگر برسیم و ناکافی فرض می گردد اگر حالت جدیدی ناکافی باشد یعنی در شرایطی باشد که یک قید شبکه نقض شده است. این ملاحظات، ناحیه حائلی بین حالت های اعلام خطر بهتر شناخته می شوند [۱۴]، حالت های کافی خارج از ناحیه حائل به صورت حالت های طبیعی و حالت های ناکافی به صورت حالت های اضطراری می‌باشند.

این مفهوم کفایت، حالت ایزوله کامل را در نظر می گیرد و از تغییرات ورودی واقعی و تغییرات انتقالی بعنوان حالت های مختلف چشم پوشی می کند. در حقیقت این تغییرات، بویژه یکی از ورودی ها چه در حالتی که استاتیکی باشند یا حالتی بطور ساده ناپایدار و خیلی گذرا، پایه ای برای برآورد هستند. این موضوع بطور خودکار به حالت امنیت منجر می‌گردد و در نتیجه آنچه آشکار است و جدای از مسائل مشابه، امنیت و کفایت وابسته به هم می باشند و برای راحتی در آزمایشات عملی این تقسیم بندی انجام گرفته است.

مهندسین سیستم قدرت تمایل دارند امنیت را به فرآیند دینامیکی ای که در گذر سیستم از یک حالت به حالت دیگر اتفاق می افتد، شرح دهند. اگر تنها از منظر کفایت دیده شود هر دو اینها ممکن است خود مورد قبول باشند یعنی هر دو قادر به ارضای تمام قیود و محدودیت های سیستم باشند. در این حالت این موضوع از رفتار

دینامیکی و گذرای سیستم صرف نظر می شود در جایی که ممکن است استقرار سیستم در یکی از این حالت هایی است که کافی نامیده می شود، به حالت دیگری که ممکن است کافی یا ناکافی باشد، منتقل نماید. حالتی که از آن به حالت جدد رسیدیم، کافی اما ناامن فرض شود. شرایط می تواند از این نیز پیچیده تر گردد؛ هنگامی که حالت مذکور ناکافی اما در عین حال امن باشد و در حالت ماندگار باشیم تغییر از حالت گذرا یا دینامیکی وجود نداشته باشد. در آخر، حالت ممکن است ناکافی و ناامن باشد.

اگر در حالت ناکافی باشیم، بدین معنی است که یک یا بیش از یکی از قیود سیستم در شبکه و یا بار مورد تقاضای سیستم ارضا نشده است. بنابراین عملیات مناسبی نظیر پخش انرژی مجدد، حذف بار یا راه های متعدد دیگر کنترل پارامترهای سیستم مورد نیاز می باشد. تمام این فعالیت ها به زمان نیاز دارند. اگر فرآیند دینامیکی سیستم قدرت قبل از آن که فعالیت موثری انجام داده شود سبب انتقال از این حالت گردد، آن گاه حالت سیستم مشخصاً نه تنها ناکافی است بلکه ناامن نیز می باشد. به عبارت دیگر اگر فعالیت موثر در زمانی کوتاهتر از فرآیند دینامیکی انجام اثر دهد، حالت ایمن و اگرچه، ناکافی می باشد. این موضوع نتیجه می دهد که "زمان اجرای" یک عمل اصلاحی، پارامتری اساسی در برآورد حالت است که می تواند کافی و امن، کافی و ناامن، ناکافی و امن یا ناکافی و ناامن باشد. هر حالتی که می تواند به صورت ناکافی یا ناامن معرفی شود یک حالت نامطلوب سیستم بوده و در عدم قابلیت اطمینان سیستم شرکت می کند. روش های فعلی ارزیابی قابلیت اطمینان معمولاً مربوط به تشخیص کفایت می شوند. این موضوع مهمی در حالت سیستم های تولید یا توزیع نمی باشد اما وقتی ترکیب سیستم های تولید و انتقال در نظرگرفته می شوند، می‌تواند مهم باشد. روش های توصیفی در این تحقیق معمولاً به ارزیابی کفایت مرتبط می‌شوند.

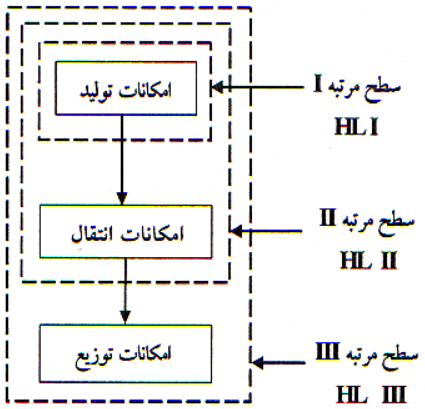
۱-۸ تحلیل سیستم

بطوریکه در بخش ۱-۱ بحث گردید، یک سیستم قدرت مدرن، پیچیده بوده، یکپارچه و بسیار بزرگ می باشد. حتی کامپیوترهای بزرگ نیز توانایی کافی را برای تحلیل جامع و واقعی تمام سیستم قدرت به صورت ورودی تکی، ندارند. با این وجود این امر یک مشکل به حساب نمی آید زیرا سیستم می تواند به زیر سیستم هایی که به

طور مجزا تحلیل شوند، تقسیم شود. در حقیقت ممکن است که تحلیل سیستم بطور کامل، حتی مطلوب و یا مورد نیاز نباشد، چراکه مقادیر محاسبات آن قدر زیاد خواهد شد که شرح و تفسیر معنی دارد آن‌ها اگر غیرممکن نباشد، بسیار مشکل خواهد بود.

مناسب ترین روش برای افراز سیستم در استفاده از نواحی کاری اصلی آن است که شامل سیستم های تولید، ترکیب سیستم های تولید و انتقال (یا سیستم قدرت بزرگ) و سیستمهای توزیع می باشد. بنابراین از آن ها برای دسته بندی اجزاؤ، مدل ها و روش های توصیفی در این تحقیق به صورت پایه ای استفاده می شود.

هر کدام از این نواحی کاری اولیه می تواند برای مطالعه یک زیرمجموعه مسئله تقسیم بندی شوند. زیر نواحی خاص می تواند شامل هر یک از نیروگاه ها، پستها و سیستم های حفاظتی باشند. مفهوم سطوح سلسله مراتبی (HL) جهت ایجاد مبنایی برای شناسایی و گروه بندی این نواحی کاری ارائه شده است [۱].



شکل ۱-۱ سطوح سلسله مراتبی

این سطوح در شکل ۱-۱ نشان داده شده اند که اولین سطح (HLI) به امکانات نیروگاه ها و توانایی آنها جهت ارضای برق مورد تقاضای سیستم حوضچه ای خود اشاره می کند، سطح دوم (HLII) به ترکیب سیستم تولید و انتقال (سیستم قدرت بزرگ) و توانایی در پخش انرژی در نقاط منبع اصلی پرداخته و سطح سوم (HLIII) به سیستم کامل شامل توزیع و توانایی ارضای ظرفیت و انرژی مورد تقاضای هر یک از مشترکین اشاره دارد. گرچه مطالعات سطوح اول و دوم بارها و به طور کامل انجام شده است اما مطالعه کامل سطح سوم به دلیل مقیاس

بزرگ مسئله غیرعملی می باشد. در عوض همانطور که در این تحقیق توصیف شده است، معمولاً این ارزیابی تنها برای نواحی کاری بخش توزیع صورت می گیرد.

بر اساس مفاهیم فوق و ساختار سیستم، زیرمجموعه های اصلی زیر در این تحقیق توصیف شده اند:

الف) پستهای تولید- هر پست یا هر واحد در پست بطور مجزا تحلیل شده اند. این تحلیلها یک عنصر معادل همچنین شاخص هایی را به دست می دهد که می تواند جهت استفاده در ارزیابی قابلیت اطمینان ظرفیت تولید کل سیستم و ارزیابی قابلیت اطمینان سیستمهای ترکیبی مورد استفاده قرارگیرد. بنابراین این اجزا ورودی را برای ارزیابی هر دو سطح اول و دوم شکل می دهند.

ب) ظرفیت تولید- قابلیت اطمینان ظرفیت تولید با یک کاسه کردن تمام منابع تولید و تمام بارها (یعنی مطالعات سطح اول) ارزیابی شده است.

ج) سیستم های بهم پیوسته- در این حالت تولید هر سیستم و خطوط اتصال دهنده سیستم‌ها مدل شده اند، اما شبکه هر یک از سیستم ها در نظر گرفته نشده است.

د) ترکیب تولید/انتقال- شبکه به سیستم انتقال بزرگ محدود شده و اثر تولید و انتقال بطور یکپارچه ارزیابی می شود (یعنی مطالعات سطح دوم)

ه) شبکه های توزیع- قابلیت اطمینان شبکه های توزیع با در نظر گرفتن توانایی شبکه تغذیه شده از نقاط منبع بزرگ یا دیگر تغذیه کننده های محلی، جهت تامین تقاضاهای بارهای مورد تقاضا ارزیابی می شود. این مسئله تنها ناحیه کاری توزیع را شامل می شود. در صورتی که تمام شاخص های سطح سوم مورد نیاز باشند، شاخص های نقطه بار تعیین شده در تشخیص سطح دوم می تواند به صورت مقادیر ورودی برای بخش توزیع استفاده شوند.

و) پست های فرعی و کلیدزنی- اغلب این سیستم ها کاملاً پیچیده هستند و غالباً بجای آنکه به عنوان سیستم هایی کامل در شبکه حضور داشته باشند، بطور مجزا در ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه تحلیل می شوند. عناصر

معادل شاخص هایی را بدست می دهد که می‌توانند به عنوان مقادیر عملکرد پست فرعی یا به صورت ورودی در ارزیابی قابلیت اطمینان سیستمهای انتقال (سطح دوم) یا توزیع (سطح سوم) استفاده شوند.

ز) سیستم های حفاظتی- قابلیت اطمینان سیستم های حفاظتی بطور مجزا تحلیل می شود. شاخص هایی می تواند جهت نمایش این سیستم ها به صورت عناصر معادل در ارزیابی قابلیت اطمینان شبکه (انتقال یا توزیع) یا به صورت ارزیابی خود پست فرعی استفاده شوند.

روش های توصیف شده بروی روش تحلیلی متمرکز شده است، گرچه مفاهیم و بیشتر مدلها بطور مشابه در روش شبیه سازی قابل اجرا می باشند. از آنجا که در حال حاضر روش های شبیه سازی بطور موثر و زیاد مورد استفاده قرار می گیرند.

۱-۹ هزینه و ارزش قابلیت اطمینان

به خاطر طبیعت پیچیده و یکپارچه سیستم قدرت، خرابی های هر بخش سیستم می تواند سبب قطعی هایی شود که می تواند از ناراحتی تعداد کمی از اهالی منطقه تا فاجعه عمده و گسترده قطع منبع تغذیه را دربرگیرد. بررسی اقتصادی این خاموشی ها ضرورتاً به از دست دادن درآمد بوسیله شرکت یا از دست دادن انرژی مورد استفاده مشترکین محدود نمی شود بلکه باید هزینه های واقعی را که شامل هزینه های غیرمستقیم روی مشترکین، جامعه و محیط است را نیز، به حساب آورد.

بطور نمونه در خاموشی کلی سال ۱۹۷۷ نیویورک، هزینه کل به صورت زیر بوده است [۱۶]:

- جمع هزینه های مستقیم شرکت ادیسون ٪۳/۵
- دیگر هزینه های مستقیم ٪۱۲/۵
- هزینه های غیرمستقیم ٪۸۴/۰

بطوری که در بخش ۱-۱ بحث گردید، کاهش تعداد دفعات یا مدت این حوادث و اصلاح اثرات آنها، نیازمند سرمایه گذاری در بخش طراحی، بهره برداری و یا هر دو می باشد. با توجه به این مفاهیم نویسندگان سوالات زیر را مطرح نموده اند:

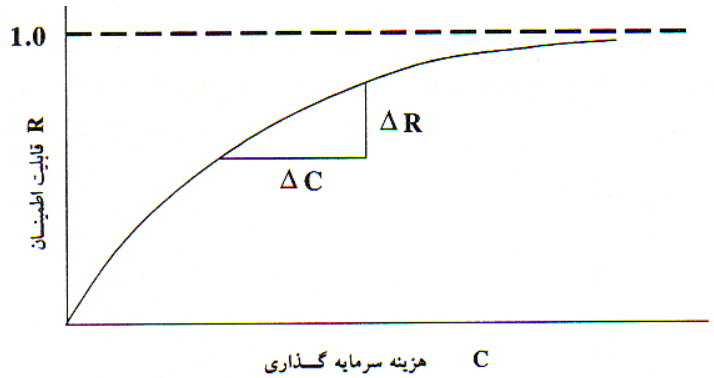
- چه مقدار باید هزینه کرد؟
- آیا ارزش مصرف هر مبلغ پولی را دارد؟
- آیا باید قابلیت اطمینان افزایش داده شود، در سطوح موجود نگه داشته شود یا اجازه داده شود تا تنزل یابد؟
- چه کسی باید تصمیم بگیرد- شرکت، تنظیم کننده، مشترکین؟
- بر چه اساسی باید تصمیم گرفته شود؟

روند اصولی در تمام این سوالات، نیازمند برآورد ارزش قابلیت اطمینان در یک سیستم قدرت است. چه کسی باید در این ارزش شرکت کند و چه کسی باید در مورد سطوح قابلیت اطمینان و سرمایه گذاری مطلوب تصمیم گیری کند؟

بنابراین بحث اصلی راجع به قابلیت اطمینان این است که "آیا این کار ارزش آن را دارد؟" [۱۷]. بطوریکه به دفعات بیان گردید، هزینه ها و صرفه های اقتصادی، نقش اصلی را در کاربرد مفاهیم قابلیت اطمینان و نتایج فیزیکی آن بازی می کند. سوالی که در این زمینه مطرح است این است که، سوال مطرح شده به صورت: "کجای سیستم و روی چه چیزی از آن باید پوند، دلار یا فرانک بعدی سرمایه گذاری گردد تا به حداکثر منفعت در قابلیت اطمینان دست یافت؟" پاسخ این سوال بی نهایت مشکل اما حیاتی می باشد و تنها در صورتی که شاخص های ثابت کمّی قابلیت اطمینان برای هر حالت ارزیابی شوند می توان بدان پاسخ داد.

بنابراین مشخص است که قابلیت اطمینان و صرفه اقتصادی نقش اصلی مهمی در فرآیند تصمیم گیری بازی می کند. اساس این فرآیندها در سیستم های مهندسی بحث شده اند. قدم اول در این فرآیند در شکل ۱-۲ تشریح

شده و نشان می دهد که چگونه قابلیت اطمینان یک محصول یا سیستم با بهای سرمایه گذاری ارتباط دارد. یعنی افزایش سرمایه‌گذاری منجر به بهبود قابلیت اطمینان می گردد.



شکل ۱-۲ هزینه نهایی قابلیت اطمینان

این شکل به طور واضحی روندی کلی را نشان می دهد که نهایی افزایشی ΔC، جهت یک افزایش مشخص در میزان قابلیت اطمینان، ΔR، با بالاتر رفتن سطح قابلیت اطمینان افزایش می یابد. یا به عبارت دیگر، با بالاتر رفتن سطح قابلیت اطمینان، افزایش در سرمایه‌گذاری باعث رشد کمی در قابلیت اطمینان سیستم می شود.

هزینه افزایشی قابلیت اطمینان، $\Delta C / \Delta R$ که در شکل ۱-۲ نشان داده شده روشی جهت تصمیم گیری در این زمینه است که سرمایه گذاری در کجای سیستم ارزشمند می باشد. اما این روش به حد کافی منافع شرکت، مشترکین و جامعه را انعکاس نمی دهد. دو جنبه قابلیت اطمینان و صرفه جویی اقتصادی بدون مشکلی با مقایسه هزینه قابلیت اطمینان (هزینه سرمایه گذاری مورد نیزا برای رسیدن به یک سطح قابلیت اطمینان معین) با ارزش قابلیت اطمینان (منفعت بدست آمده بوسیله مشترکین و جامعه) ارزیابی می شوند.

بسط تحلیل کمّی قابلیت اطمینان به ارزیابی ارزش سرویس، یک فرآیند ساده فریب آمیز همراه با کاربرد غلط است. مفهوم اساسی ارزیابی قابلیت اطمینان- هزینه/قابلیت اطمینان- نسبتاً ساده است و بوسیله منحنی های هزینه/قابلیت اطمینان شکل ۱-۳ می تواند نشان داده شود. این منحنی ها نشان می دهند که بطور کلی هزینه سرمایه گذاری با افزایش قابلیت اطمینان افزایش می یابد. به عبارت دیگر هزینه های مشترکین ناشی از خرابی ها با افزایش قابلیت اطمینان، کاهش می یابد. بنابراین هزینه نهایی مجموع این دو هزینه جداگانه می باشد. این

هزینه کل، حداقلی را شامل می شود، بنابراین یک سطح هدف یا "بهینه" قابلیت اطمینان را ارائه می کند. این مفهوم کاملا معتبر است. دو مشکل در این نوع ارزیابی بروز می کند. اول، شاخص های محاسبه شده معمولاً تنها از مدل های تقریبی بدست می‌آیند. دوم، مشکلات مهمی در تعیین درک مشترکین از هزینه خرابی سیستم وجود دارد. مطالعات و بررسی هایی در کانادا، انگلستان و اسکاندیناوی انجام گرفته است.

۱-۱۰ مفاهیم داده ها

ارزیابی قابلیت اطمینان، نیازمند داده های منطقی و قابل قبول است. این داده ها همواره به آسانی تهیه نمی شوند و اغلب برخی از ورودی های مورد نیاز دارای درجاتی از عدم قطعیت می باشد. این موضوع یکی از دلایل اصلی است که نشان می دهد چرا ارزیابی نسبی قابلیت اطمینان واقع گرایانه تر است تا ارزیابی قطعی آن.

هرچند می توان مقدار نامحدودی داده را جمع آوری کرد ولی جمع آوری، تحلیل و ذخیره داده هایی بیشتر از آنچه که مورد نیاز است، عملی ناکارا و نامطلوب می باشد. بنابراین شناسایی اینکه چگونه و برای چه منظوری داده ها استفاده می گردند، ضروری است. منظور از اینکه چه داده ای مورد نیاز است، این است که یک شرکت باید داده هایی را که نزدیک به هدف خود باشد، تهیه نماید زیرا هیچ قانونی نمی تواند برای آنچه را که برای هر شرکت مناسب است، معرفی نماید. فاکتورهایی که باید تعیین شوند آن هایی هستند که بر برنامه‌ریزی، طراحی و سیاست های مدیریتی دارائی شرکت تأثیر دارند.

فرآیند تهیه این داده ها در دو بخش جداگانه اتفاق می افتد. در ابتدا داده های میدانی با طبقه بندی مشروح خرابی ها بر حسب نحوه رخ دادن آن ها و طول مدت خاموشی های متعدد مربوط به این خرابی ها، تهیه می گردد. سپس این داده های میدانی تحلیل می شوند تا شاخص های آماری بدست آید. شاخص ها با ورود متوالی داده های جدید به روز می‌شوند. کیفیت این داده ها بستگی به دو عامل مهم دارد: اطمینان و اهمیت. بنابراین کیفیت و اطمینان داده ها کاملا بستگی به دقت و جامعیت آن ها دارد.

بنابراین آنچه مهم است استفاده آتی از داده هایی است که می خواهد بکار رود و اهمیتی را که آنها می خواهند در توسعه بعدی داشته باشند، تأکید می گردد. همچنین کیفیت شاخصهای آماری به چگونگی پردازش داده ها و

میزان ادغام صورت گرفته و عمر فعلی داده‌هایی که ذخیره شده اند، بستگی دارد. این ضرایب شاخص هایی را که در آینده استفاده می شوند، نتیجه می دهد.

گستره وسیعی از داده ها می توانند جمع آوری شوند و بیشتر شرکت ها باید تعدادی و نه همه آنها را به یک شکل یا شکلی دیگر جمع آوری نمایند. برخی تفاوت ها در طرح های جمع آوری داده ها در سراسر جهان وجود دارد. آنچه با ارزش است اینکه تشابهاتی بین طرح‌های مختلف بویژه در بخشهای مفاهیم و اختلافاتی بویژه در تشریح طرح های اختصاصی وجود دارد. همچنین باید نتیجه گرفت که هیچ یک از این طرح ها نباید گفت که طرح "درست" می باشند، فقط اینکه آنها متفاوت هستند.

با بررسی [۱۸] مشخص می گردد که دو اصل اساسی برای جمع آوری داده ها وجود دارد: روش اجزا و روش واحد. روش دوم برای تشخیص تغییرات ترتیب وقایع در قابلیت اطمینان سیستم موجود، مفید است اما به ارزیابی پیش بینی عملکرد آینده سیستم، اثر تغییرات متعدد طرح های تقویت و قابلیت اطمینان مشخصات فردی وسیله، تمایل کمی دارد. روش اجزا برای این حالت ها ترجیح دارد و بنابراین داده های جمع آوری شده به کمک این روش برای چنین کاربردهایی مناسب تر است.

۱-۱۱ تفسیر نهایی

موضوعی که در این تحقیق در نظر گرفته نمی شود اینکه چگونه سیستم و زیرسیستم های مختلف آن قابل اطمینان اند این موضوع مهم و ضروری است و شرکت های خصوصی باید قبل از هر برنامه توسعه و تقویت طراحی، آن را در اهداف خود در نظر بگیرند. اما به دلیل اینکه سیستم ها، شرکت ها و مشترکین مختلف دارای نیازمندی ها و توقعات مختلفی هستند، معمولاً نمی توانند آن را در نظر بگیرند. تعدادی از عواملی که در انجام این هدف در نظر گرفته می شوند شامل موارد زیر است:

الف) مطابقتی بین قابلیت اطمینان بخش های متعدد سیستم باید باشد. تقویت کردن بخش قوی سیستم، زمانی که هنوز نواحی ضعیف وجود دارد، بی معنی است. در نتیجه تعادلی بین سیستم های تولید، انتقال و توزیع نیاز می باشد. این بدین معنی نیست که قابلیت اطمینان بخش ها باید مشابه یکدیگر باشد؛ در واقع برای سیستم

های فعلی این موضوع بعید است. دلایلی برای سطوح متفاوت قابلیت اطمینان ارائه شده اند، برای مثال به دلیل اهمیت یک بار بخصوص، خرابی های تولید و انتقال می تواند سبب خاموشی های گسترده شوند، گرچه خرابی های توزیع خیلی محدود باشند.

ب) بوسیله بهبود در قابلیت اطمینان باید مقداری فایده بدست آید. روش معمول برای ارزیابی این منفعت، یکسان کردن هزینه افزایشی یا حاشیه ای سرمایه گذاری، با ارزش افزایشی یا حاشیه ای بهبود قابلیت اطمینان مشترکین است. مسئله با چنین روشی، عدم قطعیتی را در ارزیابی مشترکین را به همراه دارد. بطوریکه در بخش ۱-۹ بحث خواهد شد، این مسئله بطور مفصل مطالعه شده است. در ضمن، آنچه برای شرکت های خصوصی مهم است اینکه بوسیله ارزیابی منفعت طرح های توسعه و تقویت در مسیر معیار ثابتی حرکت نمایند.

لازم به ذکر است که ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم نمی تواند پاسخی را برای نیازمندی‌های فوق یا دیگر موارد مشابه تحمیل کند. این ها بحث های مدیریتی هستند. در هر حال آنها نمی توانند به همه موارد بدون استفاده از تحلیل های کمّی قابلیت اطمینان پاسخ دهند چون این موضوع یکی از پارامترهای مهم ورودی را در بحث عملی، شکل می‌دهد.

در خاتمه، این تحقیق تعدادی از روش هایی را که قابلیت اطمینان بخش های متعدد یک سیستم قدرت را می تواند ارزیابی نماید و انواع شاخص هایی را که می تواند تهیه گردد، نشان می دهد. این بدین معنی نیست که تمام مسائل و روش های در دسترس را پوشش داده، چون نیز به موضوعی با یک دامنه تقریباً نامحدود خواهد گردید. در هر حال این تحقیق می خواهد راهنمایی را در جهتی ارائه نماید تا اغلب مسائل را دربرگیرد [۱۱-۶] و بدون شک درک وسیع و عمیق تری از موضوعاتی که در ادامه خواهد آمد، نگاشته شده است.

ظرفیت تولید روش های احتمالاتی پایه

۲-۱ مقدمه

تعیین مقدار مورد نیاز ظرفیت تولیدی سیستم جهت تضمین یک منبع تغذیه کافی، بحث مهمی در طراحی و بهره برداری سیستم قدرت است. مسئله کلی می تواند از نظر مفهومی به دو منطقه مختلف به صورت ضرورت

ظرفیت ساکن و نحوه بهره برداری تخصیص داده شود. ناحیه ظرفیت ساکن مربوط به ارزیابی طولانی مدت نیاز کلی سیستم است. ناحیه ظرفیت بهره برداری مربوط به ارزیابی کوتاه مدت ظرفیت واقعی برای تامین سطح بار داده شده است. هر دو این نواحی می بایست در سطح طراحی جهت ارزیابی امکانات مختلف آزمایش گردند، زمانی که تصمیم گیری شد، نیازهای کوتاه مدت به صورت مشکل بهره برداری می‌شود.

میزان مورد نیاز ظرفیت ساکن می تواند به صورت ظرفیت نصب شده ای که می بایست در مقابل نیازهای سیستم طراحی و ساخته شده، در نظر گرفته شود. رزرو ساکن می بایست برای زمان های تعمیرات تجهیزات تولید، خاموشی هایی که زمان بندی نشده اند، و رشد بار متجاوز از مقدار تخمین شده کافی باشد. کاری که چندین سال انجام شده است، اندازه‌گیری کفایت هم ظرفیت نصب شده و هم ظرفیت طراحی شده است. ایراد مهم استفاده از معیار درصد ذخیره مورد نیاز، گرایش به مقایسه کردن کفایت مربوط به نیازمندی های ظرفیت تهیه شده برای سیستم های مختلف، بر پایه پیک بارهای آزمایش شده در دوره زمانی مشابه برای هر سیستم است. تفاوت های زیادی در ظرفیت های مورد نیاز، برای تضمین پیوستگی سرویس مشابه در دو سیستم مختلف با اندازه های یکسان پیک بار وجوددارد. این حالت زمانی تشدید می شود که دو سیستمی که با هم مقایسه می گردند مشخصات بار مختلف و اندازه و نوع ظرفیت تولیدی نصب شده و طراحی شده مختلف داشته باشند.

معیار درصد ذخیره همچنین هیچ جریمه را به خاطر اندازه به واحد تحمیل نمی کند مگر اینکه این مقدار از کل ظرفیت تجاوز کند. این نیاز که میزان ذخیره باید معادل ظرفیت بزرگترین واحد در سیستم به اضافه یک درصد ثابت ظرفیت کل سیستم قرار داده شود، معیار کفایت خیلی معتبری است و برای نیازهای ذخیره بزرگتر با افزودن واحدهای بزرگتر در سیستم تامین می شود. معمولاً این مشخصه زمانی یافت می شود که تکنیک هایی احتمالاتی استفاده می گردند. کاربرد روش های احتمالی در مسئله ظرفیت ساکن، پایه تحلیل برای طراحی ظرفیت فراهم نموده است که می تواند برای پوشش کامل یا بخشی از ترکیب سیستم ها، ظرفیت به هم پیوستگی ها، اثرات اندازه واحد و طراح، اثرات برنامه ریزی تعمیرات و دیگر پارامترهای سیستم گسترش یابد. جنبه های اقتصادی مربوط به استانداردهای مختلف قابلیت اطمینان تنها بوسیله روش های احتمالاتی می توانند

مقایسه گردند. بخش ۲-۲-۳ نشان می دهد که وقتی معیار ثابتی نظیر درصد ذخیره ها یا حذف بزرگترین واحد در ارزیابی ظرفیت سیستم استفاده می شود، تناقض هایی بروز می کند.

مقالات زیادی در استفاده روش های احتمالاتی برای ارزیابی قابلیت اطمینان ظرفیت تولید در ۴۰ سال گذشته منتشر شده است. این مقالات در سه مبحث جامعه طبقه بندی شده اند که در سال های ۱۹۷۸، ۱۹۷۱، ۱۹۶۶ چاپ شده و بیش از ۱۶۰ منبع جداگانه را دربرمی‌گیرند [۳-۱].

توسعه تاریخی روش های مورد استفاده در زمان حاضر بی نهایت جالب است و اگرچه تعیین زمان چاپ اولین مقاله مشکل است اما به نظر می رسد که حدود ۵۰ سال پیش چاپ شده است. جذابیت کاربرد روش های احتمالاتی برای ارزیابی ظرفیت مورد نیاز در حدود سال ۱۹۳۳ آشکار گردید. اولین گروه بزرگ مقالات در سال ۱۹۴۷ منتشر شد. این مقالات که به وسیله Calabrese[۴]، Lyman[۵]، Seelye[۶] و Loane[۷] و Watchorn ارائه شده مفاهیم پایه ای را پیشنهاد کرده که بعضی از روش های مورد استفاده کنونی، بر اساس آنها پایه ریزی گردیده اند. گروهی از مقالات ارائه شده در سال ۱۹۴۷ روش هایی را ارائه کرده اند که با اعمال بعضی اصلاحات اکنون به عنوان "روش از دست دادن بار" و "روش فراوانی و تداوم" شناخته می شوند.

چندین مقاله عالی هر ساله ارائه شد تا اینکه در سال ۱۹۵۸ دومین گروه بزرگ مقالات منتشر شد. این گروه مقالات، مقالات ارائه شده در سال ۱۹۴۷ را اصلاح کرده و گسترش دادند و همچنین روش های پیشرفته تری برای مسئله به کمک "تئوری بازی" یا "روش‌های شبیه سازی" ارائه کردند [۱۰-۸]. مقالات دیگری در این زمینه در سال ۱۹۶۱ و ۱۹۶۲ پدید آمده، اما تا آن زمان علاقه به این روش ظاهراً کم بوده است.

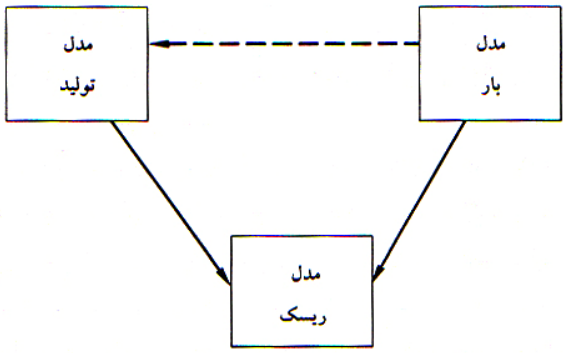
گروه سومی از مقالات مهم در سال های ۱۹۶۸/۶۹ توسط Wood,Ringlee انتشار یافته‌اند [۱۵-۱۱]. این مقالات روش فراوانی و تداوم را بوسیله ایجاد روش بازگشتی برای ساختن مدل، توسعه می دهند. مفاهیم پایه ارزیابی فراوانی و تداوم در سیستم های مهندسی توضیح داده می شوند.

نباید فرض شود که سه گروه مقالات فوق، تنها مقالات مهم این مبحث می باشند. چنین چیزی نیست. اما آنها از پایه و اساس و یا نقطه شروع بسیاری از طرح هایی بوده اند که سال‌های بعد بر روی آنها کار شد. همچنین تعداد مقالات مفید دیگری انتشار یافته و در سه مرجع [۳-۱] که قبل نیز به آنها اشاره شد، لیست شده گردیده اند.

اختلاف اساسی بین ارزیابی ظرفیت ساکن و بهره برداری در دوره زمانی در نظر گرفته شده است. بنابراین اختلاف اساسی بین داده های مورد استفاده در هر ناحیه کاری وجود دارد. مرجع [۱۶] برخی تعاریف پایداری که برای بیان قابلیت اطمینان تولید، دسترس پذیری و قابلیت اطمینان واحد تولیدی به طور جامع ضروری است را شامل می شود. در حال حاضر به نظر می رسد که روش امید ریاضی یا احتمال از دست دادن بار معمول ترین روش احتمالاتی برای ارزیابی کفایت یک ساختار تولیدی داده شده است. اما تغییرات زیادی در روش مورد استفاده و در ضرایب در نظر گرفته شده، وجود دارد. عناصر اصلی در این فص در نظرگرفته می شوند. همچنین انتظار حذف امید ریاضی از دست دادن انرژی می تواند به کمک روش مشابه ای تصمیم گیری گردد و بنابراین آن نیز در این فصل شامل می شود.

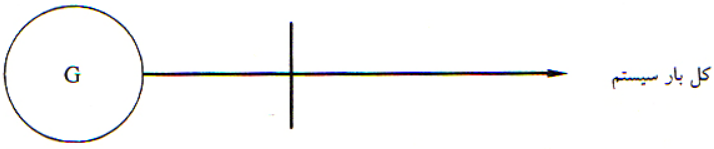
روش پایه، ارزیابی کفایت یک آرایش تولیدی بخصوص، بطور اساسی برای هر روش یکسان است. این روش شامل سه بخش نشان داده شده در شکل ۲-۱ است.

مدل های بار و تولید نشان داده شده در شکل ۲-۱ برای تشکیل مدل ریسک مناسب ترکیب می شوند. شاخص های محاسبه شده معمولاً شامل محدودیت انتقال نمی باشند اگرچه در مرجع [۳۹] نشان داده شده است که چگونه این محدودیت ها می توانند لحاظ گردند، هرچند که شامل قابلیت اطمینان انتقال نمی باشند؛ بنابراین آنها شاخص های کلی کفایت سیستم می باشند نمایش مرسوم سیستم در یک مطالعه در شکل ۲-۲ نشان داده می شود.



شکل۲-۱ مفهوم وظایف در ارزیابی قابلیت اطمینان ظرفیت تولید

شاخص های محاسبه شده در این حالت به کمبودهای تولید در هر نقطه بار را انعکاس نمی‌دهد ولی کفایت کل سیستم تولید را اندازه گیری می کند.



شکل۲-۲ مدل مرسوم سیستم

۲-۲ مدل سیستم تولید

۲-۲-۱ عدم دسترسی واحد تولیدی

پارامتر باید واحد تولیدی در ارزیابی ظرفیت ساکن، احتمال یافتن واحدی در خاموشی اجباری در فواصل زمانی آینده است. این احتمال در سیستم های مهندسی به صورت عدم دسترسی واحد معرفی شده و در کاربردهای سیستم قدرت به صورت نرخ خاموشی اجباری واحد (FOR) شناخته می شود. در اصطلاحات قابلیت اطمینان مدرن، این مقدار یک نرخ نمی باشد چون نسبت دو مقدار زمانی است.

$$\text{عدم دسترسی}(FOR) = U = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} = \frac{r}{m+r} = \frac{r}{T} = \frac{f}{\mu}$$

$$= \frac{\sum[\text{زمان توقف}]}{\sum[\text{زمان توقف}] + \sum[\text{زمان کار}]} \qquad \text{۲-۱ (الف)}$$

$$\text{دسترس پذیری} = A = \frac{\mu}{\lambda+\mu} = \frac{m}{m+r} = \frac{m}{T} = \frac{f}{\lambda}$$

$$= \frac{\sum[\text{زمان کار}]}{\sum[\text{زمان توقف}] + \sum[\text{زمان کار}]} \qquad \text{۲-۱ (ب)}$$

که λ = نرخ انتظاری خرابی

μ = نرخ انتظاری تعمیر

m= متوسط زمان تا خرابی = $MTTF = ۱/\lambda$

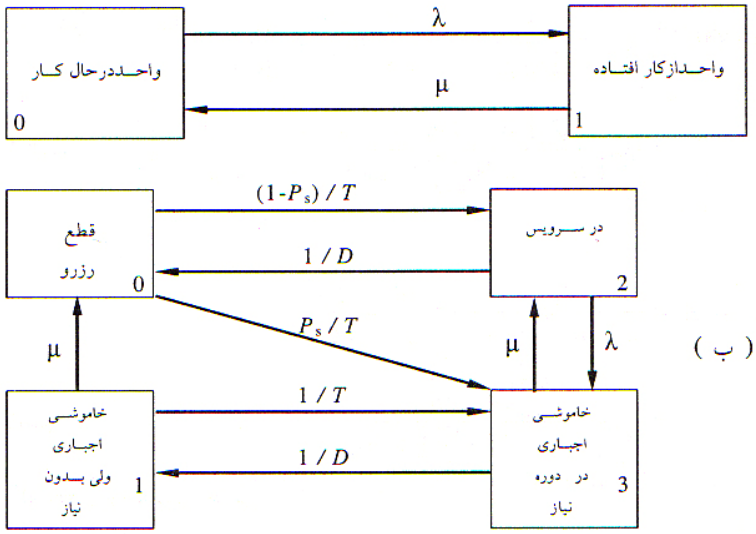
r= متوسط زمان تا تعمیر = $MTTR = ۱/\mu$

m+r= متوسط زمان بین خرابی ها = $MTBF = ۱/f$

f= فرکانس دوره = $۱/T$

T= زمان دوره = $۱/f$

مفاهیم دسترس پذیری و عدم دسترسی بطوریکه در معادلات ۲-۱ (الف) و (ب) نشان داده شده، با دو مدل ساده نشان داده شده در ۲-۳ (الف) مرتبط است. این مدل مستقیماً در یک واحد تولیدی بار پایه که در حال بهره برداری است یا بالاجبار خارج از سرویس می باشد، قابل استفاده است. خاموشی های با برنامه می بایست همانطور که بعداً نشان داده می شود، به طور جداگانه در نظر گرفته شود.



شکل ۲-۳(الف) مدل دو حالته برای واحد بار پایه

(ب) مدل چهار حالته برای مطالعات برنامه ریزی

T رزرو متوسط زمان قطع بین دوره های نیاز

D متوسط زمان در سرویس در موقع تقاضا

P_S احتمال خرابی راه اندازی

در حالت استفاده از وسایل تولید با دوره بهره برداری نسبتاً طولانی، عدم دسترسی (FOR) تخمین کننده کافی احتمال آن است که واحد، تحت شرایط مشابه برای سرویس در آینده قابل دسترس نیست، اما این فرمول زمانی که دوره تقاضا، مانند حالت پیک یا بهره برداری موقت واحد نسبتاً کوتاه است، تخمین کافی را ارائه نمی دهد. بعلاوه اغلب، بحرانی ترین دوره در بهره برداری یک واحد، دوره راه اندازی است و در مقایسه با یک واحد بار پایه، واحد پیک (واحد تامین کننده تقاضای زمان پیک) و تعداد مرتبه بیشتر راه اندازی و توقف کامل را خواهد داشت. همچنین این دیدگاه ها باید در مسیر برآورد عدم دسترسی واحد در زمان آینده نیز لحاظ گردند. یک گروه کاری زیر کمیته IEEE در کاربرد روش های احتمالاتی، مدل چهار حالته شکل ۲-۳ (ب) را ارائه کرده اند که یک

رابطه تعمیم داده شده است و معادلهای را تعمیم داده اند که اجازه می دهد این ضرایب تا زمانیکه اطلاعات جمع آوری شده تحت تعاریف مرسوم استفاده می شوند، در نظر گرفته شوند [۱۷].

اختلاف بین شکل های ۲-۳ (الف) و ۲-۳ (ب) در وجود حالت های "قطع ذخیره" و "خاموشی اجباری" اما بدون نیاز در شکل ۲-۳ (ب) می باشد. در مدل چهار حالته، مدل "دوحالته" بوسیله حالت های ۲و۳ و دو حالت اضافی در مدل کردن اثر نسبتاً کوتاه سیکل کاری نسبتاً کوتاه، نشان داده می شوند. خرابی در شرایط راه اندازی بوسیله نرخ انتقال از حالت ۰ به حالت ۳ نمایش داده می شود.

این سیستم می تواند بوسیله یک فرآیند مارکوف نشان داده شود و معادلات تعیین احتمال قرار گرفتن در هر حالت بر حسب نرخ های گذر حالت تعیین شده اند. معادلات به صورت زیر می باشند:

$$P_{۰} = \frac{\mu T[D\lambda + ۱ + D(\mu + ۱/T)]}{A}$$

که

$$A = (D\lambda + P_S)\left[(\mu T + ۱) + \left(\mu + \frac{۱}{T}\right)D\right] + \left[(۱ - P_S) + D\left(\mu + \frac{۱}{T}\right)\right](\mu(T + D))$$

$$P_{۱} = \frac{D\lambda + P_S}{A}$$

$$P_{۲} = \frac{D\mu(۱ - P_S + \mu D + D/T)}{A}$$

$$P_{۳} = \frac{D(\mu + ۱/T)(D\lambda + P_S)}{A}$$

قراردادی $FOR = \frac{P_{۱} + P_{۳}}{P_{۱} + P_{۲} + P_{۳}}$

یعنی حالت "قطع ذخیره" حذف می شود.

در حالتی که یک واحد بطور ناپیوسته بهره برداری شود، احتمال شرطی که یک واحد برای تقاضای رخ داده، در دسترس نخواهد بود، P می باشد به صورت

$$P = \frac{P_۳}{P_۲ + P_۳}$$

$$P = \frac{(\mu + ۱/T)(D\lambda + P_s)}{\mu[D(\mu + ۱/T) + ۱] + D\lambda(\mu + ۱/T) + P_s / T}$$

بنابراین نرخ خاموشی اجباری شرطی P می تواند از داده های کلی در مدل شکل ۲-۳ (ب) می تواند پیدا شود.

برآورد مناسب P می تواند از اطلاعات پایه واحد بدست آید.

برای یک دوره زمانی نسبتاً طولانی،

$$\hat{P}_۲ = \frac{\text{زمان سرویس}}{\text{زمان دسترسي} + \text{اجباري خاموشي}} = \frac{ST}{AT + FOT}$$

$$(\hat{P}_۱ + \hat{P}_۲) = \frac{FOT}{AT + FOT}$$

به معنی

$$f = \frac{P_۳}{P_۱ + P_۳} = \frac{(\mu + ۱/T)}{(۱/D + \mu + ۱/T)} = \frac{(۱/r + ۱/T)}{(۱/D + ۱/r + ۱/T)}$$

که $r = ۱/\mu$

نرخ خاموشی اجباری شرطی P می تواند به صورت زیر نشان داده شود

$$P = \frac{f(P_۱ + P_۳)}{P_۲ + f(P_۱ + P_۳)} = \frac{f(FOT)}{ST + f(FOT)}$$

ضریب f برای وزن دادن به زمان خاموشی اجباری FOT می باشد به جهت انعکاس زمانی که واحد به وسیله سیستم تقاضا می شود ولی در خاموشی اجباری به سر می برد در نظر گرفته می شود. تأثیر این اصلاح می تواند در مثال زیر که از مرجع [۱۷] گرفته شده، دیده‌شود.

اطلاعات متوسط واحد

زمان سرویس $ST = ۶۴۰/۷۳$ ساعت

ساعت ۶۴۰۳/۵۴= زمان دسترسی

۳۸/۰۷= تعداد راه اندازی ها

۳/۸۷= تعداد خاموشی ها

ساعت ۲۰۵/۰۳= زمان خاموشی اجباری FOT

فرض گردد که احتمال خرابی در لحظه راه اندازی $P_S = 0$

$$\hat{D} = \frac{۶۴۰/۷۳}{۳۸/۰۷} = ۱۶/۸ \quad \text{ساعت}$$

$$\hat{D} + \hat{T} = \frac{۶۴۰۳/۵۴}{۳۸/۰۷} ۱۶۸ \quad \text{ساعت}$$

$$\hat{r} = \frac{۲۰۵/۰۳}{۳/۸۷} = ۵۳ \quad \text{ساعت}$$

$$\hat{m} = \frac{۶۴۰/۷۳}{۳/۸۷} = ۱۶۶ \quad \text{ساعت}$$

به کمک این مقادیر

$$f = \left(\frac{۱}{۵۳} + \frac{۱}{۱۵۵/۲}\right) \Big/ \left(\frac{۱}{۱۶/۸} + \frac{۱}{۵۳} + \frac{۱}{۱۵۱/۲}\right) = ۰/۳$$

$$\text{نرخ خاموشی اجباری مرسوم} = \frac{۲۰۵/۰۳}{۶۴۰/۷۳ + ۲۰۵/۰۳} \times ۱۰۰ = ۲۴/۲۴\%$$

$$\text{احتمال شرطی} \quad P = \frac{۰/۳(۲۰۵/۰۳)}{۶۴۰/۷۳ + ۰/۳(۲۰۵/۰۳)} \times ۱۰۰ = ۸/۷۶\%$$

احتمال شرطی P کاملا به تقاضای قرار گرفته روی واحد بستگی دارد. تقاضای قرار گرفته روی واحد در گذشته مشابه تقاضایی که در آینده وجود خواهد داشت نیست بخصوص در شرایط عدم کفایت سیستم تولید در مرجع [۱۸] پیشنهاد شده بود که تقاضا بایستی از مدل بار به صورت جدول ظرفیتی که نهایتاً بدست می آید، برآورد گردد و آنوقت احتمال شرطی قبل از افزودن واحد به مدل ظرفیت برآورد شود.

۲-۲-۲- جداول احتمالاتی خاموشی ظرفیت

مدل تولید مورد نیاز روش از دست رفتن بار، گاهی اوقات بعنوان جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت نامیده می شود. همانطور که از اسم آن مشخص است، این جدول یک آرایه ساده سطوح ظرفیت و احتمال مرتبط با وجود آن است. اگر تمام واحدها در سیستم یکسان باشند، جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت می تواند به آسانی به کمک توزیع دو جمله ای بطوریکه در بخش های ۳-۳-۷ و ۳-۳-۸ سیستم های مهندسی بیان شده بدست آید. اما این مسئله که تمام واحدها در یک سیستم عملی یکسان باشند بسیار غیرممکن است، بنابراین توزیع دوجمله ای کاربرد محدودی دارد. واحدها می توانند به کمک مفاهیم پایه احتمالاتی ترکیب شوند لذا این روش با یک روش بازگشتی ساده ولی قوی، می تواند توسعه داده شود که در آن واحدها بطور پی در پی برای تولید مدل نهایی اضافه می شوند. این مفاهیم می تواند بوسیله مثال ساده عددی نشان داده شود.

سیستمی شامل دو واحد ۳MW و یک واحد ۵MW با نرخ های خاموشی اجباری ۰/۰۲ است. دو واحد یکسان می توانند برای ارائه جدول احتمالی وقفه ظرفیت نشان داده شده در جدول ۲-۱ ترکیب شوند.

جدول ۲-۱

ظرفیت خارج از سرویس	احتمال
۰MW	۰/۹۶۰۴
۳MW	۰/۰۳۹۲
۶MW	۰/۰۰۰۴
	۱/۰۰۰۰

واحد تولیدی ۵MW می تواند با در نظر گرفتن اینکه در دو حالت می تواند وجود داشته باشد، می تواند به این

جدول اضافه شود. این واحد می تواند با احتمال ۰/۹۸ = ۰/۰۲ − ۱ می‌تواند در سرویس یا با احتمال ۰/۰۲ از سرویس خارج شود. بنابراین دو جدول نتایج (جداول ۲-۲و ۲-۳) شروطی برای حالت های مفروض واحد هستند. این روش می تواند به هر تعداد حالت واحد تعمیم داده شود.

جدول ۲-۲ واحد $۵MW$ در سرویس

ظرفیت خارج شده	احتمال
$۰+۰=۰MW$	$(۰/۹۶۰۴)(۰/۹۸)=۰/۹۴۱۱۹۲$
$۳+۰=۳MW$	$(۰/۰۳۹۲)(۰/۹۸)=۰/۰۳۸۴۱۶$
$۶+۰=۶MW$	$(۰/۰۰۰۴)(۰/۹۸)=۰/۰۰۰۳۹۲$
	۰/۹۸۰۰۰۰

جدول ۲-۳ واحد $۵MW$ خارج از سرویس

ظرفیت خارج شده	احتمال
$۰+۵=۵MW$	$(۰/۹۶۰۴)(۰/۰۲)=۰/۰۱۹۲۰۸$
$۳+۵=۸MW$	$(۰/۰۳۹۲)(۰/۰۲)=۰/۰۰۰۷۸۴$
$۶+۵=۱۱MW$	$(۰/۰۰۰۴)(۰/۰۲)=۰/۰۰۰۰۰۸$
	۰/۰۲۰۰۰۰

اکنون دو جدول می توانند ترکیب شوند و در (جدول ۲-۴) ارائه گردند. مقدار احتمال در جدول، احتمال مقدار مشخص شده ظرفیت خارج از سرویس است. یک ستون دیگر می تواند اضافه شود که احتمال تجمعی را ارائه

می دهد. این مقدار، احتمال پیدا کردن مقدار ظرفیت خاموش که معادل یا بیشتر از مقدار مشخص شده است، می باشد.

مقادیر احتمال تجمعی همانطوری که ظرفیت خارج شده افزایش می یابد، کاهش می یابد: گرچه این موضوع کاملاً برای جدول احتمالاتی تکی واقعیت ندارد، ولی همان روند معمول دنبال می شود. برای نمونه، در جدول فوق، احتمال از دست دادن $۸MW$ بیشتر از احتمال از دست دادن $۶MW$است. در هر حالت تنها دو واحد درگیر است. اختلاف بر اساس این واقعیت است که در حالت $۸MW$، سهم از دست دادن $۳MW$ می تواند به دو طریق اتفاق بیافتد. در یک سیستم عملی، معمولاً احتمال داشتن مقدار زیاد ظرفیت خارج از سرویس اجباری، بسیار کوچک است، چون این شرایط نیاز به خروج چندین واحد دارد. بطور تئوری جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت، تمام ظرفیت سیستم را ثبت می کند. این جدول می‌تواند با حذف تمام خروج های ظرفیت با احتمال تجمعی کمتر از یک مقدار مشخص مثلا کوچکتر از $۱۰^{-۸}$ خلاصه شود. این مسئله همچنین صرفه جویی قابل ملاحظه ای در زمان کامپیوتر را منجر می شود چون جدول بطور مرحله ای با افزودن هر واحد خلاصه می گردد. احتمالات خامشی ظرفیت می توانند همانطوریکه واحدها اضافه می شوند، با هم جمع شوند یا مستقیماً مقادیر تجمعی محاسبه شوند و بنابراین خطایی از فرآیند خلاصه سازی نتیجه نمی شود. این مسئله در بخش ۲-۲-۴ تشریح می شود. در یک سیستم عملی شامل تعداد زیادی واحد با ظرفیت های مختلف، جدول چند صد سطح خروج ظرفیت ناپیوسته ممکن را شامل می شود. این تعداد می تواند به وسیله گروه بندی واحدها به گروه های با ظرفیت یکسان قبل از ترکیب شدن یا بوسیله گرد کردن جدول به سطوح ناپیوسته بعد از ترکیب کردن، کاهش یابد. گروه بندی واحد قبل از ساختن جدول، تقریب های غیرضروری را ایجاد می کند که می توان بوسیله روش گرد کردن جدول از آن اجتناب کرد. نمو مورد استفاده گرد کردن ظرفیت بستگی به دقت خواسته شده دارد. جدول گرد شده نهایی که از چندین مرحله گرد شدن بدست آمده، مقادیر خاموشی ظرفیت را شامل می شود. در صورت افزایش نمو گرد کردن، البته با قول کاهش متناسب با آن در دقت، تعداد سطوح ظرفیت کاهش می‌یابد. مراحل گرد کردن یک جدول در مثال زیر آورده شده است.

دو واحد $۳MW$ و یک واحد $۵MW$ با نرخ های خاموشی اجباری ۰/۰۲ برای تشکیل مدل تولید نشان داده شده در جدول ۲-۴ با هم ترکیب شده اند. وقتی این جدول با نمو به $۵MW$ گرد می شود، تنها مقادیر خاموشی ظرفیت MW۱۵,۱۰,۵,۰ را شامل خواهند شد. جدول گرد شده بطوریکه در جدول ۲-۵ نشان داده شده بدست می آید.

جدول ۲-۴ جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت برای یک سیستم سه واحده

احتمال تجمعی	احتمال تکی	ظرفیت خارج از سرویس
۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۹۴۱۱۹۲	۰
۰/۰۵۸۸۰۸	۰/۰۳۸۴۱۶	۳
۰/۰۲۰۳۹۲	۰/۰۱۹۲۰۸	۵
۰/۰۰۱۱۸۴	۰/۰۰۰۳۹۲	۶
۰/۰۰۰۷۹۲	۰/۰۰۰۷۸۴	۸
۰/۰۰۰۰۰۸	۰/۰۰۰۰۰۸	۱۱
	۱/۰۰۰۰۰۰	

جدول ۲-۵

ظرفیت خارج شده (MW)	احتمال فردی
۰	۰/۹۴۱۱۹۲ + ۲/۵(۰/۰۳۸۴۱۶) = ۰/۹۵۶۵۵۸۴
۵	۰/۰۱۹۲۰۸ + ۳/۵(۰/۰۳۸۴۱۶)
	+ ۴/۵(۰/۰۰۰۳۹۲) + ۲/۵(۰/۰۰۰۷۸۴) = ۰/۰۴۲۸۸۴۸
۱۰	۱/۵(۰/۰۰۰۳۹۲) + ۳/۵(۰/۰۰۰۷۸۴)
	+ ۴/۵(۰/۰۰۰۰۰۸) = ۰/۰۰۰۵۵۵۲
۱۵	۱/۵(۰/۰۰۰۰۰۸) = ۰/۰۰۰۰۰۱۶
	۱/۰۰۰۰۰۰۰

عبارت کلی برای این فرآیند گردکردن بصورت

$$P(C_j) = \frac{C_k - C_i}{C_k - C_j} P(C_i)$$

$$P(C_k) = \frac{C_i - C_j}{C_k - C_j} P(C_i)$$

برای تمام حالات i واقع شده بین حالت های گرد شد مورد نیاز j و k استفاده از یک جدول گرد شده در ترکیب با مدل بار برای محاسبه سطح ریسک، بی دقتی های مشخصی را ایجاد می کند. خطا به نمو کردن و شیب مشخصه بار بستگی دارد. خطا با افزایش شیب مشخصه بار کاهش می یابد و برای یک مشخصه بار داده شده با افزایش نمو گرد کردن خطا افزایش می یابد. نمو گرد کردن باید با ابعاد و آرایش سیستم مرتبط باشد. همچنین اولین حالت خاموشی ظرفیت غیرصفر نبایستی کمتر از ظرفیت کمترین واحد باشد.

مدل سیستم تولید به شکلی که در جدول ۲-۴ نشان داده شده است می تواند برای تشریح ایراد اساسی روش های قطعی مرسوم در ارزیابی ظرفیت استفاده شود.

۲-۲-۳ مقایسه معیار قطعی و احتمالاتی

بطوریکه در بخش ۲-۱ اشاره شد، معیار ریسک قطعی نظیر "درصد رزرو" و "از دست دادن بزرگترین واحد" ریسک واقعی سیستم را بطور کامل ارائه نمی دهد. برای نشان دادن این موضوع، چهار سیستم زیر را در نظر بگیرید:

- سیستم ۱، واحدهای $۲۴\times۱۰MW$ که هرکدام $۰/۰۱FOR$ دارند.
- سیستم ۲، واحدهای $۱۲\times۲۰MW$ که هر کدام $۰/۰۱FOR$ دارند.
- سیستم ۳، واحدهای $۱۲\times۲۰MW$ که هر کدام $۰/۰۳FOR$ دارند.
- سیستم ۴، واحدهای $۲۲\times۱۰MW$ که هر کدام $۰/۰۱FOR$ دارند.

هر چهار سیستم مشابه اند ولی یکسان نیستند. در هر سیستم، واحدها یکسان هستند. بنابراین جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت می تواند به آسانی به کمک توزیع دوجمله ای ساخته شود. این آرایه ها در جدول ۲-۶ نشان

داده می شوند و با احتمال تجمعی $۱۰^{-۶}$ خلاصه شده اند. مشاهده می گردد که تعداد قابل ملاحظه ای از حالت های خاموشی ظرفیت به کمک این روش خلاصه سازی حذف می شوند.

جدول ۲-۶ جداول احتمالاتی خاموشی ظرفیت برای سیستم های ۱-۴

ظرفیت سیستم ۱ (MW)		**احتمال**	
خارج	داخل	تکی	تجمعی
۰	۲۴۰	۰/۷۸۵۶۷۸	۱/۰۰۰۰۰۰
۱۰	۲۳۰	۰/۱۹۰۴۶۷	۰/۲۱۴۳۲۲
۲۰	۲۲۰	۰/۰۲۲۱۲۵	۰/۰۲۳۸۵۵
۳۰	۲۱۰	۰/۰۰۱۶۳۹	۰/۰۰۱۷۳۰
۴۰	۲۰۰	۰/۰۰۰۰۸۷	۰/۰۰۰۰۹۱
۵۰	۱۹۰	۰/۰۰۰۰۰۴	۰/۰۰۰۰۰۴

ظرفیت سیستم ۲ (MW)		**احتمال**	
خارج	داخل	تکی	تجمعی
۰	۲۴۰	۰/۸۸۶۳۸۴	۱/۰۰۰۰۰۰
۲۰	۲۲۰	۰/۱۰۷۴۴۱	۰/۱۱۳۶۱۶
۴۰	۲۰۰	۰/۰۰۵۹۶۹	۰/۰۰۶۱۷۵
۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۰۲۰۱	۰/۰۰۰۲۰۶
۸۰	۱۶۰	۰/۰۰۰۰۰۵	۰/۰۰۰۰۰۵
ظرفیت سیستم ۳ (MW)		**احتمال**	
خارج	داخل	تکی	تجمعی
۰	۲۴۰	۰/۶۹۳۸۴۱	۱/۰۰۰۰۰۰
۲۰	۲۲۰	۰/۲۵۷۵۰۹	۰/۳۰۶۱۵۹
۴۰	۲۰۰	۰/۰۴۳۸۰۳	۰/۰۴۸۶۵۰
۶۰	۱۸۰	۰/۰۰۴۵۱۶	۰/۰۰۴۸۴۷
۸۰	۱۶۰	۰/۰۰۰۳۱۴	۰/۰۰۰۳۳۱
۱۰۰	۱۴۰	۰/۰۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۰۱۷
۱۲۰	۱۲۰	۰/۰۰۰۰۰۱	۰/۰۰۰۰۰۱

ظرفیت سیستم ۴ (MW)		**احتمال**	
خارج	داخل	تکی	تجمعی
۰	۲۲۰	۰/۸۰۱۶۳۱	۱/۰۰۰۰۰۰
۱۰	۲۱۰	۰/۱۷۸۱۴۰	۰/۱۹۸۳۶۹
۲۰	۲۰۰	۰/۰۱۸۸۹۴	۰/۰۲۰۲۲۹
۳۰	۱۹۰	۰/۰۰۱۲۷۲	۰/۰۰۱۳۳۵
۴۰	۱۸۰	۰/۰۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۰۶۳

۵۰	۱۷۰	۰/۰۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۲

سطح بار یا تقاضای سیستم ثابت فرض می شود. اگر ریسک سیستم به صورت احتمال برآورده نشدن بار تعریف شود، آنوقت ریسک واقعی در سیستم بوسیله مقدار احتمال تجمعی مربوط به حالت خاموشی ظرفیت یک نمو پایین تر از مقداری که بار سیستم را تامین می‌کند، داده می شود. اکنون دو معیار ریسک قطعی می تواند با این ریسک احتمالی مقایسه گردند بطوریکه در بخش های (الف) و (ب) زیر آورده شده است.

(الف) درصد حاشیه رزرو

فرض کنید که تقاضای بار مورد انتظار در سیستم های ۱، ۲، ۳، ۴ به ترتیب ۲۰۰،۲۰۰،۲۰۰، ۱۸۳MW باشد. ظرفیت منصوب شده برای تمام چهار حالت به گونه ای است که یک حاشیه رزرو ۲۰٪ دارند یعنی برای تمام چهار سیستم ثابت است. ریسکهای احتمالی یا واقعی در هر چهار سیستم می تواند از جدول ۲-۶ یافت شوند و دارای مقادیر زیر هستند:

ریسک در سیستم ۱ = ۰/۰۰۰۰۰۴

ریسک در سیستم ۲ = ۰/۰۰۰۲۰۶

ریسک در سیستم ۳ = ۰/۰۰۴۸۴۷

ریسک در سیستم ۴ = ۰/۰۰۰۰۶۳

این مقادیر ریسک نشان می دهد که ریسک واقعی در سیستم ۳، ۱۰۰۰ برابر بیشتر از ریسک در سیستم ۱ است. تحلیل دقیق این چهار سیستم نشان خواهد داد که تغییر در ریسک واقعی به نرخ خاموشی اجباری، تعداد واحدها و تقاضای بار بستگی دارد. بنابراین روش درصد رزرو نمی تواند برای انی ضرایب محاسبه گردد، حتی به کمک "معیار ریسک ثابت" برآورد ریسک مناسبی را ارائه نمی دهد.

(ب) رزرو بزرگترین واحد

اکنون فرض کنید که تقاضاهای بار مورد انتظار در سیستم های ۱، ۲، ۳، ۴ به ترتیب ۲۳۰، ۲۲۰، ۲۲۰، MW۲۱۰ است. ظرفیت نصب شده در هر چهار حالت به گونه ای است که رزرو معادل با بزرگترین واحد می باشد که برای هر چهار سیستم ثابت است. در این حالت ریسکهای احتمالی برابرند با:

ریسک در سیستم ۱ = ۰/۰۲۳۸۵۵

ریسک در سیستم ۲ = ۰/۰۰۶۱۷۵

ریسک در سیستم ۳ = ۰/۰۴۸۶۵۰

ریسک در سیستم ۴ = ۰/۰۲۰۲۲۹

در این حالت تغییرات در ریسک خیلی کوچک تر است لذا به این معیار مقداری اعتبار می‌دهد. اکنون نسبت بین کوچک ترین و بزرگترین سطوح ریسک ۸:۱ می باشد و مرتبه برتری ریسک از سیستم ۱-۴-۲-۳ در حالت معیار "درصد رزرو" به ۲-۴-۱-۳ در حالت معیار "بزرگترین واحد" تغییر یافته است.

از این مقایسه به نظر می آید که استفاده از معیار قطعی یا "سرانگشتی" می تواند به انحراف زیاد در ریسک های احتمالاتی حتی برای سیستم های که خیلی مشابه بسیار مشابه منجر شود. بنابراین این ها روش هایی متناقض، غیرقابل اطمینان و ذهنی برای برنامه ریزی حاشیه رزرو هستند.

۲-۲-۴ یک الگوریتم بازگشتی برای ساخت مدل ظرفیت

مدل ظرفیت می تواند به کمک الگوریتم ساده که همچنین می تواند برای حذف یک واحد از مدل نیز استفاده گردد، ساخته شود [۱۹]. همچنین این روش می تواند برای یک واحد چند حالته استفاده گردد، یعنی واحدی که می تواند در یک یا بیشتر حالت خروجی جزئی یا نیمه ظرفیت، بعلاوه حالت های کاملا در حال کار یا کاملا از کار افتاده وجود داشته باشد. این روش برای واحد دوحالته اضافی که حالتی معمول برای واحد چند حالته است نشان داده شده است.

وضعیت ۱ بدون حالت های نیمه ظرفیت

احتمال تجمعی یک حالت خاموشی ظرفیت خاص X MW بعد از اینکه یک واحد ظرفیت CMW و نرخ خاموشی اجباری U اضافه می شود، به صورت زیر داده می شود

$$P(X) = (۱-U)P'(X) + (U)P'(X-C) \qquad (۲-۲)$$

که $P'(X)$ و $P(X)$ احتمالات تجمعی حالت خاموشی ظرفیت X MW قبل و بعد از اینکه واحد اضافه شود را نشان می دهد. عبارت فوق با تنظیمات $P'(X) = ۱$ برای $X \leq ۰$ و در غیر این صورت $P'(X) = ۰$ مقدار دهی اولیه می شود.

رابطه (۲-۲) به کمک سیستم ساده نشان داده شده در جدول ۲-۷ شرح داده می شود. هر واحد در جدول ۲-۷ دارای یک دسترسی و عدم دسترسی به ترتیب ۰/۹۸ و ۰/۰۲ می باشند (رابطه ۲-۱).

احتمال خاموشی ظرفیت سیستم به صورت پی در پی در ادامه داده می شود:

مرحله ۱- اولین واحد را اضاف کنید.

$$P(۰) = (۱-۰/۰۲)(۱/۰) + (۰/۰۲)(۱/۰) = ۱/۰$$
$$P(۲۵) = (۱-۰/۰۲)(۰) + (۰/۰۲)(۱/۰) = ۰/۰۲$$

مرحله ۲- دومین واحد را اضاف کنید.

$$P(۰) = (۱-۰/۰۲)(۱/۰) + (۰/۰۲)(۱/۰) = ۱/۰$$
$$P(۲۵) = (۱-۰/۰۲)(۰/۰۲) + (۰/۰۲)(۱/۰) = ۰/۰۳۹۶$$
$$P(۵۰) = (۱-۰/۰۲)(۰) + (۰/۰۲)(۰/۰۲) = ۰/۰۰۰۴$$

مرحله ۳- سومین واحد را اضاف کنید.

$$P(۰) = (۱-۰/۰۲)(۱/۰) + (۰/۰۲)(۱/۰) = ۱/۰$$
$$P(۲۵) = (۱-۰/۰۲)(۰/۰۳۹۶) + (۰/۰۲)(۱/۰) = ۰/۰۵۸۸۰۸$$
$$P(۵۰) = (۱-۰/۰۲)(۰/۰۰۰۴) + (۰/۰۲)(۱/۰) = ۰/۰۲۰۳۹۲$$
$$P(۷۵) = (۱-۰/۰۲)(۰) + (۰/۰۲)(۰/۰۳۹۶) = ۰/۰۰۰۷۹۲$$
$$P(۱۰۰) = (۱-۰/۰۲)(۰) + (۰/۰۲)(۰/۰۰۰۴) = ۰/۰۰۰۰۰۸$$

خواننده باید این روش را برای بدست آوردن جدول ۲-۴ بکار گیرد.

جدول ۲-۷ داده های سیستم

شماره واحد	ظرفیت (MW)	نرخ خرابی (f/day)	نرخ تعمیر (r/day)
۱	۲۵	۰/۰۱	۰/۴۹
۲	۲۵	۰/۰۱	۰/۴۹
۳	۵۰	۰/۰۱	۰/۴۹

جدول ۲-۸ واحد ۵۰MW – نمایش سه حالته

حالت	ظرفیت خارج شده	احتمال حالت (P_i)
۱	۰	۰/۹۶۰
۲	۲۰	۰/۰۳۳
۳	۵۰	۰/۰۰۷

وضعیت ۲ حالت های نیمه ظرفیت

معادله (۲-۲) می تواند به صورت زیر برای ارائه واحد چند حالته اصلاح شود.

$$P(X) = \sum_{i=1}^{n} p_i P'(X - C_i) \qquad (۳-۲)$$

که n= تعداد حالت های واحد

C_i = خاموشی ظرفیت حالت i برای واحدی که اضافه شده

p_i = احتمال وجود حالت i واحد

وقتی n=۲ معادله (۲-۳) به معادله (۲-۲) تبدیل می شود.

معادله (۲-۳) با استفاده از نمایش واحد ۵۰MW نشان داده شده در جدول ۲-۸ شرح داده می شود.

اگر واحد ۵۰MW دو حالته در مثال قبلی بوسیله واحد سه حالته نشان داده شده در جدول ۲-۸ جایگزین گردد، گام ۳ به صورت زیر درمی آید:

$$P(۰) = (۰/۹۶)(۱/۰) + (۰/۰۳۳)(۱/۰) + (۰/۰۰۷)(۱/۰) = ۱/۰$$
$$P(۲۰) = (۰/۹۶)(۰/۰۳۹۶) + (۰/۰۳۳)(۱/۰) + (۰/۰۰۷)(۱/۰) + ۰/۰۷۸۰۱۶$$
$$P(۲۵) = (۰/۹۶)(۰/۰۳۹۶) + (۰/۰۳۳)(۰/۰۳۹۶) + (۰/۰۰۷)(۱/۰) = ۰/۰۴۶۳۲۲۸$$
$$P(۴۵) = (۰/۹۶)(۰/۰۰۰۴) + (۰/۰۳۳)(۰/۰۳۹۶) + (۰/۰۰۷)(۱/۰) = ۰/۰۰۸۶۹۰۸$$
$$P(۵۰) = (۰/۹۶)(۰/۰۰۰۴) + (۰/۰۳۳)(۰/۰۰۰۴) + (۰/۰۰۷)(۱/۰) = ۰/۰۰۷۳۹۷۲$$
$$P(۷۰) = (۰/۹۶)(۰) + (۰/۰۳۳)(۰/۰۰۰۴) + (۰/۰۰۷)(۰/۰۳۹۶) = ۰/۰۰۰۲۹۰۴$$
$$P(۷۵) = (۰/۹۶)(۰) + (۰/۰۳۳)(۰) + (۰/۰۰۷)(۰/۰۳۹۶) = ۰/۰۰۰۲۷۷۲$$
$$P(۱۰۰) = (۰/۹۶)(۰) + (۰/۰۳۳)(۰) + (۰/۰۰۷)(۰/۰۰۰۴) = ۰/۰۰۰۰۰۲۸$$

۲-۲-۵ الگوریتم بازگشتی برای حذف واحد

واحدهای تولیدی بطور دوره ای برای تعمیرات اساسی واحد و تعمیرات پیشگیرانه از مدار خارج می شوند. در خلال این خاموشی های برنامه ریزی شده، واحدها نه برای سریس دادن در دسترس هستند و نه خراب شده اند. این وضعیت، یک مدل ظرفیت جدید نیاز دارد که واحدی در حالت خاموشی برنامه ریزی شده است را شامل نشود. مدل جدید می تواند به سادگی از ابتدا به وسیله معادلات (۲-۲) یا (۲-۳) ایجاد شود. در حالتی که سیستم بزرگ است، اگر تعدادی دوره گسسته وجود داشته باشد، زمان کامپیوتر قابل ملاحظه ای مورد نیاز است. در هر حال روابط (۲-۲) و (۲-۳) برای یافتن مدل ظرفیت بعد از جداشدن واحد می‌تواند بطور معکوس استفاده گردند.

رابطه (۲-۲) را در نظر بگیرید:

$$P(X) = (۱-U)P'(X) + (U)P'(X-C) \qquad (۲-۲)$$

$$P'(X) = \frac{P(X) - (U)P'(X-C)}{(۱-U)} \qquad (۲-۴)$$

در رابطه (۲-۴) برای $X \le C$ ، $P'(X-C) = ۱/۰$ می باشد. این روش می تواند به کمک مثال حالت ۱ در بخش ۲-۲-۴ شرح داده شود. واحد ۵۰MW از جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت به صورت زیر جدا می شود:

$$P(۰) = \frac{(۱/۰) - (۰/۰۲)(۱/۰)}{۰/۹۸} = ۱/۰$$

$$P(۲۵) = \frac{۰/۰۵۸۸۰۸) - (۰/۰۲)(۱/۰)}{۰/۹۸} = ۰/۰۳۹۶$$

$$P(۵۰) = \frac{(۰/۰۲۰۳۹۲) - (۰/۰۲)(۱/۰)}{۰/۹۸} = ۰/۰۰۴$$

این مدل ظرفیتی است که در مرحله ۲ نشان داده شده است. خواننده می تواند یک واحد ۲۵MW را برای بدست آوردن مقادیر در مرحله ۱ حذف کند.

رابطه برای جدا کردن یک واحد چند حالته از رابطه (۲-۳) بدست می آید:

$$P(X) = \sum_{i=۱}^{n} p_i P'(X - C_i) \qquad (۳-۲)$$

$$P'(X) = \frac{P(X) - \sum_{i=۲}^{n} p_i P'(X - C_i)}{p_۱} \qquad (۵-۲)$$

استفاده رابطه (۲-۵) برای حالت قبلی که واحد نشان داده شده در جدول ۲-۸ به دو واحد ۲۵MW اضافه می گردد، بعهده خواننده گذاشته می شود. کاربرد مستقیم رابطه (۲-۵) نیازمند آن است که تمام حالت های نیمه ظرفیت و حالت خاموشی کامل واحدی که حذف شده، مضرب نمو گرد کردن در استفاده شده در جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت شود. در عمل حالت های نیمه ظرفیت انتخابی برای مدل کردن واحد، مجموعه کامل حالت های نیمه ظرفیت نیستند اما مجموعه منتخبی از حالت ها هستند. بنابراین منطقی است که حالت های نیمه ظرفیت را با مضرب نمو گرد کردن یکسان قرار دهیم. همچنین ظرفیت کل واحد ممکن است مضرب نمو گرد کردن نباشد. در این حالت جدا شدن واحد می تواند بوسیله حذف مجزای دو واحد فرضی از جدول موجود، که یکی ظرفیت کمتر و دیگری بیشتری از واحدی که حذف می شود دارد، هر دو برابر مضربی از نمو گرد کردن هستند، انجام شود. بنابراین این روش دو جدول مجزا تولید می کند که بعد می تواند برای ایجاد جدول مورد نیاز متوسط گیری شوند.

۲-۲-۶ روش های دیگر ساخت مدل

خاموشی های ظرفیت سیستم تولید توزیع ناپیوسته دارند و احتمالات آنها معمولاً به کمک روش خاموشی بازگشتی شناخته شده که قبلاً توصیف شد، ارزیابی می گردد. مشخص است اگر سیستم خیلی بزرگ باشد توزیع ناپیوسته خاموشی های ظرفیت می تواند بوسیله یک توزیع پیوسته تقریب زده شود [۲۰]. چون اندازه سیستم افزایش می یابد، چنین توزیعی با توزیع نرمال تقریب زده می شود. اگر فرض شود توزیع ظرفیت در حالت خاموشی اجباری یک توزیع نرمال باشد، آن وقت بسط جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت نسبتاً ساده است. ورودی ساده جدول تنها بوسیله میانه و واریانس بدست می آیند. نتایج تهیه شده به کمک این مدل پیوسته خاموشی های ظرفیت سیستم [۳۷]، وقتی با آنچه که به کمک روش بازگشتی تهیه شده مقایسه می شوند دارای دقت مناسبی نیستند. بنابراین Schend-Rau[۲۱] یک روش تبدیل فوریه بر پایه تابع توزیع Gram-Charlier برای بهبود دقت مدل پیوسته پیشنهاد داده اند. تشریح کامل ریاضی روش پیشنهادی در مرجع [۲۱] داده می شود. روش گام به گام و بطور خلاصه در زیر آورده می شود.

اگر

C_i = ظرفیت واحد i برحسب MW

q_i = نرخ خاموشی اجباری واحد i

n= تعداد واحدهای تولید

گام ۱ مقادیر زیر برای هر واحد در سیستم محاسبه کنید

$$m_1(i) = C_i q_i$$
$$m_2(i) = C_i^2 q_i$$
$$m_3(i) = C_i^3 q_i$$

$$m_4(i) = C_i^4 q_i$$
$$V_i^2 = m_2(i) - m_1^2(i)$$
$$M_3(i) = m_3(i) - 3m_1(i)m_2(i) + 2m_1^3(i)$$
$$M_4(i) = m_4(i) - 4m_1(i)m_3(i) + 6m_1^2(i)m_2(i) - 2m_1^4(i)$$

گام ۲ از نتایج گام ۱ پارامترهای زیر را محاسبه کنید.

$$M = \sum_{i=1}^{n} m_1(i)$$

$$V^2 = \sum_{i=1}^{n} V_i^2$$

$$M_3 = \sum_{i=1}^{n} M_3(i)$$

$$M_4 = \sum_{i=1}^{n} (M_4(i) - 3V_i^4) + 3V^4$$

$$G_1 = M_3 / V^3$$
$$G_2 = (M_4 / V^4) - 3$$

گام ۳ از نتایج گام ۲ و برای هر خاموشی ظرفیت دلخواه xMW عبارات زیر را محاسبه کنید:

$$Z_1 = \frac{x - M}{V}$$

$$Z_2 = \frac{x + M}{V}$$

بر اساس مقادیر نامی Z_2 سه حالت در نظر گرفته می شود.

حالت ۱ اگر $Z_2 \leq 2/0$

دو ناحیه، ناحیه ۱و۲، را تحت تابع چگالی نرمال استاندارد یا از جداول توزیع گوسی استاندارد N(Z) یا از روابط داده شده در بخش ۶-۷-۳ سیستم های مهندسی محاسبه کنید. تابع چگالی نرمال می تواند به صورت زیر نشان داده شود.

$$N(Z)=\frac{۱}{\sqrt{(۲\pi)}}e^{-\frac{۱}{۲}Z^{۲}} \qquad , \quad -\infty<Z<\infty$$

و دو ناحیه به صورت زیر معرفی می شوند

$$\text{ناحیه ۱}=\int_{Z_۱}^{\infty}N(Z)dZ$$

$$\text{ناحیه ۲}=\int_{-\infty}^{-Z_۲}N(Z)dZ=\int_{Z_۲}^{\infty}N(Z)dZ$$

احتمال خاموشی ظرفیت xMW یا بیشتر به صورت زیر داده می شود

احتمال [خاموشی ظرفیت $\leq xMW$] = ناحیه ۱ + ناحیه ۲

حالت ۲ اگر $۲<Z_۲\leq ۵/۰$

ناحیه ۱و۲ را همانند حالت ۱ محاسبه کنید. بعلاوه عبارات زیر محاسبه گردند

$$N^{(۲)}(Z_i)=(Z_i^{۲}-۱)N(Z_i)$$
$$N^{(۳)}(Z_i)=(-Z_i^{۳}+۳Z_i)N(Z_i)$$

$$N^{(۵)}(Z_i)=(-Z_i^{۵}+۱۰Z_i^{۳}-۱۵Z_i)N(Z_i)$$
$$K_i=G_۱-\frac{۱}{۶}N^{(۲)}(Z_i)-\frac{G_۲}{۲۴}N^{(۳)}(Z_i)-\frac{G_۱^{۲}}{۷۲}N^{(۵)}(Z_i)$$

که i مقادیر ۱و۲ را می گیرد.

احتمال خاموشی ظرفیت xMW یا بیشتر به صورت زیر داده می شود

احتمال [خاموشی ظرفیت $\leq xMW$] = ناحیه ۱+ ناحیه ۲+ $K_۲+K_۱$

حالت ۳ اگر $Z_۲>۵/۰$

برای این حالت تنها ناحیه ۱ از حالت ۱ برای محاسبه $K_۱$ از حالت ۲ استفاده می شود. ناحیه ۲ و $K_۲$ می تواند صرف نظر شود چون مقادیر عددی در این رنج خیلی کوچک هستند. احتمال مورد نیاز برای xMW داده شده به صورت زیر ارائه می شود:

احتمال [خاموشی ظرفیت $\leq xMW$] = ناحیه K_1+1

روش توصیف شده فوق برای توسعه جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت یک سیستم داده شده نمایش دو حالته یک واحد تولیدی را بکار گرفته است. در حالت هایی که در آنها سیستم واحدهای نیمه ظرفیت دارد، روش گام به گام با شکل گیری چهار عبارت اول گام ۱ به صورت زیر همچنان کاربرد دارد:

$$m_1(i) = c_i q_i + \sum_{k=1}^{r} c_{ik} q_{ik}$$

$$m_2(i) = c_i^2 q_i + \sum_{k=1}^{r} c_{ik}^2 q_{ik}$$

$$m_3(i) = c_i^3 q_i + \sum_{k=1}^{r} c_{ik}^3 q_{ik}$$

$$m_4(i) = c_i^4 q_i + \sum_{k=1}^{r} c_{ik}^4 q_{ik}$$

که

$FOR = q_i$ برای خاموشی ظرفیت کامل

$r =$ تعداد حالت های نیمه ظرفیت

$FOR = q_{ik}$ های حالت های جزئی ظرفیت

c_{ik} =ظرفیت های حالت های جزئی ظرفیت

وقتی یک واحد اضافه می شود و یا از جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت حذف می گردد، جدول جدید می تواند به کمک همان فرآیند، بعد از اینکه پارامترهای جدید M, V, G_1 و G_2 بدست می آیند، توسعه یابد.

روش تبدیل فوریه برای بسط جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت به کمک سیستم پنج ژنراتوری داده شده در جدول ۲-۱۱ شرح داده می شود. نتایج عددی به صورت زیر آورده شده است.

گام ۱ مقادیر مرتبط با این گام یک بار ارزیابی شده اند، چون واحدها یکسان هستند و مقادیر به صورت زیر می شوند.

$m_۱$	$m_۲$	$m_۳$	$m_۴$	$V_۲$	$M_۳$	$M_۴$
۰/۴۰	۱۶/۰	۶۴۰/۰	۲۵۶۰۰/۰	۱۵/۸۴	۶۲۰/۹۲۸	۲۴۵۹۱/۳۰۸۸

گام ۲ مقادیر پارامترهای مختلف مرتبط با این گام در زیر نشان داده شده است.

M	$V_۲$	$M_۳$	$M_۴$	$G_۱$	$G_۲$
۲/۰	۷۹/۲	۳۱۰۴/۶۴	۰۳۸۰۱۰/۸۸	۴/۴۰۴۷۷۲۴	۱۹/۰۰۲۰۴۰۶

گام ۳ برای یک خاموشی ظرفیت ۴۰MW مقادیر $Z_۱$, $Z_۲$ به ترتیب ۴/۲۶۹۹۳۲ و ۴/۷۱۹۳۹۹ می شود. چون $۲ < Z_۲ \leq ۵/۰$ لذا حالت ۲ استفاده می گردد. مقادیر مرتبط با عبارات مختلف در این گام به صورت زیر داده شده اند.

ناحیه ۱	$N(Z_۱)$	$N^{(۲)}(Z_۱)$
$۰/۹۷۷۴\times۱۰^{-۵}$	$۰/۴۳۸۳۴\times۱۰^{-۴}$	$۰/۷۵۵۳۶۱۵\times۱۰^{-۳}$

$N^{(۳)}(Z_۱)$	$N^{(۵)}(Z_۱)$	$K_۱$
$۱۰^{-۲}\times-۰/۲۸۵۱۰۰۵$	-۰/۰۳۰۹۰۰۴	۰/۰۱۱۱۳۸۵

ناحیه ۲	$N(Z_۲)$	$N^{(۲)}(Z_۲)$
$۰/۱۱۷۹\times۱۰^{-۵}$	$۰/۵۸۱۳۶\times۱۰^{-۵}$	$۰/۱۲۳۶۷۱\times۱۰^{-۳}$

$N^{(۳)}(Z_۲)$	$N^{(۵)}(Z_۲)$	$K_۲$
$۱۰^{-۳}\times-۰/۵۲۸۷۸$	$۱۰^{-۲}\times-۰/۷۹۱۱۲۹$	۰/۰۰۲۶۴۱۳

بنابراین احتمال یک خاموشی ظرفیت ۴۰MW یا بیشتر به صورت زیر داده شده

احتمال [خاموشی ظرفیت $\leq ۴۰MW$]= ناحیه ۱+ ناحیه ۲+ $K_۱ + K_۲$

$$= ۰/۰۱۳۷۹۰۸$$

توجه شود که اگر توزیع نرمال [۲۰] برای تقریب توزیع ناپیوسته خاموشی های ظرفیت سیستم استفاده شود، مقادیر بدست آمده خیلی کمتر از مقادیری است که بوسیله روش تبدیل فوریه بدست آمده است. برای مثال، مقدار احتمال خاموشی ظرفیت ۴۰Mw یا بیشتر برابر $۰/۹۷۷۴\times۱۰^{-۵}$ (ناحیه ۱) بدست آمده است. احتمالات مربوط به بقیه حالتهای وقفه ظرفیت به طور مشابه می تواند به کمک روش گام به گام تهیه شوند. نتایج تهیه شده بوسیله روشهای بازگشتی و تبدیل فوریه در جدول ۲-۹ نشان داده می شوند.

جدول ۲-۹

	احتمال تجمعی	
ظرفیت در خاموشی (MW)	روش بازگشتی	روش تبدیل فوریه
۰/۰	۱/۰	۱/۰
۴۰/۰	۰/۰۴۹۰۰۹	۰/۰۱۳۷۸۸۳
۸۰/۰	$۰/۹۸۰۰\times۱۰^{-۳}$	$۰/۱۰۵۸۴۴\times۱۰^{-۱۲}$
۱۲۰/۰	$۰/۹۰۰\times۱۰^{-۵}$	$۰/۲۸۲۱۶۲۹\times۱۰^{-۳۳}$

بطوریکه از جدول ۲-۹ دیده می شود مقادیر تهیه شده به کمک روش تبدیل فوریه کاملا با آنچه بوسیله روش بازگشتی تهیه شده، متفاوت است. این به دلیل اینکه سیستم تحت مطالعه دارای تعداد ژنراتور خیلی کمی می باشد. هدف اصلی در اینجا نشان دادن روش است. دقت روش تبدیل فوریه با روش بازگشتی تنها وقتی سیستم به قدر کافی بزرگ است قابل مقایسه است. مقایسه ای برای IEEE RTS انجام گرفته و نتایج در پیوست ۲ نشان داده می شوند.

روش تبدیل فوریه کارآمد و به آسانی اعمال می شود. این روش در مقایسه با روش بازگشتی پایه در سیستم های با تعداد زیاد واحدهای تولید، نتایج دقیقی را ارائه می نماید بویژه وقتی که این واحدها دارای نرخ های خاموشی اجباری نسبتاً بزرگی هستند [۲۲]. بنابراین این روش برای سیستم هایی که شامل تعداد زیاد واحد حرارتی فسیلی هستند، مناسب می باشد. اما در سیستم های شامل واحدهای آبی به دلیل نرخ خاموشی اجباری نسبتاً کم آنها اصلا دقیق نیست [۲۳].

یک روش دیگر [۲۴] روشی برای تبدیل جداول ظرفیت واحد به حوزه فرکانس، به کمک تبدیلات سریع فوریه (FFT) و تلفیق بوسیله نهایی می تواند استفاده شود. این روش گرچه نمی تواند به سرعت روش تبدیل فوریه توصیف شده قبلی باشد، ولی می تواند به طور قابل ملاحظه ای سریعتر از روش بازگشتی مستقیم باشد. به عبارت دیگر چون این روش طبیعت ناپیوسته واقعی واحدهای تولید را مدل می کند، معایب روش تبدیل فوریه را تحمیل نکرده و می تواند برای هر دو سیستم بزرگ و کوچک بدون از دست دادن دقت بکار گرفته شود.

۲-۳ شاخص های از دست دادن بار

۲-۳-۱ مفاهیم و روش های ارزیابی

مدل سیستم تولید ارائه شده در بخش قبلی می تواند با یک مدل بار مناسب، جهت تهیه شاخص ریسک سیستم تلفیق گردد. تعدادی مدل بار ممکن وجود دارند که می توانند مورد استفاده قرار گیرند، بنابراین تعداد شاخص ریسک نیز می توانند تولید شوند. ساده ترین مدل بار و مدلی که به صورت گسترده استفاده می شود، مدلی است که در آن هر روز بوسیله بارپیک روزانه اش ارائه می شود. بارهای پیک روزانه تکی می توانند به صورت نزولی برای تشکیل مدل بار تجمعی که با عنوان منحنی تغییرات بارپیک روزانه شناخته می شود، مرتب شوند. مدل حاصله زمانی که از مقادیر ساعتی تکی بار استفاده گردد به عنوان منحنی تداومی بار شناخته می شود. در این حالت ناحیه زیر منحنی، انرژی مورد نیاز در دوره داده شده را نشان می دهد. این حالتی است که در منحنی تغییرات بارپیک روزانه وجود ندارد.

در این روش، جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت سیستم با مشخصه بار ترکیب می شود تا ریسک از دست دادن بار انتظاری را ارائه نماید. اگر منحنی تغییرات بارپیک روزانه استفاده شود، واحدها بر حسب روز و اگر منحنی دوره ای بار استفاده شود برحسب ساعت هستند. قبل از ترکیب جدول احتمالاتی خاموشی، اختلاف موجود بین عبارات "خاموشی ظرفیت" و "از دست دادن بار" می بایست مورد توجه قرار گیرد. عبارت "خاموشی ظرفیت" از دست دادن تولید را نشان می دهد که ممکن است به حذف بار منجر شود یا نشود. این شرایط به حاشیه رزرو ظرفیت تولید و سطح بار سیستم بستگی دارد. "از دست دادن بار" تنها زمانی اتفاق خواهد افتاد که سطح بار سیستم از توانایی ظرفیت تولید باقیمانده در سرویس تجاوزکند.

بارهای مجزای پیک روزانه می تواند به همراه جدول احتمالاتی خروج ظرفیت جهت بدست آوردن تعداد روزهای موجود در یک دوره مشخص که در آن دوره پیک بار روزانه از ظرفیت موجود تجاوز خواهد کرد، استفاده شوند. در این حالت شاخصی با عنوان امید ریاضی از دست دادن بار (LOLE) طراحی می شود.

$$LOLE = \sum_{i=۱}^{n} P_i(C_i - L_i) \qquad days / period \qquad (۶-۲)$$

که C_i = ظرفیت موجود در روز i

L_i = بار پیک پیش بینی در روز i

$P_i(C_i - L_i)$ = احتمال از دست دادن بار در روز i. این مقدار مستقیماً از جدول احتمال تجمعی خاموشی ظرفیت تهیه می شود.

این روش به کمک سیستم ۱۰۰MW نشان داده شده در جدول ۲-۷ تشریح می گردد. داده‌های بار برای یک دوره ۳۶۵ روزه در جدول ۲-۱۰ نشان داده می شود.

به کمک رابطه (۲-۶)،

$$\begin{aligned} LOLE &= ۱۲P(۱۰۰-۵۷) + ۸۳P(۱۰۰-۵۲) + ۱۰۷P(۱۰۰-۴۶) \\ &\quad + ۱۱۶P(۱۰۰-۴۱) + ۴۷P(۱۰۰-۳۴) \\ &= ۱۲(۰/۰۲۰۳۹۲) + ۸۳(۰/۰۲۰۳۹۲) + ۱۰۷(۰/۰۰۰۷۹۲) \\ &\quad + ۱۱۶(۰/۰۰۰۷۹۲) + ۴۷(۰/۰۰۰۷۹۲) \end{aligned}$$

=۲/۱۵۱۰۸ سال/روز

جدول ۲-۱۰ اطلاعات بار مورد استفاده در ارزیابی LOLE

بار پیک روزانه (MW)	۵۷	۵۲	۴۶	۴۱	۳۴
تعداد اتفاقات	۱۲	۸۳	۱۰۷	۱۱۶	۴۷

همچنین شاخص LOLE مشابه می تواند به کمک منحنی تغییرات بارپیک روزانه تهیه شود. شکل ۲-۴ ارتباط بار ظرفیت یک سیستم نوعی را نشان می دهد که مدل بار به صورت یک منحنی پیوسته برای دوره ۳۶۵ روزه ارائه شده است. یک خاموشی ظرفیت مخصوص به اندازه مقدار ضرب احتمال وجود آن خاموشی در تعداد زمان هایی در محدوده زمانی مطالعه سیستم که در آن اگر خاموشی ظرفیت رخ دهد، از دست دادن بار اتفاق می افتد، در مقدار LOLE سیستم سهیم خواهد بود. از شکل ۲-۴ دیده می شود که هر خاموشی ظرفیت کمتر از میزان

رزرو در LOLE سیستم سهیم نخواهد بود. خاموشی های ظرفیت بیشتر از میزان رزرو زمان هایی را ایجاد خواهد کرد که در آنها از دست دادن بار رخ خواهد داد.

به طور ریاضی، سهم هر خاموشی ظرفیت Q_k در LOLE سیستم معادل $P_k t_k$ واحد زمان است که P_k احتمال تکی خاموشی ظرفیت Q_k است. LOLE کل برای دوره مطالعه به صورت

$$LOLE = \sum_{k=1}^{n} p_k t_k \quad \text{واحد زمان} \qquad (۷-۲)$$

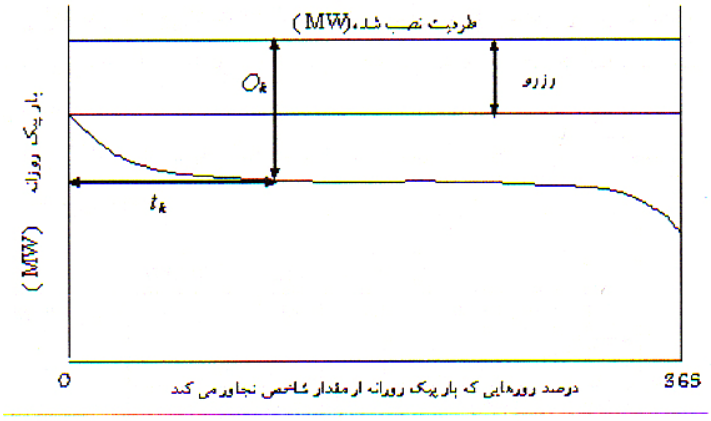
مقادیر p_k در رابطه (۲-۷) احتمالات تکی مربوط به حالت های خاموشی ظرفیت هستند. این رابطه را می توان برای استفاده از احتمالات حالت تجمعی اصلاح کرد. در این حالت

$$LOLE = \sum_{k=1}^{n} (t_k - t_{k-1}) P_k \qquad (۸-۲)$$

توجه P_k =احتمال خاموشی تجمعی در حالت ظرفیت O_k

اگر مشخصه بار در شکل ۲-۴ منحنی تدوامی بار باشد، مقدار LOLE بر حسب ساعت است. اگر از منحنی تغییرات بارپیک روزانه استفاده شود، LOLE برای دوره مطالعه برحسب روز می شود.

دوره مطالعه می تواند یک هفته، یک ماه یا یک سال باشد. ساده ترین کاربرد استفاده از منحنی بر پایه سالیانه است. اگر تعمیرات واحد تولیدی انجام نشود، جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت برای تمام دوره معتبر است.



شکل ۲-۵ منحنی تغییرات بار پیک روزانه

Q_k مقدار وقفه kام در جدول احتمال وقفه ظرفیت سیستم

t_k مقدار واحد زمانی در دوره مطالعه که مقدار وقفه O_k، حذف بار را نتیجه می دهد.

تأثیر تعمیرات واحد در بخش ۲-۶ بحث می گردد. وقتی منحنی تغییرات بارپیک روزانه بر پایه سالیانه استفاده شود، LOLE بر حسب روز بر سال است. معکوس این مقدار بر حسب سال بر روز اغلب به صورت شاخص قابلیت اطمینان ذکر می‌گردد. کاربرد این مقدار معکوس- بویژه برای بیشتر افرادی که از حقیقت موضوع آگاه نیستند- اشتباهات قابل ملاحظه ای ایجاد می نماید. نتیجه بر حسب روز/سال بطور ساده انتظار ریاضی از دست دادن بار در واحد زمان در دوره مطالعه است، که متوسط روزهایی که در آنها بار از دست می رود را می شمرد. باید تأکید گردد که این مقدار هیچ مفهوم تدوامی و فراوانی ندارد.

۲-۳-۲ مثال های عددی

(الف) مطالعه پایه

کاربرد روابط (۲-۷) و (۲-۸) می تواند بوسیله یک مثال ساده عددی نشان داده شود.

سیستمی شامل پنج واحد ۴۰MW هر یک با نرخ خروج ۰/۰۱ را در نظر بگیرید. جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت برای این سیستم در جدول ۲-۱۱ نشان داده می شود.

جدول ۲-۱۱ مدل تولید برای سیستم پنج واحده

ظرفیت نصب شده سیستم= ۲۰۰MW

احتمال تجمعی	احتمال تکی	ظرفیت خارج از سرویس
۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۹۵۰۹۹۱	۰
۰/۰۴۹۰۰۹	۰/۰۴۸۰۲۹	۴۰
۰/۰۰۰۹۸۰	۰/۰۰۰۹۷۱	۸۰
۰/۰۰۰۰۰۹	۰/۰۰۰۰۰۹	۱۲۰
	۱/۰۰۰۰۰۰	

مقادیر احتمال کمتر از $۱۰^{-۶}$ صرف نظر شده است. مدل بار سیستم بوسیله منحنی تغییرات بارپیک روزانه در شکل ۲-۵ نشان داده می شود. بدلیل ساده سازی محاسبات دستی، این نمودار خطی فرض شده است. هرچند این نمایش خطی در عمل رخ نمی دهد.

در این حالت، دوره مطالعه یک سال فرض می شود و بنابراین مقدار ۱۰۰٪ روی محور افقی برابر با ۳۶۵ روز است. در بعضی مطالعات آخر هفته ها و تعطیلات صرف نظر می شوند تا از مشارکت آنها در LOLE صرف نظر شود. آنوقت محدوده زمانی تقریباً ۲۶۰ روز می شود. بارپیک پیش بینی شده خاموشی برای این سیستم ۱۶۰MW است که مربوط به ۱۰۰٪ محور قائم می باشد. LOLE می تواند به کمک احتمالات وقفه ظرفیت تکی یا به کمک مقادیر تجمعی پیدا شود. هر دو روش در این مثال نشان داده می شوند. جدول ۲-۱۲ محاسبات را به کمک رابطه (۲-۷) نشان می دهد. دوره های زمانی t_k در شکل ۲-۶ نشان داده شده است.

جدول ۲-۱۲ LOLE به کمک احتمالات تکی

LOLE	زمان کل t_k (%)	احتمال فردی	ظرفیت در سرویس (MW)	ظرفیت خارج از سرویس (MW)
--	۰	۰/۹۵۰۹۹۱	۲۰۰	۰
--	۰	۰/۰۴۸۰۲۹	۱۶۰	۴۰
۰/۰۴۰۴۹۰۷	۴۱/۷	۰/۰۰۰۹۷۱	۱۲۰	۸۰
۰/۰۰۰۷۵۰۶	۸۳/۴	۰/۰۰۰۰۰۹	۸۰	۱۲۰
۰/۰۴۱۲۴۱۳		۱/۰۰۰۰۰۰		

LOLE برابر ۰/۰۴۱۲۴۱۳٪ واحد زمانی پایه است. با فرض ۳۶۵ روز یک سال، LOLE برابر ۰/۱۵۰۴۱۰ روز یا ۶/۶۵ سال بر روز می شود. بنابراین محور افقی و زمان کل t_k بجای درصد می تواند برحسب روز باشد و نتایج مشابه ای تهیه گردد.

اگر از مقادیر احتمال تجمعی استفاده شود. مقادیر زمانی مورد استفاده به صورت فاصله زمانی یا زمان کوتاه شده بوسیله T_k در شکل ۲-۶ نشان داده می شود. نتیجه فرآیند در جدول ۲-۱۳ نشان داده می شود.

LOLE ۰/۰۵۱۲۴۱۳٪ مشابه مقدار بدست آمده قبلی است. هر دو روش به سادگی نشان می دهند که نتایج مشابهی دارند.

جدول ۲-۱۳ LOLE به کمک احتمالات تجمعی

LOLE	فاصله زمانی T_k (%)	احتمال تجمعی	ظرفیت در سرویس (MW)	ظرفیت خارج از سرویس (MW)
--	۰	۱/۰۰۰۰۰۰	۲۰۰	۰
--	۰	۰/۰۴۹۰۰۹	۱۶۰	۴۰
۰/۰۴۰۸۶۶۰	۴۱/۷	۰/۰۰۰۹۸۰	۱۲۰	۸۰
۰/۰۰۰۳۷۵۳	۴۱/۷	۰/۰۰۰۰۰۹	۸۰	۱۲۰
۰/۰۴۱۲۴۱۳٪				

(ب) مطالعات حساسیت

بارپیک سیستم در مثال فوق ۱۶۰MW است. جدول ۲-۱۴ تغییرات ریسک را به صورت تابعی از بارپیک نشان می دهد. مشخصات بار برای هر بارپیک پیش بینی شده در شکل ۲-۵ نشان داده می شود. LOLE سالیانه با فرض ۳۶۵ روز در سال محاسبه می شود.

این نتایج می تواند به بهترین شکل به صورت یک گراف توسط کاغذ نیمه لگاریتمی بطوریکه در شکل ۲-۷ مشخص شده، نشان داده شود.

جدول ۲-۱۴ نتایج مطالعه حساسیت

LOLE		
سال/روز	روز/سال	بارپیک سیستم (MW)
۰/۱۶	۶/۰۸۳	۲۰۰/۰
۰/۲۱	۴/۸۳۷	۱۹۰/۰
۰/۲۹	۳/۴۴۷	۱۸۰/۰
۰/۵۳	۱/۸۹۵	۱۷۰/۰
۶/۶۴	۰/۱۵۰۶	۱۶۰/۰

۸/۲۸	۰/۱۲۰۸	۱۵۰/۰
۱۱/۵۱	۰/۰۸۶۸۷	۱۴۰/۰
۲۰/۹۶	۰/۰۴۷۷۲	۱۳۰/۰
۴۹۸	۰/۰۰۲۰۰۵	۱۲۰/۰
۶۰۸	۰/۰۰۱۶۴۴	۱۱۰/۰
۸۲۹	۰/۰۰۱۲۱۰	۱۰۰/۰

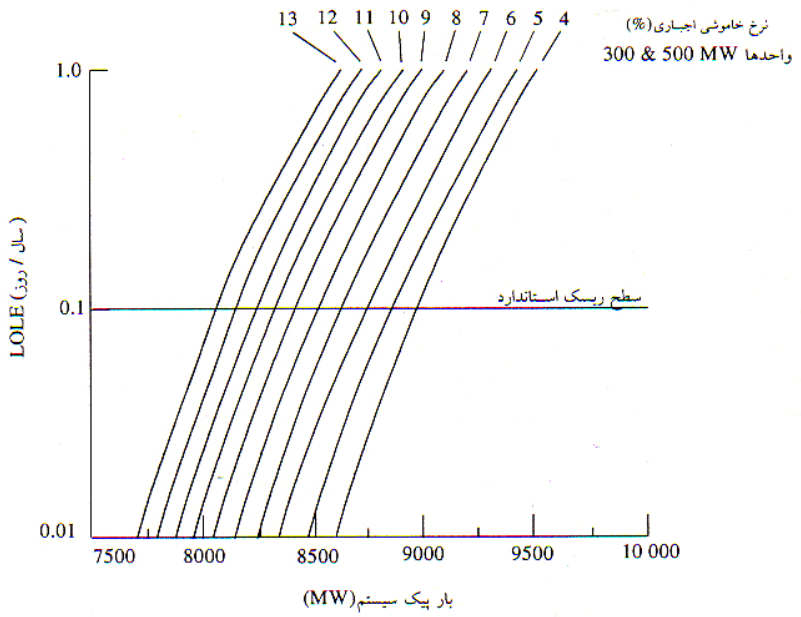
ریسک سیستم برای یک ترکیب ظرفیت داده شده و بارپیک پیش بینی شده، بستگی به مقادیر عدم دسترسی هر یک از واحدها دارد. این تأثیر در جدول ۲-۱۵ نشان داده می شود. مقادیر LOLE برای یک رنج سطوح بارپیک به صورت تابعی از نرخ های خاموشی اجباری واحد به کمک سیستم جدول ۲-۱۱ نشان داده می شوند.

جدول ۲-۱۵ تأثیر FOR و بارپیک سیستم

	سطح ریسک سیستم				
	FOR واحد				
بارپیک سیستم (MW)	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۴	۰/۰۵
۲۰۰/۰	۶/۰۸۳	۱۲/۱۶۵	۱۸/۲۴۷	۲۴/۳۳۰	۳۰/۴۱۱
۱۹۰/۰	۴/۸۳۴	۹/۷۲۷	۱۴/۶۸۳	۱۹/۶۹۶	۲۴/۷۶۴
۱۸۰/۰	۳/۴۴۶	۷/۰۲۴	۱۰/۷۲۹	۱۴/۵۵۶	۱۸/۵۰۲
۱۷۰/۰	۱/۸۹۵	۳/۹۹۸	۶/۳۰۴	۸/۸۰۴	۱۱/۴۹۴
۱۶۰/۰	۰/۱۵۰	۰/۵۹۶	۱/۳۲۸	۲/۳۳۷	۳/۶۱۴
۱۵۰/۰	۰/۱۲۱	۰/۴۸۰	۱/۰۷۳	۱/۸۹۴	۲/۹۳۹
۱۴۰/۰	۰/۰۸۷	۰/۳۴۷	۰/۷۸۱	۱/۳۸۸	۲/۱۶۷
۱۳۰/۰	۰/۰۴۸	۰/۱۹۴	۰/۴۴۵	۰/۸۰۵	۱/۲۷۸
۱۲۰/۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۶	۰/۰۵۳	۰/۱۲۴	۰/۲۴۰

سیستم مورد استفاده در این مثال خیلی کوچک است و بنابراین تأثیر عدم قابلیت اطمینان کاملاً مشخص می باشد. همچنان اثر در سیستم های بزرگ که نرخ خروج اجباری بالا دارند کاملا قابل ملاحظه است. این موضوع

در شکل ۲-۸ نشان داده می شود. در این حالت سیستم دارای ظرفیت کل نصب شده ۱۰۱۰۰MW است. بزرگترین واحدها ظرفیت های ۳۰۰MWو ۵۰۰MW داشته و نرخ های خاموشی اجباری آنها به صورت نشان داده شده تغییر کرده اند. پروفیلل ریسک به صورت تابعی از بارپیک که عموما یک خط راست است در شکل ۲-۸ با مشخصه نشان داده شده در شکل ۲-۷ مقایسه شده است. یک سیستم بزرگ با رنج وسیعی از اندازه واحدها، جدول احتمالاتی خاموشی ظرفیت پیوسته تری دارد، که سطح ریسک صاف تری را ایجاد می کند. اگرچه این مسئله با اضافه کردن یک واحد نسبتاً بزرگ مختل شود. این موضوع در بخش ۲-۵ بحث می شود.



شکل ۲-۸ LOLE بصورت تابعی از FOR واحد

توانایی انتقال بارپیک سیستم (PLCC) می تواند به صورت تابعی از سطح ریسک برآورد شود. در سیستم نشان داده شده در شکل ۲-۸، PLCC در سطح ریسک ۰/۱ روز/سال برابر ۹۰۰۶MW برای نرخ خاموشی اجباری ۰/۰۴ می باشد. جدول ۲-۱۶ تغییر PLCC برای مقادیر FOR از ۰/۰۴ به ۰/۱۳ را نشان می دهد. کاهش در PLCC برابر ۸۱۵MW است. اگر بارپیک پیش بینی ۹۰۰۰MW باشد و نرخ های خاموشی اجباری واحدهای بزرگ ۰/۱۳ باشند آنوقت این سیستم باید به طور تقریبی ۱۰۰۰MW ظرفیت اضافی منصوبه داشته باشد تا سطح ریسک ۰/۱ روز/سال را راضی نماید. برای یک $۱۰۰۰/kW نامی منصوبه، تقریباً $۱۰^{۹}$ دلار باید هزینه

نمود. اهمیت عدم دسترسی واحد در بخش های ظرفیت اضافی کاملا می تواند در این مثال دیده شود [۲۵]. جرائم اضافی به شکل هزینه های جایگزین انرژی انتظاری در مرجع [۲۶] تشریح می شود.

سرمایه گذاری اضافی در بخش های طراحی، ساخت، قابلیت اطمینان، تعمیرات و نگهداری و بخش های ذخیره موقتی می تواند به بهبود سطوح عدم دسترسی واحد تولیدی منجر شود. ارزش بهبود یافتن، باید بروی کل سیستم پایه ارزیابی شود و با هزینه بهبود یافتن، مقایسه‌گردد.

جدول ۲-۱۶ تغییرات در PLCC

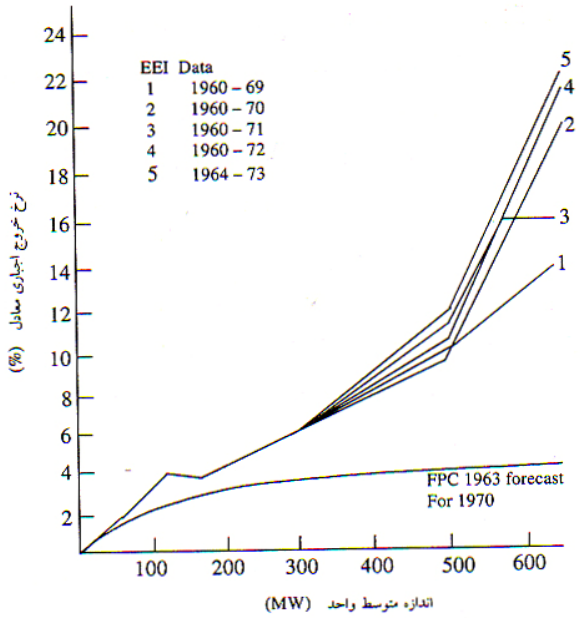
اختلاف تجمعی (MW)	اختلاف (MW)	توانایی انتقال بارپیک (MW)	نرخ خاموشی اجباری (٪)
--	--	۹۰۰۶	۴
۱۱۱	۱۱۱	۸۸۹۵	۵
۲۱۳	۱۰۲	۸۷۹۳	۶
۳۱۳	۱۰۰	۸۶۹۳	۷
۴۰۴	۹۱	۸۶۰۲	۸
۴۹۳	۸۹	۸۵۱۳	۹
۵۷۹	۸۶	۸۴۲۷	۱۰
۶۶۱	۸۲	۸۳۴۵	۱۱
۷۳۹	۷۸	۸۲۶۷	۱۲
۸۱۵	۷۶	۸۱۹۱	۱۳

۲-۴ نرخ خروج اجباری معادل (EFOR)

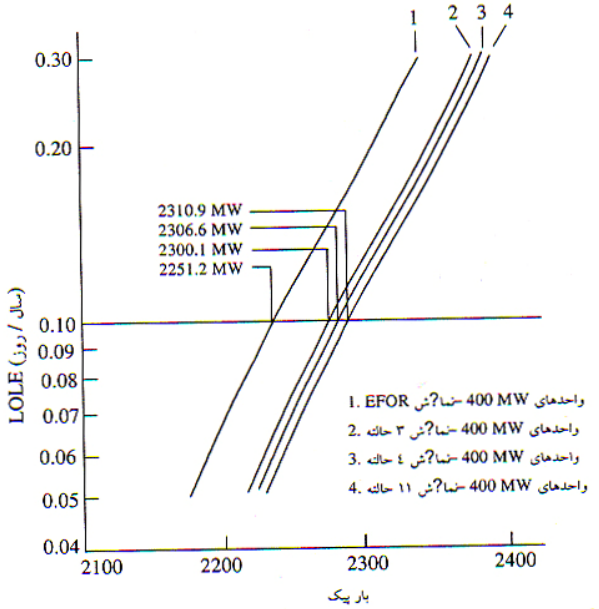
جمع آوری داده ها، بخش مهم ارزیابی قابلیت اطمینان است و شرکتهای سراسر جهان، سوابق بهره برداری واحدها را برای چندین سال ثبت و ضبط می کنند. سپس اطلاعات توسط شرکت در محلی نگه داری می شود یا توسط یک سازمان مرکزی نظیر انستیتو برق ادیسون (EEI) داده ها مرتباً برای بررسی قابلیت اطمینان واحد تولیدی پردازش می گردند. هم اکنون این اطلاعات در آمریکای شمالی توسط CEA و NERC جمع آوری و منتشر می گردد. معمولاً داده های جمع آوری شده برای واحدهای تولیدی مربوط به نمایش مدت زمان سطوح خروجی ثبت شده هر واحد است. فرآیند باید حالت های نیمه ظرفیت زیادی را سازمان دهی کند. به حساب

آوردن تعداد زیادی از این حالت ها نه ضروری و نه حتی امکان‌پذیر است، در عمل این حالت ها را می توان به وسیله وزن دهی- متوسط گیری که از مفهوم مشابه روش گرد کردن توضیح داده شده در بخش ۲-۲-۲ استفاده می کند، به تعداد بسیار محدودی کاهش داد. بطور محدود تعداد حالت ها می تواند به دو حالت کاهش داده شوند: حالت کار و حالت از کارافتادگی و بقیه حالتها به این دو حالت وزندار شوند. این موضوع به مفهوم شناخته شده "نرخ خروج اجباری معادل یا EFOR " معرفی می شود. که گاهی اوقات به صورت احتمال معادل یافتن یک واحد در حالت خروج اجباری در فواصل زمانی آینده تعریف می شود. روش ارزیابی EFOR در مراجع [۱۶] و [۲۷] آورده شده است.

سطوح عدم دسترسی واحد تولید با افزایش اندازه واحد، افزایش می یابد. شکل ۲-۹ تغییرات نرخ خروج اجباری معادل (EFOR) را به صورت تابعی از اندازه واحد حرارتی فسیلی به کمک یک سری از داده های انستیتو برق ادیسون نشان می دهد. همانطور که دیده می شود EFOR بطور قابل ملاحظه ای با اندازه واحد افزایش می یابد.



شکل ۲-۹ EFOR بصورت تابعی از اندازه واحد



شکل ۲-۱۰ تاثیر مدلهای ۲ ، ۳، ۴ و ۱۱ حالته روی توانایی تحمل بار [28]

استفاده از لغت معادل به این مسئله منجر می شود که وقتی در مطالعات ارزیابی ظرفیت بکار می رود، نمایش دو حالته همان وضعیت نمایش چندین حالته را دارد. در حالی که چنین نیست چون نمایش EFOR یک ارزیابی بدبینانه قابلیت اطمینان سیستم را بوسیله گروه بندی وزنی وضعیت کاهش داده شده برای حالت خروج اجباری

کل، ارائه می کند. انجمن الکتریکی کانادا برای معرفی، این را نرخ خروج اجباری تنظیمی کاهش داده شده (DAFOR) برای اجتناب از اشاره ضمنی معادل، انتخاب کرده است. تأثیر استفاده از نمایش چندحالته و نمایش EFOR در یک مطالعه سیستم عملی در شکل ۲-۱۰ نشان داده می شود.

شکل ۲-۱۰ که با استفاده از نمایش دوحالته برای وحدهایی که بطور مشخص حالتهای کاهش یافته اند را نشان می دهد که می تواند عدم دقت قابل ملاحظه ای را می رساند. این واحدها حداقل باید به صورت سه حالته مدل شوند.

۲-۵ تحلیل توسعه ظرفیت

۲-۵-۱ روش های ارزیابی

دوره زمانی مورد نیاز برای طراحی، ساخت و اجرای یک واحد بزرگ تولید برق، بسته به نیازمندیهای محیطی و ملزومات رگولاتور، می تواند بسیار وسیع باشد (۵تا۱۰سال). بنابراین برآورد نیازهای مورد نظر سیستم پیش از زمان واقعی در مدار قرار گرفتن واحد، ضروری است. همچنین مقدار واقعی بار در یک زمان دور در آینده قطعی نیست و باید به صورت متغیر تصادفی در نظر گرفته شود. این موضوع در بخش ۲-۸ مورد بحث قرارمی گیرد.

جدول ۲-۱۷ LOLE در توسعه ظرفیت تولید

LOLE(سال/روز)				
ظرفیت ۳۵۰MW	ظرفیت ۳۰۰MW	ظرفیت ۲۵۰MW	ظرفیت ۲۰۰MW	بارپیک سیستم (MW)
--	--	--	۰/۰۰۱۲۱۰	۱۰۰/۰
--	--	--	۰/۰۰۲۰۰۵	۱۲۰/۰
--	--	۰/۰۰۱۳۰۱	۰/۰۸۶۸۶	۱۴۰/۰
--	--	۰/۰۰۲۶۲۵	۰/۱۵۰۶	۱۶۰/۰
--	--	۰/۰۶۸۵۸	۳/۴۴۷	۱۸۰/۰
--	۰/۰۰۲۹۹۶	۰/۱۵۰۵	۰/۰۸۳	۲۰۰/۰
--	۰/۰۳۶۱۵	۰/۰۵۸	--	۲۲۰/۰
۰/۰۰۲۹۸۰	۰/۱۳۶۱	۴/۸۵۳	--	۲۴۰/۰
۰/۰۰۴۰۳۴	۰/۱۸۰۰	۰/۰۸۳	--	۲۵۰/۰

۰/۰۱۱۷۵	۰/۶۶۱۰	--	--	۲۶۰/۰
۰/۱۰۷۵	۳/۵۶۶	--	--	۲۸۰/۰
۰/۲۹۰۴	۰/۰۸۲	--	--	۳۰۰/۰
۰/۲۴۸	--	--	--	۳۲۰/۰
۰/۸۸۰	--	--	--	۳۴۰/۰
۶/۰۸۳	--	--	--	۳۵۰/۰

مفهوم تحلیل توسعه ظرفیت را می توان به کمک سیستم متشکل از پنج واهد ۴۰MW که در جدول ۲-۱۱ توصیف شده نشان داد. فرض کنید تصمیم بر افزودن واحدهای ۵۰MW با نرخ خاموشی اجباری ۰/۰۱ جهت مواجهه با رشد بار آینده معادل ۱۰٪ در سال، داشته باشیم. سوال این است –در چه سال هایی واحدها باید در مدار قرار گیرند تا سطح ریسک مورد قبول در سیستم برآورد شود؟ تغییر در سطح ریسک با توالی افزودن واحدهای ۵۰MW در جدول ۱۷-۲ برای محدوده تغییرات بارپیک سیستم، آمده است. LOLE بر حسب روز برای ۳۶۵ روز سال است. مشخصات بار، منحنی تغییرات بارپیک روزانه با یک خط راست از ۱۰۰٪ تا ۴۰٪ نقاط نشان داده شده است.

مجدداً، نتایج جدول ۲-۱۷ را می توان به صورت یک منحنی در شکل ۲-۱۱ نمایش داد.

بارپیک سالیانه برای هر هشت سال بعدی در جدول ۲-۱۸ نشان داده شده است.

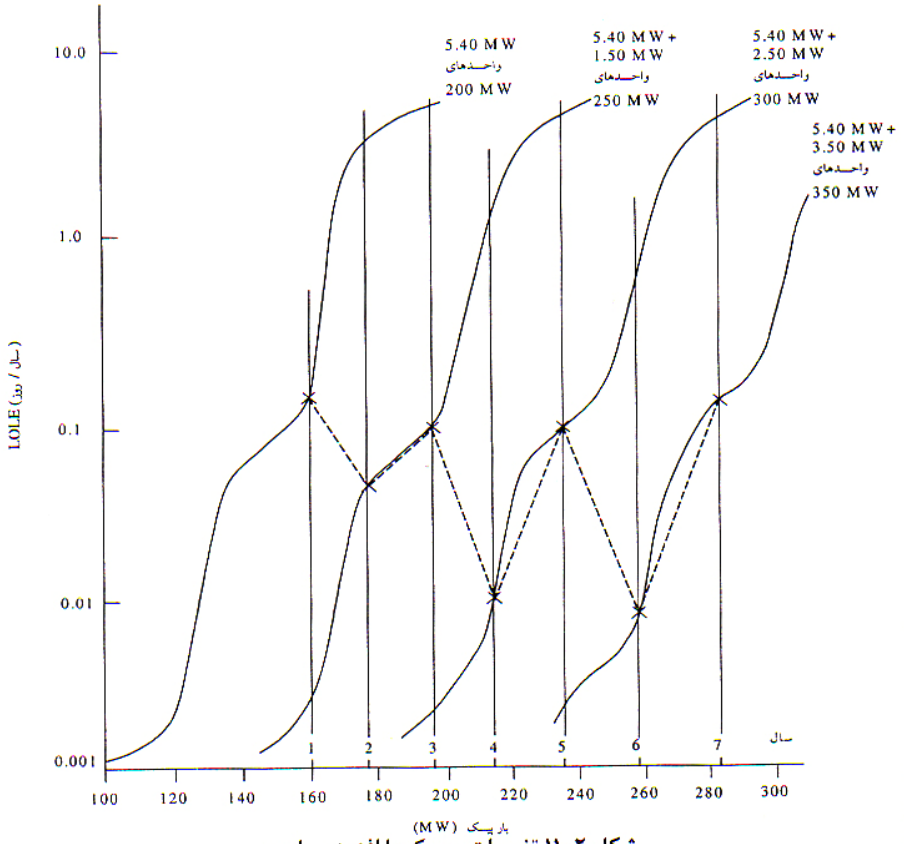
اگر به فرض اینکه ظرفیت موجود ۲۰۰MW برای بارپیک ۱۶۰MW سیستم کافی باشد. در این صورت میزان ریسک ۱۵٪ سال/روز می شود. این سطح ریسک را می توان برای اندازه‌گیری کفایت ظرفیت سیستم در سال های متوالی بکار برد. لازم به ذکر است هر سطح ریسکی را می توان انتخاب کرد. انتخاب درست، یک تصمیم مدیریتی است. با استفاده از معیار ۱۵٪ سال/روز، زمان افزودن واحد به کمک شکل ۲-۱۱ تهیه می شود. این طرح توسعه در جدول ۲-۹ نشان داده شده است.

افزودن واحدهای ۵۰MW در سال های ۲،۴و۶ انجام می گیرد. تغییرات در سطح ریسک سالیانه به صورت نقطه چین در شکل ۲-۱۱ نشان داده شده است. این مطالعه بخصوص طرح توسعه، بیانگر یک حالت نسبتاً ایده آل

است. ارزش کنونی این طرح خاص، باید با سایر طرح ها مقایسه شود تا الگوی بهینه توسعه سیستم حاصل گردد. مطالعه توسعه سیستم باید یک دوره طولانی آینده را پوشش دهد تا هم یک ارزیابی واقع بینانه از ارزش کنونی سیستم باشد و هم اثرات اختلال را حداقل نماید (بخش ۲-۲-۲ را ببینید). بطور تئوری، این توسعه باید تا بی نهایت امتداد یابد، اما در عمل معمولاً یک دوره بیست تا سی ساله کافی است. طرح توسعه تولید می تواند و با افزایش زمان تغییر کند و احتمالاً همینطور خواهد شد.

جدول ۲-۱۸ رشد بار ۱۰٪ پریونیت

شماره سال	بارپیک پیش بینی (MW)
۱	۱۶۰
۲	۱۷۶
۳	۱۹۳/۶
۴	۲۱۳/۰
۵	۲۳۴/۳
۶	۲۵۷/۵
۷	۲۸۳/۱
۸	۳۱۱/۴



شکل ۲-۱۱ تغییرات ریسک با افزودن واحد

جدول ۲-۱۹ نتایج توسعه تولید

سال	واحد اضافه شده (MW)	ظرفیت سیستم (MW)	بارپیک (MW)	LOLE(روز/سال)
۱	--	۲۰۰	۱۶۰/۰	۰/۱۵
۲	--	۲۰۰	۱۷۶/۰	۲/۹
	۵۰	۲۵۰	۱۷۶/۰	۰/۰۵۸
۳	--	۲۵۰	۱۹۳/۶	۰/۱۱
۴	--	۲۵۰	۲۱۳/۰	۰/۷۳
	۵۰	۳۰۰	۲۱۳/۰	۰/۰۱۱
۵	--	۳۰۰	۲۳۴/۳	۰/۱۱
۶	--	۳۰۰	۲۵۷/۴	۰/۵۵
	۵۰	۳۵۰	۲۵۷/۴	۰/۰۰۹
۷	--	۳۵۰	۲۸۳/۱	۰/۱۲۵
۸	--	۳۵۰	۳۱۱/۴	۰/۹۶

۲-۵-۲ اثرات اختلال

اغلب، افزودن واحد با ظرفیت های بزرگ که صرفه جویی اندازه نامیده می شود، از نظر اقتصادی مفید است. معمولاً هزینه نصب هر KW واحدهای بزرگ نسبتاً پایین است و نرخ حرارتی بهتری در مقایسه با واحدهای با ظرفیت کوچک دارند. اما ارزیابی اقتصادی ابعاد طرح های پیشنهادی باید اثرات روی قابلیت اطمینان سیستمی که یک واحد نسبتاً بزرگ به آن اضافه می شود، را دربرگیرد. این تأثیر را می توان به صورت افزایش توانایی تحمل بارپیک (IPLCC) به سبب افزدن واحد، نشان داد. به کمک شکل ۲-۱۱، می توان IPLCC را به ازای افزودن هر واحد ۵۰MW و در یک سطح ریسک مشخص برآورد کرد. جدول ۲-۲۰ مقادیر تکی و تجمعی IPLCC برای هر واحد ۵۰MW در سطح ریسک ۰/۱ سال/روز را نشان می دهد.

جدول ۲-۲۰ IPLCC برای سیستم پنج واحده

افزایش در انتقال بارپیک (MW)			
تجمعی	فردی	بارپیک مجاز (MW)	ظرفیت سیستم (MW)
۰	۰	۱۴۴	$(۵\times۴۰)=۲۰۰$
۴۲	۴۲	۱۸۶	$(۵\times۴۰)+(۱\times۵۰)=۲۵۰$
۸۸	۴۶	۲۳۲	$(۵\times۴۰)+(۲\times۵۰)=۳۰۰$
۱۳۵	۴۷	۲۷۹	$(۵\times۴۰)+(۳\times۵۰)=۳۵۰$

واحدهای ۵۰MW اضافه شده به سیستم در این حالت، خیلی بزرگتر از واحدهای ۴۰MW موجود نیستند بنابراین اختلال زیادی بوجود نمی آورند. اثر افزودن واحدهای نسبتاً بزرگ به یک سیستم را می توان با افزودن واحدهای ۵۰MW به سیستمی با ظرفیت اولیه ۲۰۰MW اما با ترکیب های مختلف واحدها نشان داد.

سیستمی مرکب از واحدهای ۲۰MW-۱۰ که هر کدام نرخ خروج اجباری ۰/۰۱ دارد را در نظر بگیرید. کل ظرفیت نصب شده در این حالت، ۲۰۰MW است و با استفاده از معیار درصد رزرو، ظرفیت رزروی مشابه با یک سیستم $MW۵\times۴۰$ نیاز دارد. با توجه به معیار از دست رفتن بزرگترین واحد، سیستم ۲۰×۱۰MW بتواند بارپیک ۱۶۰MW را تحمل نماید، در حالی که سیستم ۲۰×۱۰MW قادر به تامین بارپیک MW۱۹۰ است.

لازم به ذکر است که هیچ کدام از معیارها شکل واقعی منحنی بار را در نظر نمی گیرد. جدول ۲-۲۱ مقادیر تکی و تجمعی IPLCC هر واحد ۵۰MW به سیستم ۵×۴۰MW در سطح ریسک ۰/۱ سال/روز نشان می دهد.

جدول ۲-۲۱ IPLCC برای سیستم ۲۰ واحده

افزایش در انتقال بارپیک (MW)			
تجمعی	فردی	بارپیک مجاز (MW)	ظرفیت سیستم (MW)
۰	۰	۱۸۴	$(۲۰\times۱۰) = ۲۰۰$
۱۸	۱۸	۲۰۲	$(۲۰\times۱۰) + (۱\times۵۰) = ۲۵۰$
۶۶	۴۸	۲۵۰	$(۲۰\times۱۰) + (۲\times۵۰) = ۳۰۰$
۱۴۴	۴۸	۲۹۸	$(۵۲۰\times۱۰) + (۳\times۵۰) = ۳۵۰$

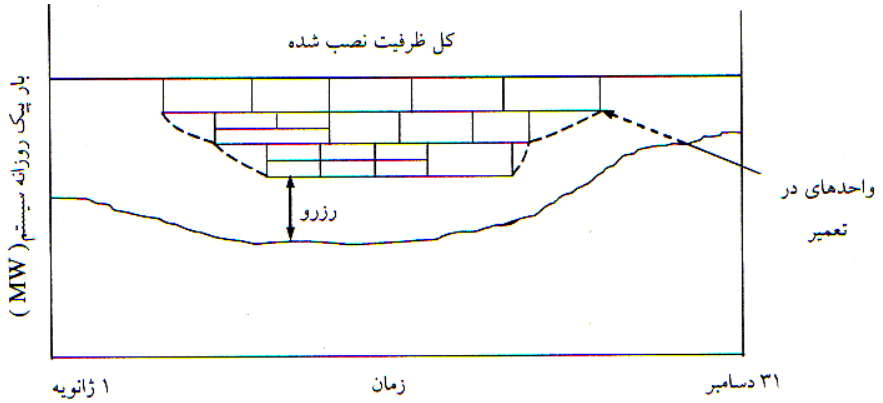
در ابتدا، توانایی تحمل بار دو سیستم مورد نظر، متفاوت است چراکه سیستم با واحدهای کوچکتر می تواند بارپیک بالاتری را تامین کند. افزودن اولین واحد ۵۰MW، یک اختلال قابل توجه در سیستم مورد نظر بوجود می آورد و در نتیجه IPLCC تنها برابر ۱۸MW می شود. حضور دومین واحد، ۴۸MW IPLCC را نتیجه می دهد. اگرچه که بهتر است از این جنبه بیاندیشیم که مقدار تجمعی ۶۶MW به دلیل افزودن دو واحد ۵۰MW ایجاد شده است. واحدهای نسبتاً بزرگ نمی توانند به آسانی به سیستم های کوچک یا به سیستم های با واحدهای نسبتاً کوچک، بدون پرداخت مقدار مشخصی به عنوان جریمه PLCC اضافه شوند. مقدار این جریمه با افزودن واحدهای بیشتر و تغییر ترکیب سیستم، تقلیل می یابد. این یکی از دلایلی است که باید افزایش واحد در بخش های طرح توسعه آزمایش گردد و برای یک دوره زمانی معقول بیش از یک سال برای افزودن بیش از یک واحد در نظر گرفته شود.

اگر نرخ خروج اجباری واحد در چند سال اولیه برای سازگاری دوره قطع یا میرایی کم، افزایش یابد، این اثر اهمیت بیشتری پیدا می کند. معمولاً در عمل شرکت برق در دو سال اول نرخ خروج اجباری واحد را دو برابر می کند. بویژه اگر اندازه و نوع واحد بطور قابل ملاحظه با بقیه واحدها در سیستم فرق داشته و تجربه کمی در دسترس باشد. استفاده از روش های احتمالی حتی شکل نسبتاً ساده ای از ارزیابی LOLE، اجازه می دهد

عواملی که در قابلیت اطمینان سیستم موثرند، برای تحلیل‌ها و وزند دهی درست ابعاد واحد و نرخ های خروج و مشخصات بار سیستم، سهیم باشند.

۲-۶ خروج های برنامه‌ریزی شده

در مثالهای ارزیابی ظرفیت سیستم که قبلاً در نظر گرفته شده اند، فرض شدکه مدل بار برای کل دوره اعمال می‌شودو همچنین مدل ظرفیت سیستم برای کل دوره قابل استفاده است . این وضعیت حالتی را که واحدها برای تعمیرات را بررسی دوره‌ای از سرویس خارج می‌شود شامل نمی‌شود. در خلال این دوره، ظرفیت برای دسترسی برای سرویس دهی ثابت نیست و بنابراین یک جدول احتمال خروج ظرفیت کفایت نمی‌کند. شکل ۲-۱۲ مثال فرضی تعمیرات با برنامه برای یک سیستم در پیک زمستانی را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱۲ مدل سالانه بار و ظرفیت

$LOLE_\alpha$ سالیانه را میتوان با تقسیم سال به دوره بدست آورد و مقادیر $LOLE_p$ دوره به کمک مدل اصلاح شده ظرفیت و مدل بار دوره‌ای مشخص، محاسبه می‌شود. دراین صورت شاخص ریسک سالیانه بصورت

$$LOLE_\alpha = \sum_{\rho=1}^{n} LOLE_\rho \qquad (۹-۲)$$

مدل اصلاح شده ظرفیت را می‌توان با ایجاد یک جدول جدید احتمال خروج ظرفیت،برای هر وضعیت از ظرفیت سیستم بدست آورد. در این شرایط از الگوریتم برداشتن واحد توسط روابط (۲-۳) و (۲-۴) استفاده می‌کنیم. همچنین ممکن است کل ظرفیت نصب شده در طول سال به دلیل حضور واحد جدید افزایش یابد. همچنین این ظرفیت می‌تواند به مدل ظرفیت در دوره‌های مشخص اضافه گردد. اگر زمان دقیق در مدار قرار گرفتن واحد

جدید نامشخص باشد می‌توان آن را بصورت توزیع و براساس دوره نشان داد که با استفاده از رابطه زیر ارائه می‌گردد:

$$LOLE_p = (LOLE_{p\alpha})\alpha + (LOLE_{Pu})u \qquad (۱۰-۲)$$

که $LOLE_p$ = مقدار $LOLE$ دوره

$LOLE_{pa}$ = مقدار $LOLE$ دوره به همراه واحد

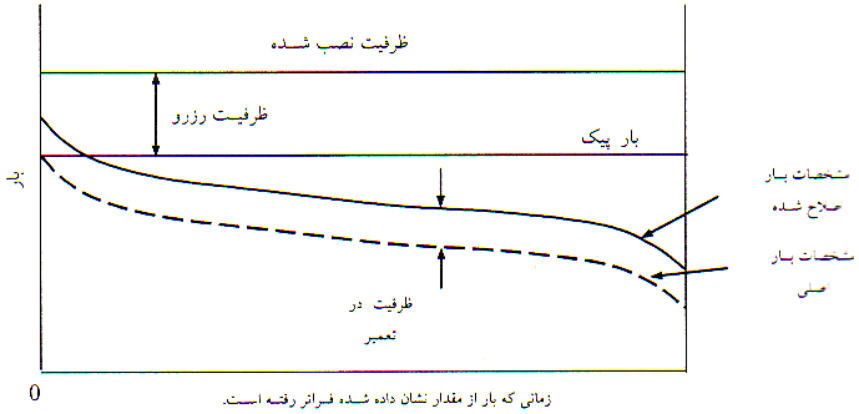
$LOLE_{pu}$ = مقدار $LOLE$ دوره بدون واحد

α = احتمال در مدار قرار گرفتن واحد

u = احتمال در مدار قرار نگرفتن واحد

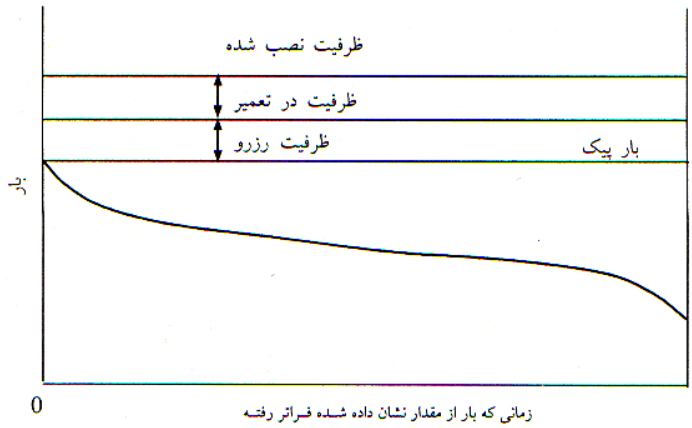
هنوز شانس در مدار قرار گرفتن واحد وجود دارد. که این در مقدار $LOLE_{pa}$ قرار می‌گیرد. در این صورت شاخص ریسک سالیانه به کمک رابطه (۲-۹) بدست می آید.

برخی از نویسندگان اثر تغیرات را با افزودن ظرفیت واحد در دسترس تعمیر به بار مطابق شکل (۱۳-۲) و استفاده از یک جدول خروج ظرفیت لحاظ می‌کنند.



شکل ۲-۱۳ روش تقریبی در حضور تعمیرات

در جایی که جدول اصلی احتمال خروج ظرفیت بکار می‌رود روش نشان داده شده در شکل ۲-۱۳ نتایج مشابه با شکل ۲-۱۴ ارائه می‌کند اما کل ظرفیت در دسترس به میزان ظرفیت خارج شده، کاهش می‌یابد.



شکل ۲-۱۴ کاهش ظرفیت به دلیل تعمیرات

هر دو روش تقریبی هستند زیرا احتمال حالت‌ها،در مدل تولید بدون تغییر است و بنابراین کاملاً مرتبط با تعمیرات دوره‌ای سیستم نیست.

روش واقع‌بینانه، ترکیب واحدهای در دسترس سیستم در جدول احتمال خروج ظرفیت برای دوره مورد نظر، همانطور که در قسمت قبل بیان شده است مطالعات عملی سیستم به کمک روشهای تقریبی و روش واقعی بیان نشان می‌دهد که افزودن ظرفیت در دسترس تعمبیر به بار یا کم کردن آن از ظرفین نصب شده بدون تغییر احتمال خروج‌ها، به سطوح ریسک بالاتر منجر شده و میزان خطا با افزایش ظرفیت در دسترس تعمبر افزایش می یابد. این خطا ممکن است در یک سیستم بزرگ که ظرفیت در دسترس تعمیر آن درصد ناچیزی از ظرفیت کل نصب شده است قابل صرفنظر باشد. خارج کردن واحدهای در دسترس تعمبیر از جدول احتمال خروج ظرفیت هنگامی که واحدهای خارج شده مضرب دقیقی از روش نمو گرد کردن در دسته بندی جدول احتمال خروج نباشد خطای چشمگیری به دنبال نخواهد داشت.

اگر تعمیرات برای حداقل کردن ریسک[۳۸] یا مطابق با یک معیار ریسک ثابت، از قبل زمانبندی و برنامه ریزی شوند در این صورت ممکن است ظرفیت رزرو در شکل ۲-۱۲ کمی متغیر شود .فهم این مطلب اهمیت دارد که ظرفیت رزرو ثابت مانند ریسک ثابت نیست. مسلماً قابلیت اطمینان سستم در شرایطی که یک واحد با نرخ

خروج بالا از سرویس خارج می‌شود، به اندازه حالت مشابهی که یک واحد با نرخ خروج پایین از مدار خارج می شود نیست.

تعداد روشهای تقریبی برای تعمیرات با برنامه وجود دارد. یک روش کاهش دادن کل ظرفیت نصب شده بوسیله حذف ظرفیت انتظاری (یعنی ضرب ظرفیت واحد در مقدار دسترس پذیری آن) بجای استفاده از ظرفیت واقعی واحد و تعمیرات با برنامه براساس رزرو ثابت است . روش بهتر، که در شرایطی که فقط تعداد واحدهای کمی در دست تعمیرات هستند دقیقتر هم هست، برآورد میزان کاهش مقدار PLCC در سطح ریسک مشخص برای هر واحد مجزای در تعمیرات است و آن وقت این مقادر در تعمیرات با برنامه بر پایه رزرو ثابت مورد استفاده قرار می گیرند. روش مورد استفاده به ترکیب ظرفیت سطح تعمیرات مورد نیاز و پروفیل بار سیستم بستگی دارد.

۷-۲ روشهای ارزیابی بر پایه دوره

روش پایه LOLE با توجه به انواع مدلهای بار و روشهای تعمیراتی که می‌توان اعمال کرد بی نهایت انعطاف پذیر است. این انعطاف پذیری ضرورت فهم کامل مفروضات مدلسازی مورد استفاده که قبلا ذکر شد، و مقایسه شاخص‌های ریسک برای سیستم‌های مختلف را نشان می‌دهد. این نکته مهم می‌تواند توسط سه رویکرد زیر برای روش مورد استفاده در LOLE جهت برآورد شاخص ریسک سالیانه بیان شود:

(الف) در نظر گرفتن تعمیرات بصورت ماهیانه (یا دوره‌ای)

(ب) بصورت سالیانه و با صرفنظر کردن از تعمیرات

(ج) براساس بدترین دوره

در روش ماهیانه و با فرض ظرفیت ثابت برای دوره، جدول احتمال خروج ظرفیت با مشخصات بار مورد نظر ترکیب می‌شود .اگر ظرفیت در دست تعمبیر در طول ماه ثابت نباشد می‌توان ماه را به چندین بازه زمانی که ظرفیت ثابت دارد تقسیم کرد. جدول احتمال خروج ظرفیت که توسط خارج کردن واحدهای تحت تعمیر برای هر فاصله بازه جداگانه اصلاح شده را می‌توان پیک ماهیانه و مشخصات بار به کمک فواصل زمانی آنها ترکیب کرد .در این روش فرض می‌گردد که مشخصات بار ماهیانه که برای هر بخش ماه نرمالیزه شده و پیک ماهیانه آن

می‌تواند در هر یک از روزهای دوره اتفاق بیافتد. ریکس کل ماه با جمع مقادیر مربوط به بازه های زمانی بدست می‌آید .ریسک سالیانه مجموع ریسک‌های دوازده ماه است.

در روش سالیانه با صرفنظر از تعمیرات، پیک سالیانه پیش بینی شده، و مشخصات بار سیستم با جدول احتمال خروج ظرفیت سیستم برای ارائه سطح ریسک سالیانه ترکیب می‌شوند فرض اساسی در این روش این است که ظرفیت ثابتی برای تمام دوره وجود دارد. درستی این فرض به زمان افزایش واحد تولید،تعمیرات برنامه‌ریزی شده و سطوح بار ماهیانه مرتبط با پیک سالیانه بستگی دارد. اگر کل سال بتواند به فصول پربار و کم بار تقسیم شود، تعمیرات با برنامه ممکن است تماماً در دوره آخر برنامه ریزی شود. ممکن است سهم فصل کم بار در ریسک سالیانه نسبتاً کم باشد و بنابراین فرض ظرفیت ثابت قابل قبول می‌شود. قبل از انتخاب این روش، باید سهم مرتبط با ریسک دوره برای هر سیستم خاص مورد آزمایش قرار گیرد.

در بعضی حالتها،ممکن است سطح بار در یک فصل یا حتی یک ماه بخصوص، خیلی زیاد باشد که این مقدار سالیانه را شکل می‌دهد. معیار قابلیت اطمینان برای چنین سیستمی را می‌توان تنها به کمک مقدار "بدترین دوره" بدست آورد. مطالعه سیستم‌های Saskatchewan و Manitoba نشان داد که ماه دسامبر معمولا بالاترین دوره ریسک ماهیانه را تشکیل می‌دهد. شکل ریسک سالیانه را می توان با ضرب مقدار مربوط به ماه دسامبر در دوازه ماه بدست آورد . این تقریب با فرض وجود دوازده دسامبر ممکن، در یک سال است و "براساس ۱۲ عدد ماه دسامبر" طراحی می‌شود.

محاسبه سطوح ریسک ماهیانه با در نظر گرفتن تعمیرات ممکن است کمی دشوار باشد . بویژه هنگامی که ظرفیت تعمیرات در خلال یک ماه ثابت نیست. این روش را می‌توان در محاسبه اینکه آیا سطح ریسک برای دوره مشخصی از تعمیرات از یک مقدار معین فراتر می‌رود بکار برد. این وضعیت می‌تواند با مقایسه سطح ریسک برای هر بازه زمانی اعمال تعمیرات که به یک دوره زمانی متداول برگردانده شده است (مثلاً ۳۶۵ روز) مطالعه کرد. اگر ساعت مورد انتظار یک دوره ده روزه ۰/۰۰۱ ساعت باشد،آنوقت معادل ۰/۰۰۱× ۳۶/۵ = ۰/۰۳۶۵ ساعت برای سال انتظار می‌رود. این روش برای اجتناب از جهت گیری به سمت این فرض که در یک بازه مشخص،مقادیر

انتظاری کم، بیانگر ریسک پایین است ضروری است . مقادیر کم ممکن است تنها به دلیل کوچک بودن بازه زمانی باشد و نه بخاطر بالا بودن حاشیه ظرفیت.

در برنامه ریزی افزودن واحد، جایی که سطوح ریسک برای سالهای مختلف با مقایسه می‌شوند،روشهای "سالیانه با صرفنظر از تعمیرات" یا "بر پایه بدترین ماه از بین ۱۲ ماه" ساده‌ترین روشها هستند و معمولاً نتایج رضایت بخشی ارائه می‌دهند. روش برنامه ریزی "بدترین ماه از بین ۱۲ ماه" نمی‌توان برای مقایسه سطوح ریسک در دو سیستم مختلف با مشخصات بار سالیانه متفاوت بکار برد. این تقریب تنها هنگامی که مداوم و پیوسته به یک سیستم مشابه اعمال شود، برقرار است.

روشهای فوق جامع نبوده و حالتهای متعددی امکان پذیر است . درحال باید تاکید شود که شاخص ریسک ارزیابی شده به روش بکار رفته بستگی دارد و بنابراین شاخصهای ریسک شرکتهای مختلف لزوماً قابل مقایسه نیستند[۲۹]. این موضوع نکته‌ای درباره روش اعمال شده توسط یک شرکت بخصوص ارائه نمی‌کند.

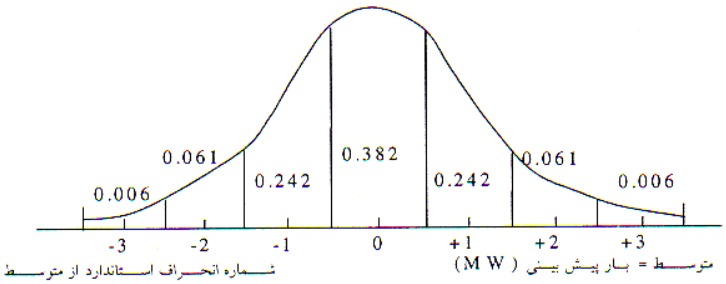
۲-۸ عدم قطعیت در پیش بینی بار

(الف)روش ۱

در بخشهای قبلی این فصل فرض شده است که بار پیک واقعی با مقدار پیش بینی شده تفاوت نخواهند داشت. این مساله در عمل به شدت غیر محتمل است. زیرا تخمین و پیش بینی بار براساس تجربیات گذشته انجام می شود. اگر تشخیص بدهیم که مقدار عدم قطعیت ممکن است وجود داشته باشد می‌توان با یک توزیع احتمالی که پارامترهای آن از تجربیات گذشته،مدلسازی بارآینده و ارزیابی برآوردهای ممکن است بیان شود.

عدم قطعیت در پیش بینی بار در محاسبات ریسک را می توان با تقسیم توزیع احتمالی پیش بینی بار به بازه‌های دسته بندی شدهای که تعداد آنها به دقتشان بستگی دارد لحاظ گردد. ناحیه هر بازه،نشان دهنده احتمال مقدار متوسط بار در آن قسمت است . LOLE برای هر شکل بار، توسط بازه و ضرب در احتمال وجود آن بار محاسبه می‌شود. مجموع این مقادیرLOLE بار پیش بینی شده را نشان می‌دهد .اگر عدم قطعیت بار پیش بینی شده افزایش یابد ریسک محاسبه شده افزایش می‌یابد.

تهیه داده‌های مناسب از گذشته، برای برآورد تابع توزیعی که عدم قطعیت پیش بینی بار را توصیف کند، بسیار مشکل است. اگرچه در منابع منتشر شده پیشنهاد می‌شود که می‌توان عدم قطعیت را به میزان قابل قبولی با تابع توزیع نرمال بیان کرد. متوسط توزیع، پیک بار پیش بینی شده است . این توزیع می‌تواند به یک تعداد بازه‌های دسته بندی شده گسسته تقسیم شود. باری که در نقطه وسط آن بازه است برابر احتمالی است که برای آن بازه طراحی می‌شود. این موضوع در شکل ۲-۱۵ نشان داده شده است که در اینجا تابع توزیع به هفت قسمت تقسیم شده است . درصورت نیاز روش مشابه‌ای را می‌توان برای نمایش توزیع غیرمتقارن بکار برد. مشخص شود که اختلاف کمی در نتایج نهایی نمایش توزیع عدم قطعیت پیش بینی بار در شرایطی که بازه‌های ۷ قسمتی داریم یا ۴۹ قسمتی وجود دارد. اگرچه خطا به ظرفیت سطوح سیستم بستگی دارد.



شکل ۲-۱۵ تقریب هفت قسمتی توزیع نرمال

محاسبات LOLE با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پیش بینی بار برای یک سیستم فرضی کوچک در مثال زیر نشان داده می‌شود .

سیستم شامل دوازده واحد ۵MW است که هر یک نرخ خاموشی اجباری ۰/۰۱ دارد. مدل ظرفیت در جدول ۲-۲۲ نشان داده می‌شود. بار پیک پیش بینی شده ۵۰MW است که با عدم قطعیت مفروضی که با توزیع هفت قسمتی تقریب زده شده، نشان داده شده است (شکل ۲-۱۵).

انحراف استاندراد ۲٪ بار پیک پیش بینی شده است منحنی تداومی بار بوسیله یک خط راست با ضریب بار ۷۰٪ نمایش داده می‌شود. محاسبات LOLE در جدول ۲-۲۳ نشان داده شده است .

جدول ۲-۲۲ مدل تولید

احتمال تجمعی	ظرفیت در وقفه (MW)
۱/۰۰۰۰۰۰۰۰	۰
۰/۱۱۳۶۱۵۱۳	۵
۰/۰۰۶۱۷۴۵۴	۱۰
۰/۰۰۰۲۰۵۶۲	۱۵
۰/۰۰۰۰۰۴۶۴	۲۰
۰/۰۰۰۰۰۰۰۰۷	۲۵

(احتمال مقادیر کمتر از $۱۰^{-۸}$ صرف نظر شده‌اند)

دوره= ۱ ماه= ۳ روز= ۷۲۰ ساعت

بار پیش بینی شده= متوسط ۵۰MW

انحراف استاندارد (۲٪)= ۲/۱۰۰×۵۰ =۱MW

جدول ۲-۲۳ نتایج LOLE

(۱) تعداد انحراف استاندارد از متوسط	(۲) بار (MW)	(۳) احتمال بار در ستون (۲)	(۴) LOLE (ساعت/ ماه) برای بار در ستون (۲)	(۴) ×(۳)
-۳	۴۷	۰/۰۰۶	۰/۰۱۱۱۰۱۴۴	۰/۰۰۰۰۶۶۶۱
-۲	۴۸	۰/۰۶۱	۰/۰۱۶۰۱۰۵۴	۰/۰۰۰۹۷۶۶۴
-۱	۴۹	۰/۲۴۲	۰/۰۲۰۷۱۹۲۷	۰/۰۰۵۰۱۴۰۶
۰	۵۰	۰/۳۸۲	۰/۰۲۵۲۳۹۶۵	۰/۰۰۹۶۶۶۷۹
+۱	۵۱	۰/۲۴۲	۰/۱۷۰۰۲۷۹۷	۰/۰۴۱۱۴۶۷۷
+۲	۵۲	۰/۰۶۱	۰/۳۰۹۲۴۷۵۳	۰/۰۱۸۸۶۴۱۰
+۳	۵۳	۰/۰۰۶	۰/۴۴۳۲۱۳۵۰	۰/۰۰۶۵۹۲۸
			کل	۰/۰۷۸۳۹۴۲۵

مقدار LOLE از ۰/۰۲۵۲۴۰ درحالت بدون قطعیت پیش‌بینی بار به ۰/۰۷۸۳۹۴۲۵ با ۲٪ عدم قطعیت افزایش داشته است. شاخص در این حالت برحسب ماه/ ساعت است . عدم قطعیت پیش بینی بار در کنار عدم

قطعیت‌های مالی، اجتماعی، و محیطی یک پارامتر بی نهایت مهم است که شرکتهای برق در ارزیابی قابلیت اطمینان ظرفیت ممکن است با یک پارامتر خیلی مهم مواجه شوند .در مثال نشان داده شده در جدول ۲-۲۳ ریسک برای هر سطح بار پیک ارزیابی شد. سپس مقادیر هر هفت قسمت، توسط احتمال وجود آن سطح بار پیک وزن دهی شدند. در حقیقت LOLE نهایی بطور واقعی مقدار انتظاری یک گروه از امید ریاضی از دست رفتن بار است.

(ب) روش ۲

عدم قطعیت در مقدار LOLE را می‌توان به کمک روش دیگری نیز بدست آورد. مشخصات بار برای ایجاد پروفیل باری که شامل عدم قطعیت است اصلاح شود. در این صورت این مشخصه بار فردی با جدول احتمال خروج ظرفیت برای محاسبه شاخص LOLE ترکیب می‌شود. اگر عدم قطعیت در یک مقدار مشخص ثابت باشد و شکل بار بدون تغییر بماند آن وقت منحنی بار اصلاح شده را می‌توان برای دسته ای از مطالعات با صرفه جویی در زمان محاسبات بکار برد .مدل بار مورد استفاده در مثال،منحنی تداوم ماهیانه بار است که توسط خط راست با ضریب بار۷۰٪ در شکل ۲-۱۶ نشان داده شده است. این کار ساده سازی از منحنی تداومی بار واقعی است و در عمل برای تحلیلهای بعدی به اصلاح نیاز دارد . یعنی یا باید رابطه غیر خطی منحنی بار ساده شود یا منحنی بار به یک سری خطوط مستقیم تقسیم گردد.

رابطه این خط بصورت

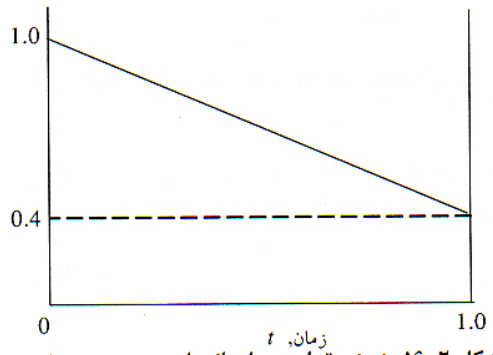
$$t = \frac{۱۰}{۶}(۱ - x)$$

اگر بار برحسب

$$X = MW$$

$L =$ بار پیک پیش بینی

$$x = X / l$$



شکل ۲-۱۶ منحنی تداومی ماهیانه بار بر حسب پریونیت

عدم قطعیت در پیش بینی بار به کمک تقریب هفت پله‌ای با توزیع نرمال بطوریکه در شکل ۲-۱۵ نشان داده شد،نمایش داده می‌شود. انحراف استاندارد این توزیع معادل ۲٪ بار پیک پیش بینی است. در حالت پیک ۵۰MW این مقدار برابر با ۱MW است . بنابراین هفت شکل بار شرطی و هرکدام با یک احتمال خاص، بطوریکه در شکل ۲-۱۷ نشان داده شده است وجود دارند.

دو مثال از هفت شکل بار شرطی را در نظر بگیرید:

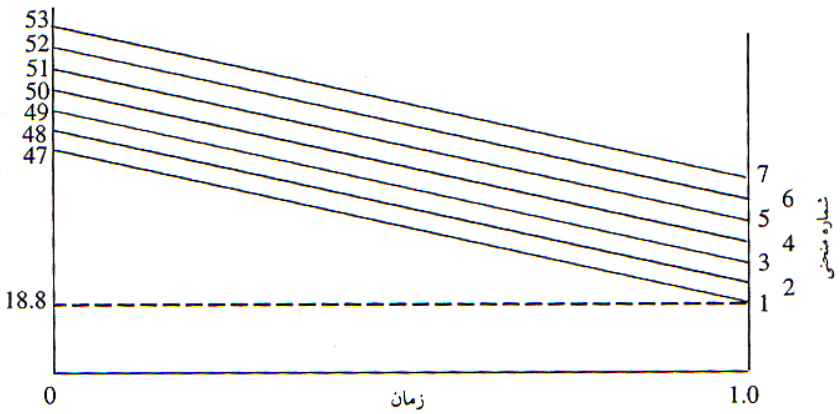
$$t_{۰} = \frac{۱۰}{۶}\left(۱-\frac{X}{۴۷}\right) \quad \text{برای} \quad ۰ \le X \le ۴۷$$

که با احتمال ۰/۰۰۶ موجود است.

در سطح بار پیک $۵۰\ MW$،

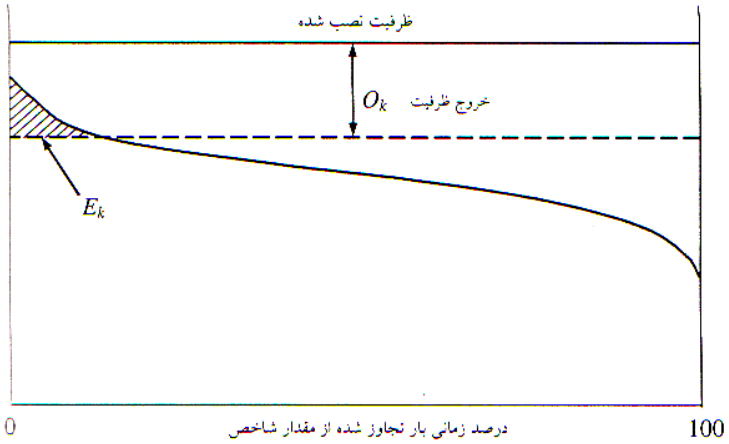
$$t_{۰} = \frac{۱۰}{۶}\left(۱-\frac{X}{۵۰}\right) \quad \text{برای} \quad ۰ \le X \le ۵۰$$

که با احتمال ۰/۳۸۲ موجود است.



شکل ۲-۱۷ منحنی های تداومی بار شرطی

اکنون منحنی اصلاح شده بار- زمان از گروهی از قسمتهای شرطی، مطابق شکل ۲-۱۸ تشکیل شده است. ارزیابی چهارتا از این قسمتها در ادامه نشان داده شده است . قسمتهای باقی مانده بطور مشابه می‌تواند مورد ارزیابی قرار گیرد.



شکل ۲-۱۹ قطع انرژی بخاطر خروج قسمتی از ظرفیت نصب شده

برای قسمت ۱ $\quad t = ۱/۰$ برای $۰ < X < ۱۸/۸$

برای قسمت ۲ $\quad t = ۰/۰۰۶t_۱ + ۰/۰۶۱t_۲ + ۰/۲۴۲t_۳$

$$۰/۳۸۲t_۴ + ۰/۲۴۲t_۵ + ۰/۶۱t_۶$$

$$۰/۰۰۶t_۷ \text{ برای } ۱۸/۸ \le X \le ۴۷$$

برای قسمت ۷ $t = ۰/۰۶۱t_{۶} + ۰/۰۰۶t_{۷}$ برای $۵۱ \le X \le ۵۲$

برای قسمت ۸ $t = ۰/۰۰۶t_{۷}$ برای $۵۲ \le X \le ۵۳$

منحنی تداومی بار اصلاح شده شکل ۲-۱۸ برحسب MW بار پیک نشان داده می‌شود. همچنین می‌توان آن را برحسب درصد یا پریونیت بار پیک پیش بینی شده نشان داد . با هر پیک پیش بینی شده با فرض داشتن مشخصات پایه بکار رود و عدم قطعیت ثابت بماند محاسبه LOLE در جدول ۲-۲۴ نشان داده می‌شود .

جدول ۲-۲۴ نتایج LOLE

ظرفیت خارج	داخل (MW)	احتمال فردی	زمان (pu)	انتظار
۰	۶۰	۰/۸۸۶۳۸۴۸۷۱۷	---	---
۵	۵۵	۰/۱۰۷۴۴۰۵۹۰۵	---	---
۱۰	۵۲	۰/۰۰۵۹۶۸۹۲۱۷	۰/۰۱۲۳۸۴۷۹۰۹	۰/۰۰۰۰۷۳۹۲۳۹
۱۵	۴۵	۰/۰۰۰۲۰۰۹۷۳۸	۰/۱۶۶۱۸۴۵۱۳۸	۰/۰۰۰۰۳۳۳۹۸۷
۲۰	۴۰	۰/۰۰۰۰۰۴۵۶۷۶	۰/۳۳۳۰۸۹۹۳۸۲	۰/۰۰۰۰۰۱۵۲۱۴
۲۵	۳۵	۰/۰۰۰۰۰۰۰۷۳۸	۰/۴۹۹۹۴۵۳۶۲۶	۰/۰۰۰۰۰۰۰۳۶۹
				۰/۰۰۰۱۰۸۸۸۰۹

LOLE برحسب ماه/ ساعت برابر با ۰/۰۰۰۱۰۸۸۰۹× ۳۰× ۲۴= ۰/۰۷۸۳۹۴۲۵ است. این مقدار در جدول ۲-۲۳ نشان داده شده است. برای تشریح ارزیابی مقادیر زمانی نشان داده در جدول ۲-۲۴ مثالی را با سطح ظرفیت ۵۰MW و مطابق با قسمت ۶ در نظر بگیرید:

$$t = ۰/۲۴۲t_{۵} + ۰/۰۶۱t_{۶} + ۰/۰۰۶t_{۷}$$

$$= (۰/۲۴۲)(۰/۰۳۲۶۷۹۷) + (۰/۰۶۱)(۰/۰۶۴۱۰۲۶) + (۰/۰۰۶)(۰/۰۹۴۳۳۹۶)$$

$$= ۰/۰۱۲۳۸۴۷۹۰۹$$

که برای مثال:

$$t_{۵} = \frac{۱۰}{۶}\left(۱ - \frac{X}{۵۱}\right) = ۰/۰۳۲۶۷۹۷۳۸۶$$

مفهوم منحنی‌های بار شرطی که به منحنی اصلاح شده منجر می‌شود روش مفیدی است که می‌تواند در حالتهای مشخصی برای کمک به کاهش زمان محاسبات در ال گوریتمهای تکرار شونده بکار رود. اگر این عمل قابل اجرا باشد، منحنی اصلاح شده بعنوان داده های ورودی در مطالعات بعدی استفاده می‌شود . این ایده در بخش ۲-۱۰ بصورت روش اصلاح سازی بار در مطالعات از دست دادن انرژی و ارائه محاسبات هزینه استفاده شده است .

۲-۹ عدم قطعیت در نرخ خروج اجباری

در محاسبه امید ریاضی از دست رفتن بار که به کمک روش هایی که در این فصل تشریح شد، فرض بر این است که پارامترهای عدم دسترسی واحد تولیدی مقادیر مشخصی هستند . در حقیقت معمولا این پارامترها براساس بهترین مقدار برآورد شده براساس اطلاعات در دسترس و پیش بینی های آینده بدست می آیند. بنابراین عدم قطعیت قابل ملاحظه‌ای در این پارامترها وجود دارد که موجب ایجاد عدم قطعیت در محاسبه پارامتر LOLE می‌شود. تابع توزیع واقعی مرتبط با LOLE محاسبه شده را می‌توان با استفاده از شبیه سازی مونث کارلو بدست آورد. اگر عدم قطعیت دسترس ناپذیری بطور نرمال توزیع شده باشد عدم قطعیت در LOLE حاصله می‌تواند بصورت توزیع نرمال در نظر گرفته شود در دیگر حالتها، حل صحیح تحلیلی مشکل است . باید شبیه سازی انجام شود. عدم قطعیت دسترسی ناپذیری واحد اولین بار در مرجع [۳۰] مطرح شد. اثر عدم قطعیت در عدم دسترسی واحد روی LOLE و عدم قطعیت در نرخ خرابی واحد روی ذخیره چرخان مورد نیاز ، اولین بار در مرجع [۳۱] به کمک تقریب حد بالایی مرز اطمینان مورد بحث قرار گرفت. ترکیب عدم قطعیت های واقعی واحد، نخستین بار در مرجع [۳۲] مطرح شد و این روش در نوشتارهای بعدی [۳۴، ۳۳] تعمیم داده شد. روش اصلی محاسبه جدول احتمال خروج ظرفیت قراردادی استفاده از معادلات بازگشتی مرسوم و همچنین محاسبه واریانس احتمال تجمعی در هر سطح ظرفیت است. این موضوع مستلزم برآورد موفق ماترس کوواریانس به ازاء

هر افزایش ظرفیت واحد است. جدول نهایی احتمال خروج ظرفیت و ماتریس کوواریانس آن را برای بدست آوردن مقدار مورد انتظار LOLE و واریانس آن، می‌توان با مدل بار ترکیب کرد. محاسبه و ذخیره ماتریس کوواریانس در یک سیستم بزرگ می‌تواند مشکل باشد و لذا روش تقریبی برای آن ارائه شده است [۳۴]. هر دو روش دقیق و تقریبی ارائه می‌شوند و بوسیله یک مثال عددی به کمک سیستم ساده سه واحد که در جدول ۲-۷ ارائه شده است، تشریح می‌گردند.

۲-۹-۱ روش دقیق [۳۲]

جدول احتمال خروج ظرفیت با ماتریس کوواریانس آن با افزودن یک واحد تولید در یک زمان به جدول موجود به کمک عبارات زیر ساخته می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&P(X) = (1-r)P'(X) + rP'(X-C) \\
&Cov[P(X),P(Y)] = \left[(1-r)^2 + V\right]Cov[P'(X),P'(Y)] \\
&+ [r(1-r)-v]\{Cov[P'(X),P'(Y-C)] \\
&+ Cov[P'(X-C),P'(Y)]\} \\
&+ [r^2+v]Cov[P'(X-C),P'(Y-C)] \\
&+ v[P'(X)P'(Y) - P'(X)P'(Y-C)] \\
&- P'(X-C)P'(Y) + P'(X-C)P'(Y-C)
\end{aligned}
$$

که:

Y, X = سطوح خروج ظرفیت

$P(X)$ = احتمال خروج ظرفیت XMW یا بیشتر بعد از افزودن واحد

$P'(x)$ = احتمال خروج ظرفیت XMW یا بیشتر قبل از افزودن واحد

$Cov[P(X),P(Y)]$ = کوواریانس $P(X)$ و $P(Y)$ بعد از افزودن واحد

$Cov[P'(X),P'(Y)]$ = کوواریانس $P'(X)$ و $P'(Y)$ قبل از افزودن واحد

r = مقدار مورد انتظار FOR برای واحد اضافه شده

C = ظرفیت واحد اضافه شده

v = واریانس FOR برای واحد اضافه شده

شرایط اولیه قبل از افزودن هر واحد

$$Cov[P(X),P(Y)]=۰, P(X>۰), P(X\le ۰)=۱/۰$$

برای همه X و Y است.

۲-۹-۲ روش تقریبی [۳۴]

روش مبتنی بر بسط سری تیلور یک تابع چند متغیره برای محاسبه عناصر ماتریس کوواریانس مرتبط با جدول احتمال خروج ظرفیت می‌توان بکار برد. فرمول مورد نیاز بصورت زیر داده می‌شود:

$$Cov[P(X),P(Y)]\cong \sum_{i=۱}^{m}\left(\frac{\partial P(X)}{\partial r_۱}\right)\left(\frac{\partial P(Y)}{\partial r_۱}\right)Var[r_۱]$$

$$+\sum_{i=۱}^{m}\sum_{j=i+۱}^{m}\left(\frac{\partial^۲ P(X)}{\partial r_۱\partial r_۲}\right)\left(\frac{\partial^۲ P(Y)}{\partial r_۱\partial r_۲}\right)Var[r_۱]Var[r_۲]$$

که m معادل تعداد واحدهای تولیدی است. مشتق‌های جزئی مورد استفاده در فرمول فوق که به کمک روابط زیر محاسبه می‌شوند:

$$\frac{\partial P(X)}{\partial r_۱}=P'(X-C)-P'(X)$$

$$\frac{\partial^۲ P(X)}{\partial r_i\partial r_j}=P''(X-C_i-C_j)+P''(X-C_i)-P''(X-C_j)$$

که :

$P'(X)$ = عنصری در جدول احتمال خروج ظرفیت بعد اینکه واحد C_iMW و r_iFOR از جدول اصلی انتقال یافته است.

۲-۹-۳ کاربرد

کاربرد این عبارت بازگشتی به کمک یک سیستم ساده که در جدول ۲-۷ نشان داده شده و با واریانس مرتبط با FOR واحد که به فرض ۹×۱۰^{-۶} (جدول ۲-۲۵) باشد تشریح شده است.

جدول ۲-۲۵

واریانس $v[FOR]$	FOR واحد r	ظرفیت واحد $C(MW)$	شماره واحد
۹×۱۰^{-۶}	۰/۰۲	۲۵	۱
۹×۱۰^{-۶}	۰/۰۲	۲۵	۲
۹×۱۰^{-۶}	۰/۰۲	۵۰	۳

جدول احتمال خروج ظرفیت و ماتریس کوواریانس بصورت زیر تعمیم داده می‌شوند.

گام ۱ اولین واحد MW ۲۵ را اضافه کنید. جدول آن مطابق جدول ۲-۲۶ و ماتریس کوواریانس آن بصورت

$$Cov[P(X),P(Y)]=\begin{bmatrix} ۰/۰ & ۰/۰ \\ ۰/۰ & ۰/۰۲ \end{bmatrix}$$

جدول ۲-۲۶

احتمال تجمعی	خروج ظرفیت	شماره حالت
۱/۰	۰	۱
۰/۰۲	۲۵	۲

گام ۲ دومین واحد ۲۵MW را اضافه کنید جدول جدید، جدول ۲-۲۷ است و ماتریس کوواریانس آن بصورت

$$Cov[P(X),P(Y)]=\begin{bmatrix} ۰/۰ & ۰/۰ & ۰/۰ \\ & ۱/۷۲۸۷۲۸۱ & ۰/۰۳۵۲۷۱۹ \\ & \text{ماتریس متقارن} & ۰/۰۰۰۷۲۸۱ \end{bmatrix}$$

جدول ۲-۲۷

احتمال تجمعی	خروج ظرفیت	شماره حالت
۱/۰	۰/۰	۱
۰/۰۳۹۶	۲۵/۰	۲
۰/۰۰۰۴	۵۰/۰	۳

گام ۳ آخرین واحد (۵۰MW) را به جدول اضافه کنید. جدول کامل، جدول ۲-۲۸ است و ماتریس کوواریانس بصورت

$$Cov[P(X),P(Y)]=$$

$$\begin{bmatrix} ۰/۰ & ۰/۰ & ۰/۰ & ۰/۰ & ۰/۰ \\ & ۲/۴۹۰۴۱۷۳ & ۰/۸۹۷۹۰۵۲ & ۰/۰۶۸۰۹۶۲ & ۰/۰۰۱۰۳۶۷ \\ & & ۰/۸۹۹۹۷۹۴ & ۰/۰۳۶۳۱۶۷ & ۰/۰۰۰۳۷۴۲ \\ & & & ۰/۰۰۲۱۱۸۳ & ۰/۰۰۰۰۲۸۷ \\ & & \text{ماتریس متقارن} & & ۰/۰۰۰۰۰۰۴ \end{bmatrix}$$

جدول ۲-۲۸

احتمال تجمعی	خروج ظرفیت	شماره حالت
۱/۰	۰/۰	۱
۰/۰۵۸۸۰۸	۲۵/۰	۲
۰/۰۲۰۳۹۲	۵۰/۰	۳
۰/۰۰۰۷۹۲	۷۵/۰	۴
۰/۰۰۰۰۰۸	۱۰۰/۰	۵

۲-۹-۴- محاسبات LOLE

متوسط و واریانس LOLE بصورت زیر بدست می‌آید:

$$E(LOLE)=\sum_{i=۱}^{n}E[P_i(C_i-X_i)]$$

$$Var[LOLE]=\sum_{i=۱}^{n}\sum_{j=۱}^{n}Cov[P_i(C_i-X_i),P_j(C_j-X_j)]$$

که:

n =تعداد روزها در دوره مطالعه

C_i = ظرفیت در دسترس در روز i

X_i = بار پیک پیش بینی در روز i

$E[P_i]$ = مقدار انتظاری احتمال حذف بار در روز i

$Cov[P_i,P_j]$ = کوواریانس احتمالات حذف بار در روز i و روز j

مثال:

روز $N=۲$ و بارهای پیک پیش بینی =۶۵/۴۵ MW

$$E[LOLE]=\sum P_i(C_i-X_i)=P_۱(۱۰۰-۶۵)+P_۲(۱۰۰-۴۵)$$

$$=P_۱(۳۵)+P_۲(۵۵)$$

$$=۰/۰۲۰۳۹۲+۰/۰۰۰۷۹۲=۰/۰۲۱۱۸۴$$

$$Var[LOLE]=\sum_{i=۱}^{۲}\sum_{j=۱}^{۲}Cov[P_i(۱۰۰-X_i),P_j(۱۰۰-X_j)]$$

$$=Var[P_۱(۳۵)]+Var[P_۲(۵۵)]+۲Cov[P_۱(۳۵),P_۲(۵۵)]$$

اگر روش دقیق استفاده شود واریانس LOLE بصورت

$$Var[LOLE] = ۰/۸۹۹۹۷۹۴ \times ۱۰^{-۵} + ۰/۰۰۲۱۱۸۳ \times ۱۰^{-۵} + ۲ \times ۰/۰۳۶۳۱۶۷ \times ۱۰^{-۵}$$
$$= ۰/۹۷۴۷۳۱۱ \times ۱۰^{-۵}$$

اگر روش تقریبی استفاده شود، بخشهای مختلف رابطه واریانس LOLE بصورت زیر بدست می‌آید:

$$Var[P_۱(۳۵)] \cong \left(\frac{\partial P_۱}{\partial r_۱}\right)^۲ v_۱ + \left(\frac{\partial P_۱}{\partial r_۲}\right)^۲ v_۲ + \left(\frac{\partial P_۱}{\partial r_۳}\right)^۲ v_۳ + \left(\frac{\partial^۲ P_۱}{\partial r_۱ \partial r_۲}\right)^۲ v_۱ v_۲$$
$$+ \left(\frac{\partial^۲ P_۱}{\partial r_۱ \partial r_۲}\right)^۲ v_۱ v_۳ + \left(\frac{\partial^۲ P_۱}{\partial r_۲ \partial r_۳}\right)^۲ v_۲ v_۳$$
$$= ۲[۰/۰۳۹۶ - ۰/۰۲]^۲ \times ۹ \times ۱۰^{-۶} + [۱ - ۰/۰۰۰۴]^۲ \times ۹ \times ۱۰^{-۶}$$
$$+ [۱ + ۰/۰۲ - ۰/۰۲ - ۰/۰۲]^۲ \times (۹ \times ۱۰^{-۶})$$
$$+ ۲[۱ + ۰ - ۰/۰۲ - ۱]^۲ (۹ \times ۱۰^{-۶})^۲$$
$$= ۰/۰۰۰۶۹۱۵ \times ۱۰^{-۵} + ۰/۸۹۹۲۸۰۱ \times ۱۰^{-۵}$$
$$+ ۰/۷۷۸۵۷۲ \times ۱۰^{-۱۰}$$
$$= ۰/۸۹۹۹۷۹۳ \times ۱۰^{-۵}$$

$$Var[P_۲(۵۵)] \cong \sum_{i=۱}^{۳} \left(\frac{\partial P_۲}{\partial r_۱}\right) v_i + \sum_{i=۱}^{۳} \sum_{j=i+۱}^{۳} \left(\frac{\partial^۲ P_۲}{\partial r_i \partial r_j}\right) v_i v_j$$
$$= ۲[۰/۰۲ - ۰/۰۰۰۴]^۲ \times ۹ \times ۱۰^{-۶} + [۰/۳۹۶ - ۰]^۲ \times ۹ \times ۱۰^{-۵}$$
$$+ [۰/۰۲ + ۰ - ۰/۰۲ - ۰/۰۲]^۲ (۹ \times ۱۰^{-۶})^۲$$
$$+ ۲[۱ - ۰ - ۰ - ۰/۰۲]^۲ (۹ \times ۱۰^{-۶})$$
$$= ۰/۰۰۰۶۹۱۵ \times ۱۰^{-۵} + ۰/۰۰۱۴۱۱ \times ۱۰^{-۵}$$
$$+ ۰/۳۲۴ \times ۱۰^{-۱۳} + ۱/۵۵۵۸۴۸ \times ۱۰^{-۱۰}$$
$$= ۰/۰۰۲۱۱۸۳ \times ۱۰^{-۵}$$

$$Cov[P_۱(۳۵), P_۲(۵۵)] \cong \sum_{i=۱}^{۳}\left(\frac{\partial P_۲}{\partial r_۱}\right)v_i + \sum_{i=۱}^{۳}\sum_{j=i+۱}^{۳}\left(\frac{\partial^۲ P_۱}{\partial r_i \partial r_j}\right)v_i v_j$$

$$+ \sum_{i=۱}^{۳}\sum_{j=i+۱}^{۳}\left(\frac{\partial^۲ P_۱}{\partial r_i \partial r_j}\right)\left(\frac{\partial^۲ P_۲}{\partial r_i \partial r_j}\right)v_i v_j$$

$$= ۲[۰/۰۳۹۶ - ۰/۰۲][۰/۰۲ - ۰/۰۰۰۴] \times ۹ \times ۱۰^{-۶}$$

$$+ [۱ - ۰/۰۰۰۴][۰/۰۳۹۶ - ۰] \times ۹ \times ۱۰^{-۶}$$

$$+ [۱ - ۰/۰۲ - ۰/۰۲ - ۰/۰۲][۰/۰۲ + ۰ - ۰/۰۲ - ۰/۰۲]$$

$$\times (۹ \times ۱۰^{-۶})^۲$$

$$+ ۲[۱ + ۰ - ۰/۰۲ - ۱][۱ + ۰ - ۰ - ۰/۰۲](۹ \times ۱۰^{-۶})^۲$$

$$= ۰/۰۰۰۶۹۱۵ \times ۱۰^{-۵} + ۰/۰۳۵۶۲۵۷ \times ۱۰^{-۵}$$

$$- ۰/۰۴۷۶۲۸ \times ۱۰^{-۱۰}$$

$$= ۰/۰۳۶۳۱۶۸ \times ۱۰^{-۵}$$

$$Var[LOLE] = Var[P_۱(۳۵)] + Var[P_۲(۵۵)] + ۲Cov[P_۱(۳۵), P_۲(۵۵)]$$

$$= ۰/۸۹۹۹۷۹۳ \times ۱۰^{-۵} + ۰/۲۱۱۸۳ \times ۱۰^{-۵} + ۲ \times ۰/۰۳۶۳۱۶۸ \times ۱۰^{-۵}$$

$$= ۰/۹۷۴۷۳۱۳ \times ۱۰^{-۵}$$

۲-۹-۵ ملاحظات اضافی

مقدار انتظاری پارامتر LOLE می‌تواند بدون درک میزان عدم قطعیت دسترس ناپذیری واحد تولید محاسبه شود. این پارامتر تحت تاثیر عدم قطعیت پیش بینی بار است . عدم قطعیت‌های نرخ خروج اجباری و پیش بینی بار، می‌توانند در همان محاسبات ترکیب شوند [۳۳]. توزیع واقعی LOLE محاسبه شده تنها با شبیه سازی

مونت کارلو بدست می‌آید. در هر حال که پیشنهاد شده است که در اغلب حالتهای عملی، این توزیع را می‌توان با یک توزیع گاما تقریب زد که در این صورت این توزیع می‌تواند بعنوان مرزهای تقریبی اطمینان LOLE برای هر وضعیت بخصوصی مورد استفاده قرار گیرد.

اگر واحدهای نیمه ظرفیت به مدل ظرفیت اضافه شوند روش دقیق که در بخش ۲-۹-۱ تشریح شد فرموله کردن مساله مشکل می‌شود. اما روش تقریبی بخش ۲-۹-۲ مستقیماً قابل اعمال است و به تعداد حالتهای نیمه ظرفیت مورد استفاده بستگی ندارد. این وضعیت در مرجع [۳۴] تشریح می‌شود.

به عنوان یک نتیجه، درک اینکه یک توزیع مرتبط با پارامترهای LOLE محاسبه شده وجود دارد، حائز اهمیت است . این توزیع بستگی به تغییر پذیری ذاتی دو پارامتر اصلی عدم قطعیت پیش بینی بار و نرخهای خروج اجباری هر واحد تولید دارد. مقدار انتظاری پارامتر LOLE تحت تاثیر عدم قطعیت دسترس ناپذیری‌های واحد قرار نمی‌گیرد. گرچه توزیع پارامتر LOLE تحت تاثیر هردو عدم قطعیت مورد نظر خواهد بود. توزیع LOLE در بخش برآورد تقریبی محدوده اطمینان LOLE در هر وضعیت داد شده، مفید است اما استفاده بیشتر از آن در مطالعات عملی سیستم بعید به نظر می‌رسد. مقدار انتظاری پارامتر LOLE محاسبه شده به عنوان معیار قراردادی برای ارزیابی ظرفیت استفاده می‌شود. عدم قطعیت مربوط به پیش بینی بار توسط آرایش ظرفیت طراحی شده آینده در نظر گرفته می‌شود که فاکتور مهمی است که باید در ارزیابی بلند مدت سیستم در نظر گرفته شود.

۲-۱۰ شاخصهای از دست رفتن انرژی

۲-۱۰-۱ شاخصهای ارزیابی انرژی

روش LOLE استاندارد منحنی تغییرات بار پیک روزانه یا بارهای پیک روزانه منفرد را برای محاسبه تعداد روزهای مورد انتظار در دوره‌ای که بار پیک روزانه از میزان ظرفیت منصوبه افزایش یابد بکار می‌رود. همچنین شاخص LOLE می‌تواند به کمک منحنی تداومی بار با مقادیر ساعتی محاسبه شود ناحیه زیر منحنی تداومی

بار انرژی مورد استفاده در یک دوره خاص را نشان می‌دهدو می تواند در محاسبه انرژی تامین نشده مورد انتظار بدلیل ظرفیت نصب شده ناکافی بکار رود.

همچنین نتایج این روش می‌تواند به عنوان نسبت احتمالی بین انرژی بار قطع شده بار ناشی از کمبودهای ظرفیت در دسترس تولید و کل انرژی بار مورد نیاز برای تامین نیازهای سیستم بیان گردد. برای منحنی تداومی بار داده شده این نسبت مستقل از دوره زمانی، که معمولا یک ماه یا یک سال است ، می‌شود . معمولاً این نسبت عدد خیلی کوچکتر کمتر از یک است و می‌تواند بعنوان شاخص انرژی عدم قابلیت اطمینان بیان شود. اما عموماً متداول است که کم کردن این کمیت از یک نسبت احتمالی بین انرژی باری که می‌خواهد تامین شود و کل انرژی بار مورد نیاز سیستم را ارائه کند این مقدار بصورت شاخص انرژی قابلیت اطمینان شناخته می‌شود.

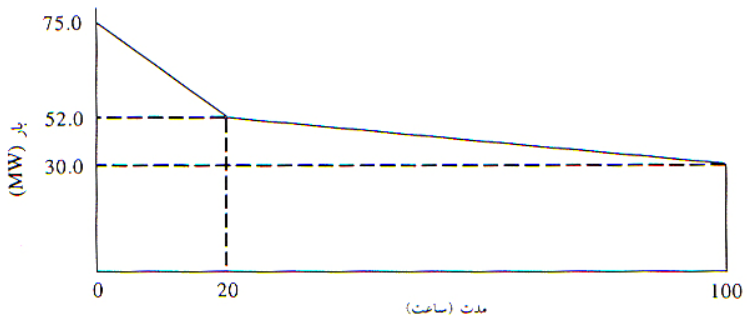
احتمال تغییرات مقادیر عدم دسترسی ظرفیت، با بار سیستم بطوریکه در شکل ۲-۱۹ نشان داده شده است ترکیب می شود. هر خروج ظرفیت تولید بیشتر از مقدار ظرفیت رزرو قطع انرژی بار سیستم را نتیجه می‌دهد.

اگر:

Q_k: دامنه مقدار ظرفیت خارج شده

P_k: احتمال خروج ظرفیت معادل با Q_k

E_k: قطع انرژی بوسیله خروج ظرفیت معادل با Q_k



شکل ۲-۲۰ منحنی تداومی بار

این قطع انرژی با ناحیه هاشور زده در شکل ۲-۱۹ بیان می‌شود.

احتمال انرژی قطع شده $E_k P_k$ است . مجموع اینها برابر کل انرژی قطع شده مورد انتظار با امید ریاضی انرژی از دست رفته LOEE است که

$$LOEE = \sum_{k=1}^{n} E_k P_K \qquad (۱۱-۲)$$

سپس این مقدار با بکار گرفتن انرژی کل زیر منحنی تداومی بار که به مقدار E طراحی شده، نرمالیزه می‌شود.

$$LOEE_{p.u} = \sum_{k=0}^{n} \frac{E_k P_k}{E} \qquad (۱۲-۲)$$

مقدار پریونت LOEE نسبت بین احتمال قطع انرژی بار بخاطر کمبود ظرفیت تولید در دسترس و کل انرژی بار مورد نیاز جهت تامین تقاضای سیستم را نشان می‌دهد در این صورت شاخص انرژی قابلیت اطمینان EIR بصورت

$$EIR = 1 - LOEE_{p.u} \qquad (۱۳-۲)$$

این تقریب به سیستم ۵×۴۰MW واحدی که قبلا به کمک LOLE مطالعه شد (بخش ۲-۳-۲) اعمال می‌شود .فرض می‌شود منحنی تداومی بار با یک خط راست از ۱۰۰٪ تا ۴۰٪ سطح بار نشان داده شود. ریسک بصورت تابعی از بار پیک سیستم در جدول ۲-۲۹ ارائه می‌شود. این نتایج را می‌توان بصورت شکل ۲-۷ ترسیم کرد گرچه شاید روش تقریب حذف انرژی مشخصه فیزیکی بهتری از تقریب حذف بار را داشته باشدولی برای تمام کاربردها انعطاف پذیر نیست و بطور گسترده مورد استفاده قرار نمی گیرد.

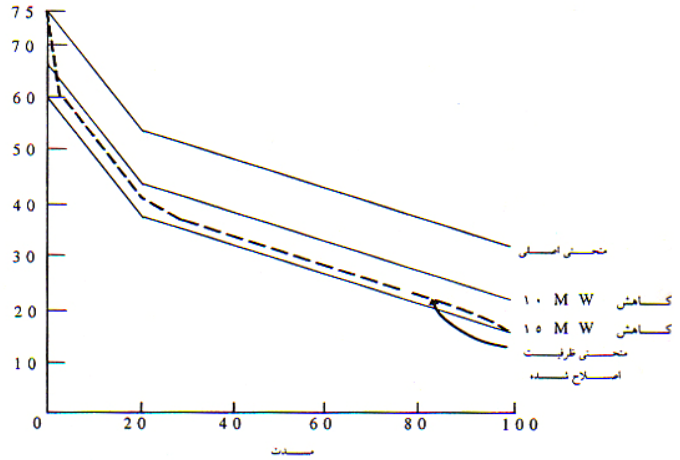
در هر حال مهم اینست که سیستمهای توان الکتریکی آینده بجای محدودیت توان یا ظرفیت بصورت انرژی محدود باشند و بنابراین شاخصهای آینده ممکن است بجای تمرکز بروی توان و ظرفیت مبتنی بر انرژی باشند.

جدول ۲-۲۹ تغییرات EIR

شاخص انرژی قابل اطمینان	بار پیک سیستم (MW)
۰/۹۹۷۵۲۴	۲۰۰
۰/۹۹۸۴۱۴	۱۹۰
۰/۹۹۹۱۶۲	۱۸۰
۰/۹۹۹۶۹۹	۱۷۰
۰/۹۹۹۹۲۵	۱۶۰
۰/۹۹۹۹۵۱	۱۵۰
۰/۹۹۹۹۷۴	۱۴۰
۰/۹۹۹۹۹۱	۱۳۰
۰/۹۹۹۹۹۸	۱۲۰
۰/۹۹۹۹۹۹	۱۱۰
۰/۹۹۹۹۹۹	۱۰۰

۲-۱۰-۲ انرژی مورد انتظار تامین نشده

مفهوم پایه ای انرژی قطع شده مورد انتظار می‌تواند در برآورد انرژی انتظاری که توسط هر واحد در سیستم بوجود می آید مورد استفاده قرار گیرد و در نتیجه روش نسبتا ساده‌ای را برای مدلسازی هزینه ارائه می‌کند. این روش که شرح جزئیات آن در مرجع [۳۵] آمده است با مثال زیر نشان داده می‌شود. منحنی تداومی بار (LDC) که در شکل ۲-۲۰ برای یک دوره ۱۰۰ ساعته نشان داده شده و داده‌های ظرفیت واحد تولید که در جدول ۲-۳۰ آمده است را در نظر بگیرید.



شکل ۲-۲۱ منحنی اصلاح شده ظرفیت تداومی بار

فرض کنید که ترتیب باردهی اقتصادی واحدها ۱و۲و۳ است . کل انرژی مورد نیاز در این دوره ۴۵۷۵/۰MWh یعنی ناحیه زیر LDC در شکل ۲-۲۰ است . اگر هیچ واحدی در سیستم و جود نداشته باشد انرژی مورد انتظار تامین نشده (EENS) برابر با ۴۵۷۵/۰MWh (=.EENS) خواهد شد. اگر سیستم فقط شامل واحد ۱ شود EENS مطابق جدول ۲-۳۱ قابل محاسبه است.

حال سهم واحد ۲ را با افزودن واحد ۲ به مدل ظرفیت جدول ۲-۳۱ می توان بدست آورد و EENS واحدهای ۱و۲ با هم ترکیب می‌شود. این موضوع در جدول ۲-۳۲ نشان داده می‌شود.

جدول ۲-۳۰ داده‌های تولید

احتمال	ظرفیت (MW)	شماره واحد
۰/۰۵	۰	۱
۰/۰۳۰	۱۵	
۰/۶۵	۲۵	
۰/۰۳	۰	۲
۰/۹۷	۳۰	
۰/۰۴	۰	۳
۰/۹۶	۲۰	

جدول ۲-۳۱ EENS برای واحد ۱

ظرفیت در خارج سرویس (MWh)	ظرفیت در سرویس (MWh)	احتمال	انرژی قطع شده (MWh)	انتظار (MWh)
۰	۲۵	۰/۶۵	۲۰۷۵/۰	۱۳۴۸/۷۵
۱۰	۱۵	۰/۳۰	۲۰۷۵/۰	۹۲۲/۵۰
۲۵	۰	۰/۰۵	۴۵۷۵/۰	۲۲۸/۷۵
				EENS=۲۵۰۰/۰MWh
انرژی مورد انتظار که توسط واحد ۱ بدست آمده است. EENS.-EENS۱= ۴۵۷۵/۰-۲۵۰۰/۰ =۲۰۷۵/۰MWh				

جدول نهایی احتمال خروج ظرفیت برای هر سه واحد در جدول ۲-۳۳ نشان داهد شده است و ۶۴/۰۸ MWh= $EENS_۳$ می‌باشد. سهم مورد انتظار برای واحد ۳ برابر ۳۳۷/۶MWh= ۶۴/۰۸-۴۰۱/۷ می‌شود. وقفه‌های انرژی مورد انتظار هر واحد منفرد در جدول ۲-۳۴ خلاصه می‌شود.

انرژی مورد انتظار تامین نشده در سیستم فوق ۶۴/۰۸ MWh است . این مقدار می‌تواند به شکل شاخص انرژی قابل اطمینان EIR به کمک روابط (۲-۱۲) و (۲-۱۳) بیان شود.:

$$EIR = ۱ - \frac{۶۴/۰۸}{۴۵۷۵/۰} = ۰/۹۸۵۹۹۳$$

وضعیتی که واحد ۱ در یک سطح متوسط وبا اولویتی قبل از بارگذاری کل خروجی و در یک سطح اولویت بالاتر، بارگذاری می‌شود در مرجع [۳۵] تشریح می‌شود.و برآورد انرژی خروجی مورد انتظار واحد- جدا از خروج‌های ظرفیت تولید- موضوع نسبتاً ساده‌ای در یک سیستم بدون محدودیت‌های انرژی است . روش نشان داده شده می‌تواند هر تعداد واحد سطوح نیمه ظرفیت، عدم قطعیت در پیش بینی بار مدلهای پست و محدودیت‌های خطوط انتقال شعاعی را در نظر بگیرد. نیازهای اساسی، توانایی در توسعه متوالی جدول احتمالی خروج ظرفیت برای ظرفیت تولیدی سیستم است.

جدول ۲-۳۲ EENS با واحدهای ۱و۲

انتظار (MWh)	انرژی قطع شده (MWh)	احتمال	ظرفیت در سرویس (MWh)	ظرفیت در خارج سرویس (MWh)
۱۱۲/۱۰	۱۷۷/۸	/۶۳۰۵	۵۵	۰
۱۳۸/۲۳	۴۷۵/۰	۰/۲۹۱۰	۴۵	۱۰
۷۶/۳۹	۱۵۷۵/۰	۰/۰۴۸۵	۳۰	۲۵
۴۰/۴۶	۲۰۷۵/۰	۰/۰۱۹۵	۲۵	۳۰
۲۷/۶۸	۲۰۷۵/۰	/۰۰۹۰	۱۵	۴۰
۶/۸۶	۴۵۷۵/۰	۰/۰۰۱۵	۰	۵۵
EENS۴۰۱/۷MWh				
انرژی مورد انتظار که توسط واحد ۲ بدست آمده است. EENS.-EENS۱= ۲۵۰۰/۰-۴۰۱/۷=۲۰۹۸/۳MWh				

جدول ۲-۳۳ EENS با واحدهای ۱و۲و۳

انتظار (MWh)	انرژی قطع شده (MWh)	احتمال	ظرفیت در سرویس (MWh)	ظرفیت در خارج سرویس (MWh)
--	۰	۰/۶۰۵۲۸	۷۵	۰
۱۲/۴۰	۴۴/۴	۰/۲۷۹۳۶	۶۵	۱۰
۴/۴۶	۱۷۷/۸	۰/۰۲۵۲۲	۵۵	۲۰
۱۳/۳۲	۲۸۶/۰	۰/۰۴۶۵۶	۵۰	۲۵
۱۴/۴۲	۴۷۵/۰	۰/۰۳۰۳۶	۴۵	۳۰
۹/۶۷	۱۱۱۹/۴	۰/۰۰۸۶۴	۳۵	۴۰
۳/۰۶	۱۵۷۵/۰	۰/۰۰۱۹۴	۳۰	۴۵

۵۰	۲۵	۰/۰۰۰۷۸	۲۰۷۵/۰	۱/۶۲
۵۵	۲۰	۰/۰۰۱۴۴	۲۵۷۵/۰	۳/۷۱
۶۰	۱۵	۰/۰۰۰۳۶	۳۰۷۵/۰	۱/۱۱
۷۵	۰	۰/۰۰۰۰۶	۴۵۷۵/۰	۰/۲۸
				۶۴/۰۸

جدول ۲-۳۴ خلاصه نتایج EENS

سطح اولویت	ظرفیت واحد (MW)	EENS(MWh)	وقفه انرژی مورد انتظار (MWh)
۱	۲۵	۲۵۰۰/۰	۲۰۷۵/۰
۲	۳۰	۴۰۱/۷	۲۰۹۸/۳
۳	۴۵	۶۴/۰۸	۳۳۷/۶

۲-۱۰-۳ سیستمهای انرژی محدود شده

ساده ترین وضعیت انرژی محدود که تحلیل می‌شود شرایطی است که ظرفیت خروجی یک واحد توسط دسترس پذیری میزان انرژی، تحمیل می‌گردد. مثال ساده این محدودیت انرژی، تاسیسات آبی که توسط رودخانه می‌چرخند با ذخیره کم یا بدون ذخیره است . نرخ شارش ظرفیت خروجی واحد را تعیین می‌کند. در این صورت واحد بصورت واحد چند حالته‌ای که حالتهای ظرفیت به نرخای شارش آب بستگی دارد نشان می‌دهند. همچنین این روش می‌تواند در تغییرات دسترس پذیری شارش گاز طبیعی هم بکار رود. در این حالت تحلیل،مشابه بخش ۲-۱۰-۲ برای واحد بدون محدودیت انرژی بکار می‌رود .این موضوع با افزودن یک واحد ۱۰MW با توزیع ظرفیت متاثر از توزیع شار- نرخ نشان داده می‌شود .همانطوریکه در جدول ۲-۵۳ برای سیستم بخش ۲-۱۰-۲ مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۲-۳۵ داده‌ها برای واحد ۱۰MW

احتمال	ظرفیت (MW)
۰/۰۴۰	۰
۰/۱۹۲	۲/۵
۰/۴۸۰	۵/۰
۰/۲۸۸	۱۰/۰
۱/۰۰۰	

واحد می‌تواند در یک وضعیت مناسب از اولویت باردهی قرار گیرد و انرژی خروجی مورد انتظار به کمک روشهای قبلی محاسبه شود. انرژی مورد انتظار تامین نشده در این حالت ۳۵/۵MWh و ۰/۹۹۲۲۳۶ =EIR خواهد بود. واحدهای تولیدی کم ذخیره کوتاه مدت به ازای محرک اولیه خود دارند می‌توانند در پیک سائی مورد استفاده قرار گیرند. بنابراین میزان تقاضا از واحدهای خیلی بزرگ کاهش می‌یابد.

روش اعمالی در این حالت، اصلاح مدل بار به کمک توزیع های ظرفیت و انرژی محدود شده واحد ذخیره انرژی است و سپس روشی که قبلاً برای واحدهای بدون محدودیت انرژی اعمال می‌شود. اگر با این روش اصلاح بار در ارتباط با تحلیل سیستم واحد بدون محدودیت انرژی بکار رود نتایج مشابه با نتایج حاصل از روش پایه‌ای خواهد شد.

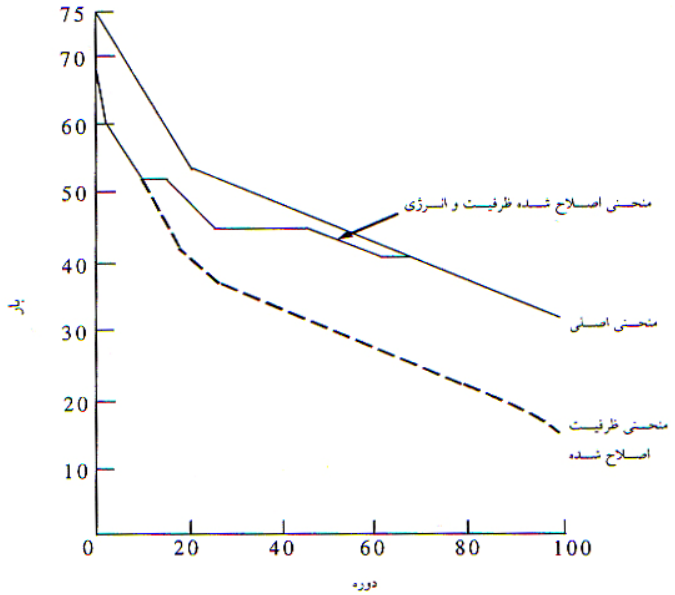
نخستین گام در اصلاح ظرفیت منحنی تداومی بار، استفاده از روش احتمال شرطی است. اگر واحد اصلاح شده در اولین اولویت لیست واحد باشد منحنی اصلاح شده منحنی بار معادل منحنی بار بقیه واحدها در سیستم می‌شود. آنوقت منحنی اصلاح شده ظرفیت، منحنی انرژی اصلاح شده است که از توزیع احتمالی انرژی واحد تحت بدست می آید لذا منحنی اصلاح شده نهایی بطور معمول با بقیه واحدهای سیستم، برای برآورد انرژی خروجی مورد انتظار، و در نتیجه انرژی تامین نشده مورد انتظار استفاده می‌شود.

این روش را می‌توان با افزودن واحد که در جدول ۲-۳۶ نشان داده شده به سیستم سه واحده اصلی در جدول ۲-۳۰ تشریح کرد.

منحنی اصلاح شده ظرفیت در شکل ۲-۲۱ نشان داده شده است منحنی با استفاده از روش احتمالاتی شرطی که قبلا برای تحلیل عدم قطعیت پیش بینی بار استفاده شد بدست می آید منحنی تداومی بار انرژی اصلاح شده در شکل ۲- ۲۲ نشان داده می‌شود.

جدول ۲-۳۶ واحد انرژی محدود شده

مدل انرژی		مدل ظرفیت	
احتمال تجمعی	انرژی (MWh)	احتمال	ظرفیت (MW)
۱/۰۰	۲۰۰	۰۳/۰۳	۰
۰/۷۰	۳۵۰	۰/۲۵	۱۰
/۲۰	۵۰۰	۰/۷۲	۱۵

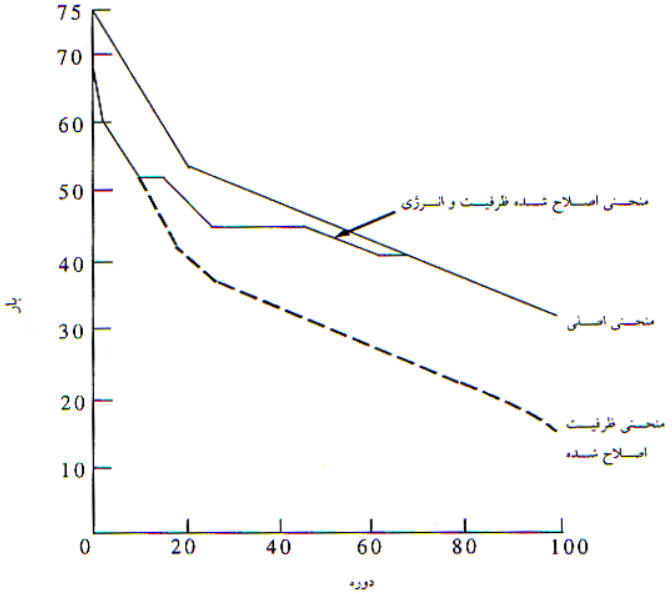


شکل ۲-۲۲ منحنی اصلاح انرژی تداومی بار

نتایج حاصل از منحنی تداومی بار در شکل ۲-۲۲ اولین منحنی برای تحلیلهای بعدی واحد است . در مثال یک واحد اضافی ۱۰MW با نرخ خروجی اجباری ۰/۰۴ به سیستم قبلی اضافه شده است . توزیع دو حالته انرژی دو حالته برابر ۷۰ و ۱۵/۰ MWh فرض شده و به ترتیب احتمال تجمعی ۱/۰ و ۰/۶ دارد. تحت این شرایط انرژی

مورد انتظار تامین نشده MWh ۱۵/۷ و EIR سیستم برای دوره ۱۰۰ ساعته ۰/۹۹۶۵۶۲ است . مرجع [۳۵] بسط این روش را به وضعیتی که یک واحد انرژی- محدود بخشی برای بار پایه و بخشی برای پیک سایی مورد استفاده قرار می‌گیرد بیان می‌کند.

نوع دیگر وسیله ذخیره کننده، که معمولاً با آن مواجه می‌شوند وسیله‌ای است که انرژی ذخیره شده را می‌توان برای یک مدت زمان خاص نگه داشت و هم برای پیک سائی و هم تامین بار بکار برد .در حالت تاسیسات آبی با رزرو زیاد،بهره بردار مایل است از منحنی‌های قانونمندی که تعیین می‌کند- چه مقدار انرژی باید در خلال دوره مشخصی استفاده شود- راهنمایی بگیرد. انرژی در دسترس در خلال هر دوره می‌تواند دلیل تغییرات در شارش وسیاستهای بهره‌برداری تغییر کند. در این حالت روش ، اصلاح ظرفیت منحنی تداومی بار به کمک واحدهای بدون محدودیت انرژی اعمال شود. این حالت یک منحنی بار معادل برای بقیه واحدها ارائه می‌دهد .سپس واحدهای با محدودیت انرژی می‌توانند برای سایش پیک منحنی تداومی بار معادل مورد استفاده قرار گیرند . ناحیه زیر منحنی تداومی بار پس از آنکه این واحدها انرژی را پخش کردند، برابر انرژی تامین نشده مورد انتظار بار می‌شود. مثال عددی برای این نوع سیستم در مرجع [۳۵] نشان داده شده است.



شکل ۲-۲۲ منحنی اصلاح انرژی تداومی بار

۲-۱۱ مطالعات علمی سیستم

روشها و الگوریتم هایی که در این فصل نشان داده شده برای تحلیل سیستمهای کوچک و بزرگ مناسب هستند. سیستهای عملی نوع، شامل تعداد زیادی از واحدهای تولید هستند و معمولاً نمی توان آنها را با محاسبات دستی تحلیل کرد .الگوریتم‌های بیان شده می‌توانند جهت خلق انواع برنامه‌های کامپیوتری مناسب برای تحلیل آرایشهای عملی سیستم بکار روند. کمیته فرعی IEEE برای کاربرد روشهای احتمالاتی،اخیراً یک سیستم خاص آزمایش قابلیت اطمینان شامل آرایش تولید و یک شبکه انتقال بزرگ را منتشر کرده است . انتظار می رود که این سیستم مرجعی برای تحقیق روشهای جدید و مقایسه نتایج بدست آمده به کمک برنامه های مختلف کامپیوتری باشد. پیوست ۲ مدل پایه تولید از سیستم آزمایش قابلیت اطمینان IEEE و همچنین مجموعه‌ای از نتایج مطالعات مختلف قابلیت اطمینان را ارائه می‌دهد این نتایج با تحلیلهای دستی بدست نخواهد آمد . خواننده به توسعه قابلیتهای برنامه نویسی به کمک روشهای ارائه شده در این کتاب و مقایسه آنها با آنچه در پیوست ۲ ارائه شد، تشویق می‌گردد.

۲-۱۲ نتایج

این فصل،کاربرد مفاهیم احتمالی پایه در ارزیابی قابلیت اطمینان ظرفیت تولید را بیان کرد .در حال حاضر روش LOLE اغلب بصورت گسترده برای روشهای احتمالی مورد استفاده قرار می گیرد. اما تفاوتهای زیادی در شاخصهای بدست آمده وجود دارد. این تفاوتها عمدتاً به عوامل مورد استفاده در روش محاسبه مثل، مقادیر نیمه ظرفیت یا EFOR ،شرایط عدم قطعیت، اثر تعمیرات و غیره بستگی دارد. شاخصهای مختلفی با استفاده از مدلهای مختلف بار بدست آمده است . محاسبه شاخص LOLE برحسب ساعت از طریق تقسیم مقادیر سال/ روز که با استفاده از منحنی تغییرات پیک بار روزانه DPLVC بر ۲۴ ساعت صحیح نیست . زیرا مشکل منحنی DPLVC از منحنی تداوم بار LDC متفاوت است . اگر LOLE بر حسب سال/ ساعت مورد نیاز باشد،آنوقت باید از Ldc استفاده شود. LDC نمایش بهتری از DPLVC دارد زیرا از داده های واقعی سیستم بیشتر

استفاده می‌کند. انرژی تامین نشده یک شاخص مناسب است. چون بجای اینکه فقط تعداد روزها و ساعاتی که بار تامین نشده است را محاسبه کند، مقدار عدم کفایت پایه را ارائه می‌کند.

در گذشته، انتقاداتی به اصول شاخص LOLE پایه وارد بود زیرا بین کمبود ظرفیت به میزان کم یا قابل توجه، تفاوت قائل نمی شد. و بطور ساده معادل از دست رفتن بار محسوب می‌شد. بنابراین در روش اصلی با تمام کمبودها بطور مشابه برخورد می‌شود. در هر حال اگر کمبودی رخ دهد شاخصهای اضافی بسیاری نظیر کمبود ظرفیت مورد انتظار، تعداد مورد انتظار روزهایی که کمبودهای بخصوصی رخ می‌دهد و غیره را می‌توان لحاظ کرد. اساساً سوال بحث این است که چه شاخصهای انتظاری نیاز داریم و سپس چه روشی برای محاسبه آنها لازم است . شاخصهای منتجه، مقادیر انتظاری هستند یعنی متوسط مسیر طولانی و نباید در هر سال انتظار وقوع آنها را داشت . همچنین شاخصها نباید بصورت مقادیر مطلق کفایت ظرفیت در نظر گرفته شوند و آنها فراوانی و تداوم عدم کفایت ها را بیان نمی‌کنند. شاخصها شامل عملکردهای نظیر نیازهای ذخیره چرخان، اغتشاشهای دینامیکی و گذرای سیستم و غیره نمی‌شوند. شاخصهای LOLE و LOEE بطور ساده نشان دهنده شاخصهای کفایت استاتیکی ظرفیت هستند. لذا به عناصر اصلی که در کفایت یک آرایش موثر است یعنی اندازه واحد و دسترس پذیری، شکل بار و عدم قطعیت ، پاسخ می دهند. ورود پارامترهای اضافی، این مفهوم پایه ای را تغییر نمی دهد. ورود عواملی نظیر تعمیرات و غیره باعث حساسیت شاخص منتجه به این عوامل می‌شود و بنابراین شاخص را کلی‌تر می‌کند. اما همچنان این شاخص اندازه دقیقی از قابلیت اطمینان سیستم تولید ارائه نمی‌کند.

منابع :

ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم های قدرت : تالیف روی بیلتون ، رونالد آلن

مترجم : دکتر محمود رضا حقی فام ، مهندس محمد اسماعیل هنرمند