Archive of SID

دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال چهارم، شماره شانزدهم، زمستان ۱۳۹۷
شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X

JNRM
پژوهش‌های نوین در ریاضی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

تدوین تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان تجهیزات شبکه انتقال برق بصورت مساله تصمیم‌گیری چندشاخصه و با کمک فرآیند سلسله مراتبی

مسعود اصغری قراخیلی[۱]، محمود فتوحی فیروزآباد[۲]*

[(۱)] دانشکده مهندسی برق، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
[(۱)] دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف،تهران، ایران.

تاریخ ارسال مقاله: ۹۷/۰۶/۲۲ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۷/۱۰/۰۶

چکیده

امروزه در شرایط تجدید ساختار شده صنعت برق، شرکت‌های برق در مقوله برنامه‌ریزی و بهره‌برداری در جستجوی روش‌هایی هستند که در عین بهبود و حفظ قابلیت اطمینان تجهیزات، با توجه به اهداف بازارمحور، هزینه‌ها نیز کنترل شود و حاشیه سود حتی‌الامکان افزایش یابد که این مقوله به افزایش تعارض بین اهداف بازیگران مختلف بازارهای انرژی منجر می‌شود. در مسیر تکامل الگوهای پیشنهادی جهت تعمیر و نگهداری در دو دهه اخیر روش تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان مطرح گردیده است که با توجه به فضای نوظهور حاکم بر صنعت برق بسیار کارا و مناسب می‌باشد. در این مقاله با ارائه یک مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه به درنظرگرفتن همزمان شاخص‌های تاثیرگذار نظیر قابلیت اطمینان، هزینه نگهداری و تعمیر، شاخص رقابت‌پذیری بازار و تلفات انرژی که توسط فرآیند سلسله مراتبی وزن تاثیرگذاری آنها تعیین می‌گردد به شناسایی و اولویت‌بندی تجهیزات بحرانی موجود در شبکه انتقال جهت تخصیص مطلوب منابع پرداخته می‌شود. در ادامه نیز الگوریتم پیشنهادی بر روی شبکه ۲۴ با سه IEEE-RTS مورد آزمایش قرار می‌گیرد و نتایج مورد بحث و نتیجه‌گیری قرار می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی: تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان، تصمیم‌گیری چندشاخصه، انتخاب المان بحرانی، فرآیند سلسله مراتبی.

* عهده‌دار مکاتبات: Email: fotuhi@sharif.edu

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

ویژگی‌های منحصربفرد انرژی الکتریکی موجب افزایش روزافزون مصرف و همچنین گستردگی جغرافیایی شبکه‌های انتقال گردیده است که این امر مستلزم بکارگیری حجم وسیعی از تجهیزات گران‌قیمت با طول عمر بالا (میانگین ۴۰ سال) می‌باشد. امروزه شبکه انتقال (خطوط انتقال و پست‌ها) را می‌توان بصورت یک سیستم یکپارچه درنظرگرفت که از تجهیزات گران‌قیمت با طول عمر بالا، تنوع زیاد تکنولوژیکی و با زمان‌های مختلف بهره برداری تشکیل می‌شوند که در پهنه وسیع جغرافیایی پراکنده شده‌اند [۱]. این تجهیزات به عنوان دارایی‌های فیزیکی بخش انتقال قلمداد می‌شوند که نیازمند تدوین روش‌هایی مناسب جهت مدیریت آنها می‌باشند. در واقع مدیریت دارایی‌های فیزیکی، چگونگی تصمیم گیری در مورد نحوه مانیتورینگ شرایط تجهیزات، تدوین استراتژی مناسب تعمیر و نگهداری و همچنین زمان مناسب جایگزینی و نوسازی آنها می‌باشد. مدیریت دارایی‌های فیزیکی در راستای تحقق دو هدف افزایش طول عمر تجهیزات و همچنین کاهش هزینه‌ها صورت می‌پذیرد. یکی از بخش‌های اساسی مدیریت دارایی تدوین سیاست مطلوب تعمیر و نگهداری تجهیزات موجود می‌باشد. با توجه به مراتب فوق انتخاب الگو و استراتژی مناسب تعمیر و نگهداری در شبکه انتقال تاثیر چشمگیری بر وضعیت امنیت و قابلیت اطمینان سیستم قدرت و همچنین کارآمدی بازار برق (رقابت‌پذیری) خواهد داشت.

از دیرباز تعمیر و نگهداری تجهیزات از جمله اساسی‌ترین و چالش برانگیزترین مسایل مدیریت و برنامه‌ریزی صنعت برق بوده است که همواره مورد توجه محققان و مدیران صنعت برق قرارگرفته است. برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری تاثیر بسزایی در ارتقای قابلیت اطمینان و بهره‌وری اقتصادی سیستم‌های قدرت دارد. الگوی مناسب تعمیر و نگهداری می‌تواند سطح مطلوبی از قابلیت اطمینان را در کمترین هزینه ممکن فراهم نماید. این امر می‌تواند موجب اجتناب و یا به تعویق انداختن استفاده از تجهیزات نو و یا تقویت آن شود که البته صرفه جویی در هزینه را نیز به دنبال خواهد داشت. بطورکلی اهدافی که در سیاست‌گذاری تعمیر و نگهداری دنبال می‌شود افزایش طول عمرمفید تجهیزات موجود و افزایش میانگین زمان بین خرابی‌های (کاهش فرکانس خرابی‌ها و یا کاهش زمان وقفه) آنها می‌باشد. این امر موجب کاهش فرکانس و مدت زمان وقفه در سرویس‌دهی به مشتریان (شاخص‌های قابلیت اطمینان سیستم) و پیامدهای ناخواسته ناشی از آن می‌شود که همواره از دغدغه های برنامه‌ریزان صنعت برق می‌باشد.

برای نیل به اهداف مطرح و متناسب با سیستم‌های مورد بحث، الگوهای مختلفی در تعمیر و نگهداری در عرصه صنایع مختلف و همچنین صنعت برق مطرح و مورد استفاده قرارگرفته‌اند که البته هرکدام از نقاط ضعف و قوت مختلفی بهره‌مند می‌باشند.

درسال‌های اخیر روش تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان[1] معرفی شده است که با توجه به شرایط پیچیده حاکم برصنعت برق استفاده از آن در تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری تجهیزات موثر و کارا می‌باشد. تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان یک فرآیند سیستماتیک می‌باشد که تعمیر و نگهداری تجهیزات مختلف یک سیستم را با قابلیت اطمینان کل سیستم مرتبط می‌نماید. این روش بر افزایش قابلیت اطمینان سیستم تمرکز دارد به طوری که به توابع هزینه و بودجه نیز مقید می‌باشد. این روش با تمرکز به علل و همچنین عواقب خرابی تجهیزات و مبتنی بر آنالیزهای مختلف (ریسک، هزینه/فایده و ...) به تدوین استراتژی‌های مختلف تعمیر و نگهداری و اولویت بندی تجهیزات بحرانی متناسب با شاخص‌های تعریف‌شده جهت تعمیر و نگهداری می‌پردازد. مزیت اصلی این روش این است که در آن با تمرکز بر اهداف اساسی (حفظ قابلیت اطمینان سیستم و کاهش هزینه‌ها) از سیاست گذاری محافظه کارانه و پرمخاطره که در روش‌های قبلی وجود داشته است اجتناب می‌شود. با توجه به شرایط نوظهور و افزایش حساسیت‌ها نسبت به هزینه‌ها، نرخ بازگشت سرمایه و همچنین میزان قابلیت اطمینان، تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان می‌تواند پاسخگوی نیازهای فعلی این عرصه باشد[۲].

مساله اصلی مطرح در این مقاله، ارائه روشی موثر در لحاظ نمودن دغدغه‌های قبلی و فعلی در فضای تجدیدساختارشده بخش انتقال در فرآیند تدوین استراتژی

1. Reliability Centered Maintenance(RCM)

www.SID.ir

Archive of SID

تعمیر و نگهداری تجهیزات به کمک ایده‌های مبتنی بر قابلیت اطمینان می‌باشد. مساله اساسی ارائه الگوریتمی مطلوب در تدوین تعمیر و نگهداری تجهیزات بخش انتقال با توجه به نقش استراتژیک این بخش در بهره‌وری و خدمات رسانی مطلوب با درنظر گرفتن و مدل‌سازی مطلوب اولویت‌ها، محدودیت‌ها و انتظارات موجود خواهد بود.

در این مقاله هدف تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان در شبکه انتقال یک سیستم‌قدرت می‌باشد. در این مقاله به معرفی و درنظرگرفتن شاخصی بازار محور جهت مدل‌سازی رقابت‌پذیری بازار برق در بخش انتقال و گنجاندن آن در فرآیند تصمیم‌گیری تعمیر و نگهداری پرداخته می‌شود. در ادامه در فرایند تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری علاوه بر درنظرگرفتن شاخص‌های قابلیت اطمینان و هزینه، شاخص رقابت‌پذیری و تلفات نیز در نظر گرفته می‌شود. اهمیت این امر تاثیر حیاتی خرابی تجهیزات بخش انتقال بر کارایی بازار برق می‌باشد. با توجه به اهداف چندگانه، مساله بصورت تصمیم‌گیری چندمعیاره[1] مدل می‌گردد که توسط روش فرآیند سلسله مراتبی[2] وزن‌های مختلف هر هدف در آن تعیین می‌گردد. در نهایت استراتژی بهینه تعمیر و نگهداری مبتنی بر رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی بخش انتقال به عنوان خروجی های مساله تعیین می‌گردد.

۲- تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان

این روش فرآیندی است که عملکرد تجهیزات و یا سیستم را در شرایط مطلوب بهره‌برداری فعلی تضمین می‌نماید. تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان روشی است سیستماتیک که با تدوین مطلوب استراتژی تعمیر و نگهداری می‌تواند در عین حال که هزینه‌های مربوطه را حداقل می‌سازد، شاخص قابلیت اطمینان را به عنوان هدف اصلی درسطح مطلوب حفظ نماید[۳]. در این روش با توجه به نوع دیدگاه تمام اهداف به حفظ قابلیت اطمینان معطوف می‌باشد و با ارائه مدل مناسبی از ریسک می‌تواند الگوی مطلوبی برای تدوین برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری باشد.

الگوهای مختلفی جهت تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان پیشنهاد شده است که غالبا به صورت طرح پرسش‌هایی مطرح می‌باشند. در تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان پیشنهادی توسط موبری مراحل هفت گانه‌ای تعریف می‌گردد که در هر مرحله سوال‌های اساسی طرح می‌شود که پاسخ‌دهی مطلوب به آنها به تدوین الگوی مناسب تعمیرات و نگهداری می‌انجامد [۲]. سوال‌های مطرح در تدوین تعمیرات و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان به شرح زیر می‌باشد:

۱) وظایف تجهیزات یک سیستم و استاندارد عملکردی آن به چه صورت می‌باشد؟

۲) مدهای مختلف خرابی تجهیزات که منجر به عدم تامین استاندارد عملکردی آن است به چه صورت است؟

۳) عواملی که موجب خرابی تجهیزات در حالت‌های مختلف (مدهای مختلف خرابی) می‌شود کدام است؟

۴) در اثر وقوع هر کدام از حالت‌های خرابی چه عواقبی به وجود خواهدآمد؟

۵) وقوع هر کدام از خرابی‌ها با توجه به جوانب مختلف دارای چه اهمیتی می‌باشد؟

۶) چه فعالیت‌های سیستماتیک پیشگیرانه‌ای می‌توان انجام داد تا خرابی‌ها و وقفه‌ها و یا پیامدهای آن را حذف و یا تا حد ممکن کم نمود؟

۷) چه‌کارهایی باید انجام داد در صورتی که روش مناسب پیشگیرانه قابل استفاده (و یا کافی) نباشد؟

همان‌طور که از سوال‌های فوق قابل استنتاج است، روش تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت‌اطمینان روشی جدید نمی‌باشد. در واقع این روش تلفیقی از کلیه روش‌های قبلی تعمیر و نگهداری است که بر پایه تحلیل آماری موجود خرابی‌ها و همچنین تجربیات فنی حاصله از سالیان فعالیت، به ارائه راهکاری مطلوب جهت تدوین برنامه تعمیرات و نگهداری برای نیل به اهداف از پیش تعیین شده می‌پردازد. شکل (۱) مراحل مختلف تدوین تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان را نشان می‌دهد.

1. Multiple Attribute Decision Making (MADM)
2. Analytical Hierarchi Process(AHP)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۱): مراحل تدوین برنامه تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان

در تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان برخی از پارادایم‌ها دستخوش تغییرات قرارگرفته است و همچنین برخی از ملاحظات که در روش‌های قبلی مورد توجه قرار نگرفته است و یا کمتر مورد توجه قرارگرفته است لحاظ می‌گردد که بعضی از آن‌ها عبارتنداز [۲] و [۳]:

- دسته‌بندی و اولویت‌بندی خرابی‌ها از منظر تاثیرگذاری بر اهداف مختلف خصوصاً قابلیت اطمینان
- ایجاد ارتباط معنی‌دار بین استراتژی‌های تعمیرو نگهداری تجهیزات و اهداف کلی سیستم
- درک این موضوع که بخش اعظمی از خرابی‌ها تاثیری بر طول عمر تجهیزات ندارند و اغلب توسط تابع توزیع احتمال‌نمایی بدون حافظه مدل می‌شوند.
- تغییر تمرکز از پیش بینی عمر مفید مورد انتظار به تلاش در مدیریت فرآیندخرابی (چگونگی خرابی)
- درک نیازمندی‌های متفاوت به تجهیزات ازنگاه مصرف کنندگان و مدل مناسب قابلیت اطمینان متناسب با آن
- درک اهمیت مدیریت تجهیزات مبتنی بر شرایط با استفاده از روش‌های مختلف تعمیر و نگهداری
- امکان لحاظ نمودن سطوح مختلف ریسک قابل قبول در فرآیند تدوین استراتژی تعمیرات و نگهداری

تدوین مطلوب برنامه تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان می‌تواند فواید زیر را به دنبال داشته باشد:

- افزایش دانش بهره‌بردار درباره‌ی عملکرد و چگونگی خرابی تجهیزات و عواقب ناشی از آن
- افزایش ایمنی سیستم
- افزایش قابلیت‌اطمینان سیستم
- کاهش هزینه بهره‌برداری
- افزایش راندمان
- اجتناب از دیدگاه محافظه‌کارانه وپرمخاطره و عواقب ناشی از آن مبتنی بر منطق آنالیز ریسک

۳- مروری بر پیشینه تحقیق

در این بخش به مرور ویژگی‌های منحصربفرد روش تدوین تعمیر و نگهداری شبکه انتقال مبتنی بر قابلیت اطمینان و نوآوری‌های مربوط به آن پرداخته می‌شود و جهت ارایه‌ی جمع‌بندی در دسته‌بندی‌های اساسی زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد [۳]، [۱۲]، [۱۳] و [۱۴].

۳-۱- انتخاب تجهیزات بحرانی

با توجه به ماهیت بحث RCM که پرهیز از اتخاذ تصمیمات پرمخاطره و هزینه‌بردار است، این بخش جز اساسی‌ترین بخش‌های تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری است. در این قسمت با دسته‌بندی و رتبه‌بندی تجهیزات مختلف از لحاظ نحوه تاثیرگذاری بر قابلیت اطمینان و هزینه، نگرشی دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر نسبت به مساله تعمیر و نگهداری فراهم می‌شود. بررسی تحقیقات در این بخش نشان می‌دهد که محققان از روش‌های گوناگونی جهت تعیین تجهیزات بحرانی استفاده نموده‌اند که عبارتند از:

- استفاده از آنالیزحساسیت[۱۵].
- استفاده از آنالیزریسک[۱۶].
- استفاده از مفاهیم احتمالاتی نظیر احتمالات شرطی[۱۰].
- استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری[۱۴].

www.SID.ir

Archive of SID

در روش‌های فوق معمولا هزینه و قابلیت‌اطمینان به عنوان پارامترهای متاثر از خرابی تجهیزات مدنظر قرار می‌گیرد. از این رو متناسب با نحوه تاثیرگذاری، تجهیزات بحرانی تعیین و رتبه‌بندی می‌شوند. در استفاده از آنالیز حساسیت صرفا تاثیر خرابی تجهیزات بر پارامترهای مدنظر مورد توجه قرار می‌گیرد و بر پایه آن تصمیم‌گیری صورت می‌پذیرد. ضعف اصلی این روش این است که احتمال خرابی تجهیزات در آن لحاظ نمی‌گردد و از این رو ممکن است که به تصمیم گیری نامطلوب منجرگردد. در روش‌هایی که از آنالیز ریسک و همچنین احتمالات شرطی استفاده می نمایند احتمال خرابی تجهیزات نیز مدنظر قرار می‌گیرد و ضعف روش‌های قبلی در آن تا حدود زیادی برطرف می‌گردد. اما استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری نظیر AHP این امکان را فراهم می‌نماید که انواع فاکتورهای مختلف و همچنین قیود و تجربیات کارشناسان فنی در فرآیند تصمیم‌گیری گنجانده شود و تصمیم‌گیری کاملاً به فراخور خواسته‌های مدنظر صورت پذیرد.

۳-۲- انتخاب و دسته‌بندی مدهای خرابی و علل آنها

در این بخش با مطالعه آماری خرابی‌های شبکه، مدهای مختلف خرابی‌ها و علل و دلایل آنها مورد بررسی و دسته بندی قرار می‌گیرد. این بخش یکی از جنبه‌های برتری روش RCM نسبت به دیگر روش‌های تعمیر و نگهداری است. داده‌های خروجی این بخش اطلاعات موثر و کاربردی‌ای را جهت تعیین استراتژی تعمیر و نگهداری در بخش‌های بعدی فراهم می‌کند. مطالعات این بخش نیازمند وجود پایگاه داده‌های آماری و سیستم ثبت خرابی‌ها با جزییات دقیق می‌باشد که البته معمولاً به عنوان یکی از ضعف‌های مطرح و وارد به سیستم‌های قدرت مطرح می‌باشند. در مقالات مطرح در این بخش مدهای خرابی تجهیزات از دیدگاه‌های مختلف بصورت زیر دسته‌بندی می‌شوند [۱۱]،[۱۵]و [۱۷]:

- از لحاظ زمان استمرار:
  - خرابی‌های موقتی
  - خرابی‌های دائمی
- از لحاظ تاثیرگذاری:
  - خرابی‌های پسیو
  - خرابی‌های اکتیو
- از لحاظ شرایط وقوع:
  - خرابی‌های غیرقابل پیش‌بینی
  - خرابی‌های قابل‌پیش‌بینی
- از لحاظ تعمیرپذیری:
  - خرابی‌های قابل تعمیر
  - خرابی‌های غیرقابل‌تعمیر

در اکثر تحقیقات صورت گرفته در این بخش، RCM به مدهایی از خرابی‌ها پرداخته است که بصورت خرابی‌های دائمی اکتیو قابل پیش‌بینی و قابل‌تعمیر می‌باشند. دلیل اصلی این امر این است که در این تحقیقات صرفاً استراتژی‌های تعمیر و نگهداری پیش‌گیرانه و اصلاحی (تعمیر) مدنظر قرار می‌گیرد.

در این بخش بررسی و دسته‌بندی علل (عوامل) مدهای مختلف خرابی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. بطور کلی علل خرابی را می‌توان بصورت زیر دسته‌بندی کرد:

- علل درونی(ماهیتی):
  - فرسودگی تجهیزات در اثر گذر زمان
  - طراحی نامناسب در بخش تولید تجهیزات
  - انتخاب نامناسب با توجه به شرایط بهره‌برداری
  - شرایط بهره برداری نامناسب (تحت استرس)
- علل بیرونی:
  - شرایط آب و هوایی (برف، باران، صاعقه و گرما)
  - شرایط محیطی (حیوانات، پرندگان و گیاهان)
  - عوامل انسانی

در واقع درمطالعه قابلیت اطمینان تجهیزات، نرخ خرابی تجهیزات از حاصل جمع نرخ خرابی ناشی از هرکدام از عوامل مختلف تشکیل می‌شود. این تفکیک منجر به آنالیزهای دقیق‌تر و جزئی‌تر نرخ خرابی می‌شود که از ویژگی‌های منحصربفرد روش RCM است و درآن سهم هرکدام از عوامل بصورت مجزا درتعیین قابلیت اطمینان مدنظر قرار می‌گیرد. در مدل‌سازی خرابی‌ها معمولاً از مدل مارکوف استفاده می‌شود. خرابی‌های ناشی از عوامل درونی از مدل چند حالته مارکوف استفاده می‌شود که در آن شرایط مختلف پیری بصورت حالت‌های مختلف مدل‌سازی

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. برای مدل‌سازی عوامل خارجی نیز معمولاً از روش مارکوف دو حالته استفاده می‌شود [۱۱].

۳-۳- طراحی و پیشنهاد روش‌های تعمیر و نگهداری متناسب با مدهای خرابی مختلف

در این بخش نیز مقالاتی به ارائه پیشنهاداتی در زمینه استراتژی‌های موثر تعمیر و نگهداری متناسب با مدهای مختلف خرابی ارائه می‌دهند. در این بخش ارتباط معنی داری بین سیاست‌های تعمیر و نگهداری و قابلیت اطمینان تجهیزات و بالتبع قابلیت اطمینان سیستم برقرار می‌شود. معمولاً استراتژی‌های مختلف تعمیر و نگهداری شامل تعمیر و نگهداری پیشگیرانه، اصلاحی و مبتنی بر شرایط است که متناسب با مدهای خرابی قابل پیشنهاد می‌باشند. در واقع پیشنهادات تعمیر و نگهداری در راستای کاهش نرخ خرابی هرکدام از مدهای خرابی می‌باشد. در این بخش معمولاً برای مدهای خرابی ناشی از عوامل بیرونی تعمیر و نگهداری پیشگیرانه پیشنهاد می‌گردد و برای مدهای خرابی ناشی از عوامل درونی علاوه بر تعمیر و نگهداری قابل طرح تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط پیشنهاد می‌گردد. خروجی‌های این بخش داده‌های خام جهت تدوین سیاست نهایی تعمیر و نگهداری با لحاظ نمودن اهداف و قیود را فراهم می‌نماید.

۳-۴- تدوین استراتژی نهایی تعمیر و نگهداری

در این بخش نیز مقالات زیادی به تدوین استراتژی‌های نهایی جهت تعمیر و نگهداری می‌پردازند. بیشترین مقالات مطرح در RCM شبکه انتقال به این بخش پرداخته‌اند. در این قسمت هدف انتخاب و تدوین سیاست مناسب تعمیر و نگهداری برای تجهیزات بخش انتقال از بین گزینه‌های مطرح در بخش قبل می‌باشد. اهداف در تعیین استراتژی‌های نهایی حداکثر نمودن قابلیت اطمینان و حداقل نمودن هزینه می‌باشد در عین‌حالی که محدودیت‌های فنی، اقتصادی نظیر بودجه، منابع فیزیکی و منابع انسانی(نیروی‌کار) نیز حاکم بر مساله می‌باشد. در این مقالات استراتژی نهایی عموماً در قالب های تعیین سیاست‌گذاری تعمیر و نگهداری و یا جدول زمان‌بندی بهینه تعمیر و نگهداری پیشگیرانه مطرح می‌شود. در مقالات جهت تعیین پاسخ نهایی با توجه به اهداف و محدودیت‌ها، مساله به کمک یکی از روش‌های زیر مدل‌سازی می‌شود:

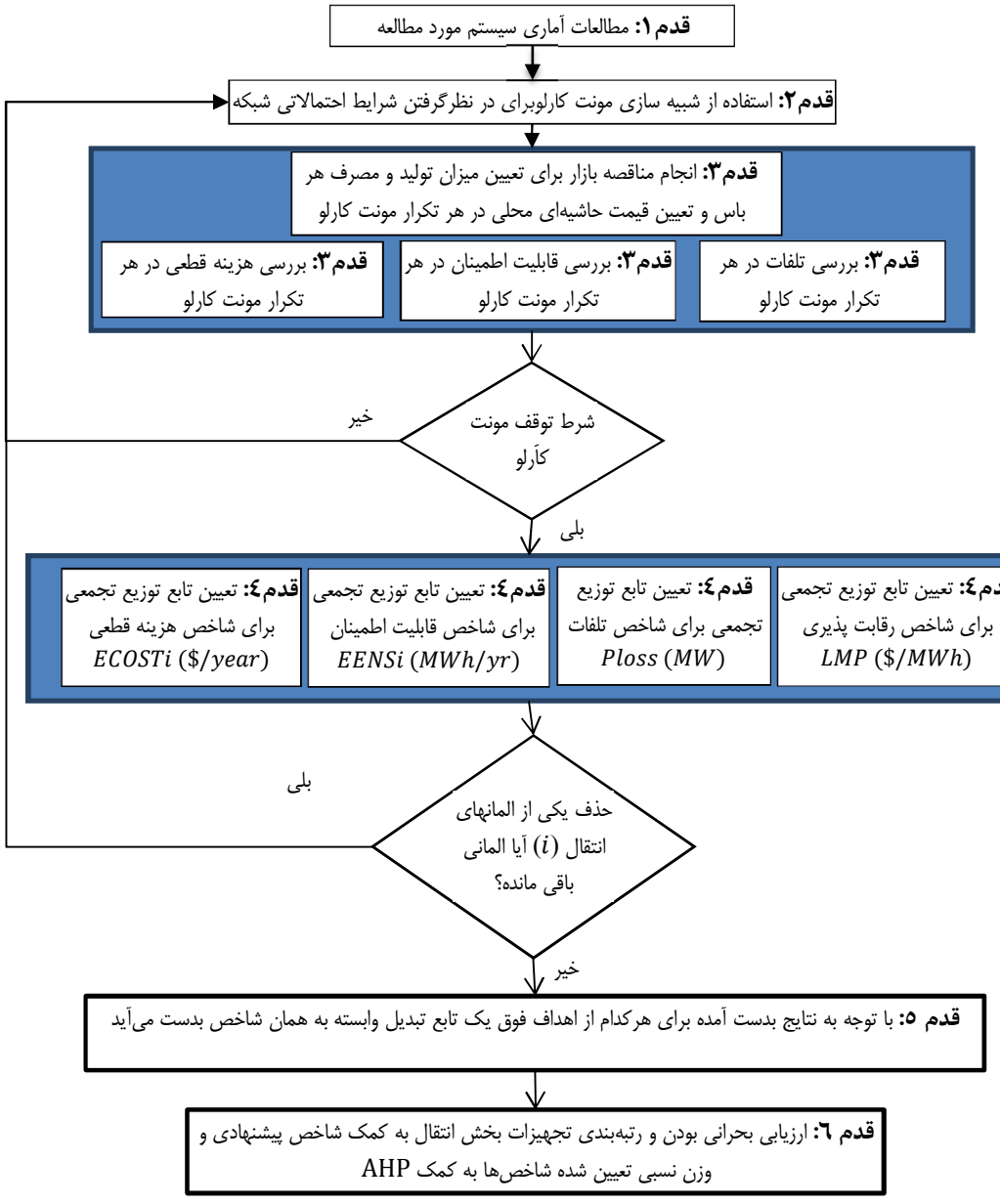
- روش‌های بهینه سازی [۱۸]
- روش‌های ارزیابی ریسک[۱۱].

۴- مساله تصمیم‌گیری چند معیاره جهت انتخاب تجهیزات بحرانی شبکه انتقال در RCM

یکی از اصلی‌ترین بخش‌های تدوین استراتژی تعمیر و نگهداری مبتنی بر قابلیت اطمینان انتخاب تجهیزات بحرانی و رتبه‌بندی میزان بحرانی بودن آنها می‌باشد. بخش انتقال سیستم‌های قدرت متشکل از تجهیزات مختلف می‌باشد که از انواع گوناگونی تشکیل می‌شود. این گوناگونی شامل نوع تجهیزات، تکنولوژی ساخت و مدت زمان بهره‌برداری می‌گردد. با توجه عمرمفید طولانی این تجهیزات و همچنین هزینه سرمایه‌گذاری زیاد آنها تدوین برنامه تعمیرات و نگهداری برای آنها امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. تعداد زیاد تجهیزات، هزینه بالای تعمیرات و نگهداری مرسوم و محدودیت‌های فنی و اقتصادی موجود استفاده از لیست اولویت تعمیرات و نگهداری تجهیزات را ضروری نموده است. در این بخش با تمرکز بر اهداف چهارگانه از پیش تعیین شده (با وزن تعیین شده توسط AHP) به ارائه روشی جدید جهت انتخاب تجهیزات بحرانی پرداخته می‌شود. در این بخش با معرفی شاخص‌های مناسب و استفاده از روش آنالیز ریسک می‌توان به انتخاب مطلوب تجهیزات بحرانی و اولویت‌بندی آنها پرداخت. در این بخش الگوریتم شکل (۲) برای رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی معرفی می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل (۲): الگوریتم پیشنهادی رتبه‌بندی کردن تجهیزات بحرانی

در این شرایط برای پیک مصرف هر باس و همچنین استراتژی قیمت‌دهی هر کدام از واحدها یک تابع توزیع نرمال (مقدار میانگین و انحراف معیار) در نظر گرفته می‌شود. در ابتدا به مطالعه و برآورد اهداف چهارگانه مدنظر به کمک شبیه سازی مونت کارلو پرداخته می‌شود. در این شرایط از مدل مارکوف (دو حالته) و نرخ خروج اجباری برای هرکدام از المان های انتقال استفاده می‌شود. البته در بعضی از مقالات برای بررسی اثر پیری تجهیزات از مدل چند حالته مارکوف استفاده شده است. در نهایت برای هرکدام از اهداف چهارگانه یک تابع توزیع نرمال استخراج می‌شود. در ادامه با فرض عدم حضور یکی از المان‌های انتقال فرآیند فوق تکرار می‌شود و برای این حالت نیز برای اهداف چهارگانه تابع توزیع نرمال استخراج می‌شود که در الگوریتم شکل (۲) نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

قدم اول: تعیین شرایط پایه و مدل‌سازی داده‌های ورودی

در این مرحله به جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز به عنوان ورودی و انتخاب مدل‌های مناسب برای آنها و مدل‌سازی عدم قطعیت‌های مورد نظر پرداخته می‌شود. مقدار تولید هر ناحیه را متناسب با عدم قطعیت‌های مربوط به حضور تولیدکننده‌های مستقل توان و استراتژی قیمت‌دهی بازیگران به‌صورت تابع توزیع نرمال در نظرگرفته شده است. همین‌طور رفتار مصرف نواحی را نیز متناسب با عدم قطعیت مصرف بار، اثرات مدیریت مصرف و ... بصورت تابع توزیع نرمال در نظرگرفته شده است. برای خطوط انتقال نیز نرخ خروج اجباری[1] در نظرگرفته شده که بصورت یک متغیر تصادفی گسسته برنولی در مدل مطرح می‌شود.

درواقع در این گام تابع توزیع احتمالی برای مقدار مصرف باس‌ها، قیمت پیشنهادی واحدهای تولیدی در نظرگرفته می‌شود. همچنین نرخ خروج اجباری خطوط انتقال به عنوان ورودی در این گام تعیین می‌شود. در واقع در این بخش در افق مورد مطالعه یک تابع توزیع نرمال برای پیشنهاد قیمت فروشندگان و همچنین محدوده پیشنهادی تولید آنها و نرخ خروجی اجباری واحدها از یک سو و تابع توزیع نرمالی از استراتژی قیمت‌دهی خریداران و همچنین محدوده توان مورد نیاز آنها از سوی دیگر خواهیم داشت. دلیل اصلی انتخاب تابع توزیع نرمال درنظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مطالعات احتمالاتی پیشنهادی خواهد بود. برای تجهیزات بخش انتقال نیز مدل دوحالته مارکوف در نظر گرفته می‌شود تا در مطالعه اثر خروجی اجباری آنها لحاظ گردد.

قدم دوم: استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو

در الگوریتم پیشنهادی جهت مطالعات احتمالاتی از شبیه‌سازی مونت کارلو استفاده می‌شود. در این مرحله با استفاده از روش مونت‌کارلو بصورت تصادفی با وزن‌دهی تابع توزیع احتمال شرایط محتمل از شبکه و مقدار پیشنهاد قیمت تولید و مصرف بدست می‌آید و به عنوان ورودی الگوریتم تصمیم‌گیری در قدم بعد قرار می‌گیرد. در واقع هر خروجی شبیه سازی مونت‌کارلو تصویری از شرایط محتمل بهره‌برداری است که متناسب با تابع توزیع احتمال تعیین می‌گردد. روش مونت‌کارلو در مقایسه با دیگر روش‌های موجود، سرراست‌تر، دقیق‌تر و درکل مسائل منعطف‌تر است. عیب بزرگ روش شبیه سازی مونت کارلو، هزینه ناشی از مدت زمان محاسبات است. البته این هزینه در مورد محاسبات برون خط نظیر برنامه‌ریزی تعمیر و نگهداری قابل‌قبول است. روند اجرای روش مونت‌کارلو در مدل پیشنهادی بصورت زیر خلاصه می‌شود[۱۲]:

۱- بردار تصادفی n بعدی (تعداد واحدهای تولیدی) G که بصورت نرمال توزیع شده است جهت نمونه‌گیری استراتژی پیشنهاد قیمت فروشندگان تشکیل می‌شود. هر عنصر مستقل این بردار باید با استفاده از روش نمونه‌گیری توزیع نرمال دارای مقدار میانگین صفر و انحراف معیاری برابر واحد باشد.

۲- بردار تصادفی m بعدی (تعداد خریداران برق) D که بصورت نرمال توزیع شده است جهت نمونه‌گیری استراتژی پیشنهاد قیمت خریداران تشکیل می‌شود. هر عنصر مستقل این بردار باید با استفاده از روش نمونه‌گیری توزیع نرمال دارای مقدار میانگین صفر و انحراف معیاری برابر واحد باشد.

۳- با نمونه‌گیری از دسترس‌ناپذیری تجهیزات یک سیستم (ژنراتور،کابل، ترانسفورماتور و خطوط هوایی انتقال)، نمونه‌هایی از حالات این تجهیزات (در مدار بودن یا نبودن) تشکیل می‌شود. فرض می‌شود I_i نشان دهنده حالت i امین تجهیز سیستم و U_i احتمال دسترس‌پذیری آن باشد. یک عدد تصادفی که به صورت یکنواخت در بازه [۰،۱] توزیع شده است، برای i امین تجهیز انتخاب می‌شود.

$$I_i = \begin{cases} 0 & \text{(Up state)} \quad \text{if } U_i \geq R_i \\ 1 & \text{(Down state) if } 0 \leq U_i < R_i \end{cases} \qquad (۱)$$

روابط فوق بدان معنی است که اگر عدد تولید شده به ازای هر المان U_i بزرگتر از احتمال در دسترس بودن آن المان باشد آن المان R_i از مدار خارج است و در غیر این‌صورت المان مورد مطالعه در مدار خواهد بود.

اگر تمام تجهیزات سیستم در حالت سالم (Up State) باشند، آن سیستم در وضعیت نرمال و عادی خود قرار دارد.

1. Forced Outage Rate(FOR)

www.SID.ir

Archive of SID

اگر هر یک از تجهیزات سیستم دچار خرابی شد، سیستم در حال وقوع یک پیشامد قرار دارد.

قدم سوم: تعیین مقادیر شاخص‌ها در هر تکرار مونت‌کارلو

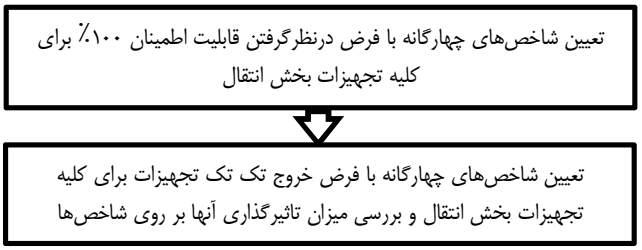
در این مرحله با توجه به تولید نمونه‌های تصادفی که برای بار باس‌ها، قیمت پیشنهادی و توپولوژی شبکه توسط شبیه‌سازی مونت‌کارلو بدست می‌آید با الگوریتم پخش‌بار بهینه‌ی تسویه‌ی بازار نحوه‌ی تولید واحدهای تولیدی تعیین می‌گردد؛ بدین ترتیب که با در نظرگرفتن قیود بهره‌برداری شبکه، تابع رفاه اجتماعی حداکثر گردد. پاسخ‌های بدست آمده از این الگوریتم وضعیت پخش بار شبکه را تعیین می‌نماید.

قدم چهارم: تعیین تابع توزیع احتمال برای هرکدام از شاخص‌ها

این محاسبات در قدم سوم در هر تکرار مونت‌کارلو صورت می‌گیرد و نهایتاً به تابع توزیع احتمال برای هر شرایط ختم می‌گردد. این محاسبه در هر شرایط (پایه و یا خارج شدن المان مورد مطالعه) انجام می‌پذیرد و جدول (۱) حاصل می‌شود. جزییات فرآیند در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول (۱): مدل در نظرگرفته شده برای پارامترهای بخش انتقال

شرایط مورد مطالعه	شاخص ۱	شاخص۲	شاخص ۳	شاخص ۴
شرایط پایه	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$
خارج شدن المان۱	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$
خارج شدن المان۲	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$
۰ ۰ ۰	۰ ۰ ۰	۰ ۰ ۰	۰ ۰ ۰	۰ ۰ ۰
Nخارج شدن المان	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$	$N\sim(\mu,\sigma)$



شکل (۳): شیوه تعیین شاخص‌ها در هر تکرار مونت کارلو

www.SID.ir

Archive of SID

قدم پنجم: تعیین تابع مطلوبیت برای شاخص‌ها (بی مقیاس‌کردن فازی)

به منظور قابل‌مقایسه‌شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری (به ازای شاخص‌های گوناگون) یکی از اصلی‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها بی مقیاس‌نمودن است که به کمک آن عناصر شاخص‌های تبدیل شده $U_j(x_{ij})$ بدون بعد اندازه‌گیری می‌شوند.

هر عنصر x_{ij} از ماتریس تصمیم‌گیری را بر دامنه موجود مربوط به ستون مربوط به همان شاخص به کمک رابطه زیر تقسیم می‌نماییم.

$$U_j(x_{ij}) = \frac{x_{ij} - min_i(x_{ij})}{max_i(x_{ij}) - min_i(x_{ij})} \qquad (۲)$$

مقیاس اندازه‌گیری در این روش دقیقاً در بازه بین صفر و یک قرارخواهند داشت، به طوری که صفر برای بدترین نتیجه و یک برای بهترین نتیجه است.

قدم ششم: انتخاب و رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی

در این بخش از مدل تابع تبدیل استفاده می‌شود. روش مدل تابع تبدیل این است که مساله چندهدفه را بصورت یک تابع تبدیل مدل می‌نماید معمولاً این فرمول شامل تابع تبدیل منفرد و مقدار وزن اهمیت مربوط به آن می‌باشد. مقدار این وزن، اهمیت نسبی آن ویژگی در برنامه‌ریزی ما را نشان می‌دهد. مقدار وزن نسبی هر ویژگی توسط روش AHP بدست می‌آید.

$$U(X) = \sum_{j=1}^{n} \mathrm{W}_j U_j(x_{ij}) \qquad (۳)$$

$U(X)$: تابع تبدیل مرکب از هر حالت انتخابی می‌باشد که توسط n شاخص اندازه‌گیری می‌شود. (در این مساله ۴ هدف)

$U_j(x_{ij})$: تابع تبدیل منفرد با توجه j امین شاخص.

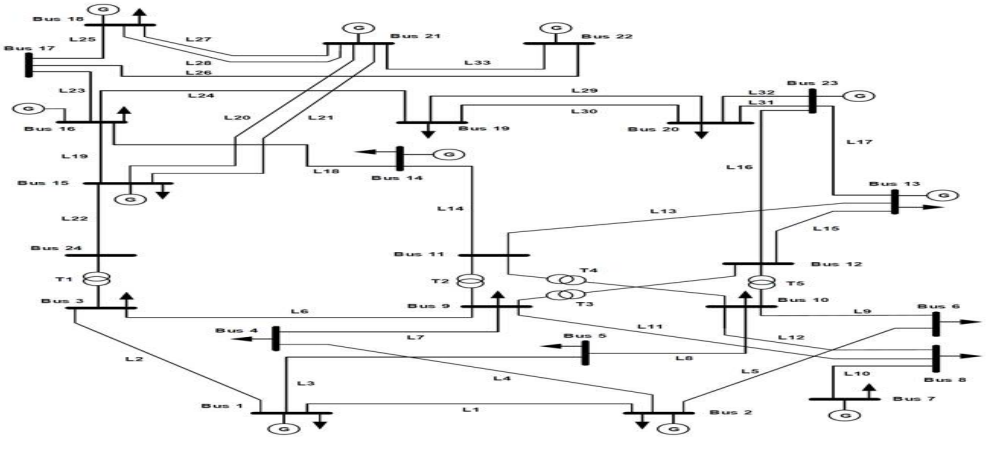
W_j: پارامتر وزنی مربوط به j امین شاخص

به کمک این روش برای هر شاخص یک تابع تبدیل متناسب با نتایج بدست می‌آید. با توجه به تابع بدست آمده و وزن مربوط به هر هدف برای هر کدام از $N+1$ شرایط فوق یک عدد بدست می‌آید که نشان دهنده رتبه اهمیت (بحرانی بودن) آن می‌باشد. این مرحله یکی از اصلی‌ترین گام‌های تدوین برنامه تعمیرات و نگهداری مبتنی برقابلیت اطمینان می‌باشد.

۵- مطالعه موردی

جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی، ضروری است که به معرفی چهارچوب سیستم قدرت مورد مطالعه و همچنین مفروضات مطرح درآن پرداخته شود. در این مقاله جهت مطالعه موردی از شبکه IEEE-RTS نشان داده شده در شکل (۴) که یک سیستم قدرت پیشنهاد شده برای مطالعات قابلیت اطمینان است استفاده می‌شود.

شکل (۴): شبکه مورد مطالعه IEEE-RTS



www.SID.ir

Archive of SID

۵-۱- شاخص‌های مدنظر در مدل پیشنهادی و روش محاسبه آنها

در مدل تعمیر و نگهداری پیشنهادی چهار شاخص قابلیت اطمینان، هزینه، تلفات شبکه انتقال و همچنین شاخص رقابت‌پذیری بازار برق مورد توجه می‌باشد که در آن از یک مدل چندمعیاره برای لحاظ نمودن شاخص‌ها پیشنهاد شده است.

۵-۲- وزن‌دهی شاخص‌های چهارگانه با استفاده از روش AHP

در ساختار RCM پیشنهادی، استراتژی تعمیرات و نگهداری با چهار هدف مختلف تدوین می‌گردد. حداکثر نمودن قابلیت اطمینان، حداقل نمودن هزینه، حداقل کردن تلفات وحداکثر نمودن شرایط رقابت‌پذیری در بخش انتقال. برای درنظر گرفتن همه‌ی اهداف در در قالب یک تابع هدف می‌توان از تکنیک‌های مختلف استفاده نمود که یکی از این تکنیک‌ها استفاده از روش‌های وزن‌دهی بین اهداف می‌باشد. یکی از بهترین روش‌هایی که قادر است انواع اولویت‌ها و همچنین قیود نامتجانس کمی و کیفی را در فرآیند وزن‌دهی در نظر بگیرد روش AHP است. روش AHP با امکان مقایسه دوبه‌دوی پارامترها قادر است بصورت واقع بینانه و کارا، دیدگاه‌ها و قیود و اولویت‌ها را در فرآیند وزن دهی لحاظ نماید. در روش پیشنهادی نیز استفاده از روش AHP جهت وزن‌دهی به اهداف چهارگانه پیشنهاد می‌شود. در مدل AHP پیشنهادی که در شکل (۵) نشان داده شده است کلیه بخش‌هایی که از نحوه تدوین استراتژی تعمیرات و نگهداری بخش انتقال متاثر می‌گردند در فرآیند تصمیم‌گیری شرکت داده می‌شوند. در این بخش هدف تامین انتظارات متفاوت بازیگران و ناظران بخش انتقال می‌باشد. انتظارات متفاوت بخش‌های مختلف را می‌توان بصورت زیر مدنظر قرار داد.

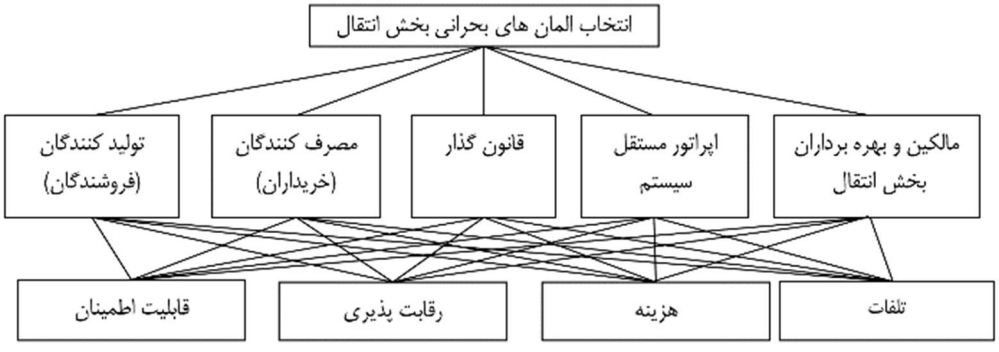
– تولیدکنندگان: ایجاد رقابت بین بخش‌های مختلف تولید و همچنین افزایش قابلیت اطمینان

– مصرف کنندگان: رقابت پذیری و دسترسی منصفانه به منابع ارزانتر تولید

– مالکین بخش انتقال: حداکثر سازی درآمد و یا حداقل سازی هزینه

– قانونگذار: حداکثر سازی رقابت پذیری و قابلیت اطمینان و حداقل شدن هزینه

هرکدام ازبازیگران فوق نسبت به مساله تعمیر و نگهداری بخش انتقال که سهم قابل توجهی در بهره‌برداری شبکه انتقال را دارد انتظارات متفاوتی دارند که این امر موجب مدل‌سازی مساله بصورت سلسله مراتبی شده است. یکی از دلایل برتری استفاده از روش AHP امکان لحاظ نمودن نظرات کمی و کیفی و تجربیات کارشناسان در فرآیند تصمیم‌گیری می‌باشد که در آن نگرشی سیستمی با تحلیل جز به جز بصورت توام بکار گرفته می‌شود (سطح اول تصمیم‌سازان به عنوان معیار و در سطح دوم اهداف به عنوان گزینه‌ها مدنظر می‌باشند). در ادامه از روش بردار ویژه جهت تعیین مقدار نهایی وزن بین اهداف استفاده شده. در تعیین ماتریس‌ها از مطالب موجود در مقالات و کتب استفاده شده است و لازمه افزایش دقت آن در نظر گرفتن تجربیات افراد خبره و باتجربه در آن است که می‌تواند در نتایج نهایی تاثیرگذار باشد.



شکل (۵): ساختار AHP پیشنهادی جهت وزن‌دهی اهداف

www.SID.ir

Archive of SID

در ادامه جهت تعیین مرتبه اهمیت و بحرانی بودن المان‌های موجود در بخش انتقال، برطبق الگوریتم پیشنهادی به نرمالیزه‌کردن مقادیر بدست آمده توسط شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای شاخص‌ها پرداخته شده و نتایج بدست آمده در جدول (۲) منعکس شده است.

در ادامه جهت تعیین مرتبه اهمیت و بحرانی بودن المان‌های موجود در بخش انتقال، برطبق الگوریتم پیشنهادی به نرمالیزه‌کردن مقادیر بدست آمده توسط شبیه‌سازی مونت‌کارلو برای شاخص‌ها پرداخته می‌شود و نتایج بدست آمده در جدول (۳) منعکس می‌گردد.

با بررسی مقادیر نرمالیزه شده شاخص قابلیت‌اطمینان (EENS) در ستون سوم جدول (۳) مشاهده می‌گردد که صرفاً با درنظرگرفتن وزن نسبی۱۰۰٪ برای این شاخص، به ترتیب المان‌های L۱۰ ، T۱، L۲۲ ، L۱۸ وT۵ در الویت المان‌های بحرانی شبکه انتقال قرار خواهند گرفت.

با بررسی مقادیر نرمالیزه شاخص انحراف معیار قیمت حاشیه‌ای محلی به عنوان شاخص رقابت پذیری بازار برق سیستم مورد مطالعه (σ_{LMP}) در جدول (۳) مشاهده می‌گردد که صرفاً با درنظرگرفتن وزن نسبی۱۰۰٪ برای این شاخص المان‌های L۳، L۸، L۴، L۲۲ وL۲ به ترتیب المان‌های بحرانی شبکه انتقال از این دیدگاه می‌باشند.

با بررسی مقادیر نرمالیزه شاخص میانگین تلفات در سیستم مورد مطالعه (Loss) درجدول (۳) مشاهده می‌گردد که صرفا با درنظرگرفتن وزن نسبی۱۰۰٪برای این شاخص المانهای L۳، L۲۴، L۴، L۲۳ وL۳۳ به ترتیب المان‌های بحرانی شبکه انتقال از این دیدگاه می‌باشند.

با بررسی مقادیر نرمالیزه شاخص میانگین هزینه قطعی در سیستم قدرت مورد مطالعه در جدول (۳) مشاهده می‌گردد که صرفاً با درنظرگرفتن وزن نسبی ۱۰۰٪ برای این شاخص المان‌های L۱۰، L۲۰، L۱۸، L۲۲ وT۱ به ترتیب المان‌های بحرانی شبکه انتقال از این دیدگاه می‌باشند. نتایج در اشکال (۶)، (۷)، (۸) و (۹) منعکس شده است.

جدول (۲): ماتریس مقایسه شاخص‌های نهایی

تعیین وزن نهایی نسبی اهداف (ضریب ناسازگاری کلی ۰/۰۴)		
هزینه	۰/۳۰۲	W۱
رقابت پذیری	۰/۲۲۹	W۲
قابلیت اطمینان	۰/۳۶۴	W۳
تلفات	۰/۱۰۵	W۴

جدول (۳): تعیین مقادیر نرمالیزه شده شاخص‌های تصمیم‌گیری

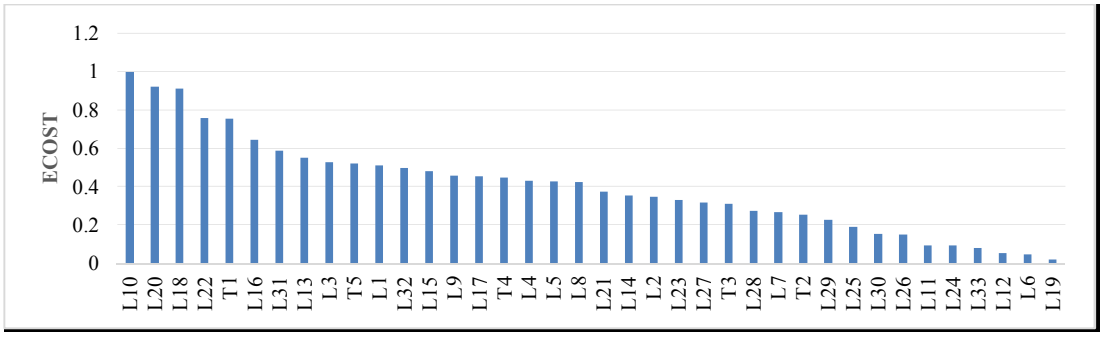
شرایط		نرمالیزه کردن معیارهای تصمیم‌گیری							
		U_1معیار اول		U_2معیاردوم		U_3معیار سوم		U_4 معیارچهارم	
		$EENS_{TS}$	رتبه	σ_{LMP}	رتبه	$\mu(P_{Loss,TS})$	رتبه	ECOST	رتبه
حالت پایه		۰		۰		۰		۰	
خروج المان۱	L۱	۰/۶۸۸۷	۷	۰/۱۰۳۶	۹	۰/۲۴۶۲	۱۸	۰/۵۱۳۱	۱۱
خروج المان۲	L۲	۰/۰۰۷۳	۳۷	۰/۳۱۲۳	۵	۰/۳۷۷۴	۱۳	۰/۳۴۷۶	۲۲
خروج المان۳	L۳	۰/۰۳۶۷	۳۵	۱/۰۰۰۰	۱	۱/۰۰۰۰	۱	۰/۵۲۹۹	۹
خروج المان۴	L۴	۰/۰۶۳۰	۳۱	۰/۲۲۱۸	۷	۰/۷۸۱۷	۳	۰/۴۳۲۱	۱۷
خروج المان۵	L۵	۰/۴۱۵۷	۱۲	۰/۲۹۴۰	۶	۰/۵۰۶۲	۸	۰/۴۲۹۵	۱۸
خروج المان۶	L۶	۰/۰۵۱۳	۳۳	۰/۰۵۶۹	۱۸	۰/۰۴۱۳	۲۷	۰/۰۴۷۳	۳۷
خروج المان۷	T۱	۰/۹۴۳۶	۳	۰/۴۰۲۲	۳	۰/۲۱۱۷	۲۰	۰/۷۵۶۶	۵
خروج المان۸	L۷	۰/۱۵۴۱	۲۴	۰/۰۴۱۹	۲۳	۰/۲۵۹۶	۱۶	۰/۲۶۸۷	۲۷

www.SID.ir

Archive of SID

خروج المان۹	L۸	۰/۰۸۷۷	۳۰	۰/۵۱۸۱	۲	۰/۵۸۵۱	۶	۰/۴۲۴۹	۱۹
خروج المان۱۰	L۹	۰/۷۳۶۶	۶	۰/۰۷۶۱	۱۴	-۰/۰۶۰۰۰	۳۴	۰/۴۵۹۱	۱۴
خروج المان۱۱	L۱۰	۱/۰۰۰۰	۱	۰/۰۶۱۲	۱۷	۰/۴۸۰۳	۱۰	۱/۰۰۰۰	۱
خروج المان۱۲	L۱۱	۰/۱۶۱۰	۲۲	۰/۰۰۴۴	۳۱	-۰/۰۰۴۰	۳۲	۰/۰۹۵۱	۳۳
خروج المان۱۳	L۱۲	۰/۰۸۸۴	۲۸	۰/۰۳۰۲	۲۴	۰/۰۶۴۷	۲۵	۰/۰۵۲۹	۳۶
خروج المان۱۴	T۲	۰/۳۷۳۱	۱۴	۰/۰۹۱۳	۱۲	۰/۱۱۷۰	۲۴	۰/۲۵۴۸	۲۸
خروج المان۱۵	T۳	۰/۴۱۰۱	۱۳	۰/۰۹۱۹	۱۱	۰/۱۵۲۶	۲۳	۰/۳۱۱۸	۲۵
خروج المان۱۶	T۴	۰/۶۷۵۹	۸	۰/۰۱۳۷	۲۸	۰/۲۵۵۸	۱۷	۰/۴۴۷۱	۱۶
خروج المان۱۷	T۵	۰/۸۰۸۸	۵	۰/۰۰۳۸	۳۲	۰/۳۰۷۲	۱۴	۰/۵۲۱۹	۱۰
خروج المان۱۸	L۱۳	۰/۶۶۹۳	۹	۰/۰۴۴۶	۲۲	۰/۵۰۸۷	۷	۰/۵۵۲۹	۸
خروج المان۱۹	L۱۴	۰/۱۰۶۰	۲۷	۰/۰۵۴۵	۲۰	-۰/۱۸۴۰	۳۵	۰/۳۵۶۳	۲۱
خروج المان۲۰	L۱۵	۰/۶۲۳۵	۱۰	۰/۰۰۸۹	۳۰	۰/۴۸۴۲	۹	۰/۴۸۰۹	۱۳
خروج المان۲۱	L۱۶	۰/۵۴۷۸	۱۱	۰/۰۵۵۱	۱۹	-۰/۱۹۳۰	۳۶	۰/۶۴۶۵	۶
خروج المان۲۲	L۱۷	۰/۱۱۱۱	۲۶	۰/۰۲۰۹	۲۷	-۰/۲۱۸۰	۳۷	۰/۴۵۶۴	۱۵
خروج المان۲۳	L۱۸	۰/۹۰۱۶	۴	۰/۰۴۷۲	۲۱	۰/۰۰۴۷	۳۰	۰/۹۱۰۷	۳
خروج المان۲۴	L۱۹	۰/۰۱۰۱	۳۶	-۰/۰۲	۳۵	۰/۱۶۹۰	۲۲	۰/۰۲۰۹	۳۸
خروج المان۲۵	L۲۰	۰/۱۸۷۴	۲۱	۰/۰۲۴۴	۲۵	۰/۴۱۳۹	۱۲	۰/۹۲۱۰	۲
خروج المان۲۶	L۲۱	۰/۳۰۸۶	۱۶	۰/۰۲۲۹	۲۶	۰/۲۸۸۹	۱۵	۰/۳۷۶۱	۲۰
خروج المان۲۷	L۲۲	۰/۹۷۳۵	۲	۰/۳۵۶۳	۴	۰/۱۸۰۹	۲۱	۰/۷۵۸۳	۴
خروج المان۲۸	L۲۳	۰/۳۲۳۷	۱۵	-۰/۰۳۶۰	۳۷	۰/۷۶۱۵	۴	۰/۳۳۲۱	۲۳
خروج المان۲۹	L۲۴	۰/۰۳۹۶	۳۴	-۰/۰۱۰۰	۳۴	۰/۹۶۴۵	۲	۰/۰۹۲۷	۳۴
خروج المان۳۰	L۲۵	۰/۲۱۲۱	۱۷	-۰/۰۳۵۰	۳۶	۰/۴۳۳۷	۱۱	۰/۱۹۱۱	۳۰
خروج المان۳۱	L۲۶	۰/۱۲۱۶	۲۵	۰/۱۹۲۶	۸	۰/۲۲۴۳	۱۹	۰/۱۵۰۰	۳۲
خروج المان۳۲	L۲۷	۰/۰۸۷۸	۲۹	۰/۰۸۸۹	۱۳	۰/۰۰۱۵	۳۱	۰/۳۱۷۰	۲۴
خروج المان۳۳	L۲۸	۰/۱۹۴۹	۲۰	۰/۱۰۳۱	۱۰	-۰/۰۳۸۰	۳۳	۰/۲۷۳۹	۲۶
خروج المان۳۴	L۲۹	۰/۲۰۰۳	۱۹	۰/۰۱۱۹	۲۹	۰/۰۲۲۶	۲۸	۰/۲۲۷۵	۲۹
خروج المان۳۵	L۳۰	۰/۰۶۰۵	۳۲	-۰/۰۰۷۰	۳۳	۰/۰۶۱۶	۲۶	۰/۱۵۲۹	۳۱
خروج المان۳۶	L۳۱	۰/۲۰۱۴	۱۸	۰/۰۷۳۳	۱۵	-۰/۲۲۸۰	۳۸	۰/۵۸۷۰	۷
خروج المان۳۷	L۳۲	۰/۱۵۷۴	۲۳	۰/۰۷۰۸	۱۶	۰/۰۱۶۵	۲۹	۰/۴۹۸۳	۱۲
خروج المان۳۸	L۳۳	-۰/۰۱۲۳	۳۸	-۰/۰۷۲۰	۳۸	۰/۶۰۷۳	۵	۰/۰۸۱۰	۳۵

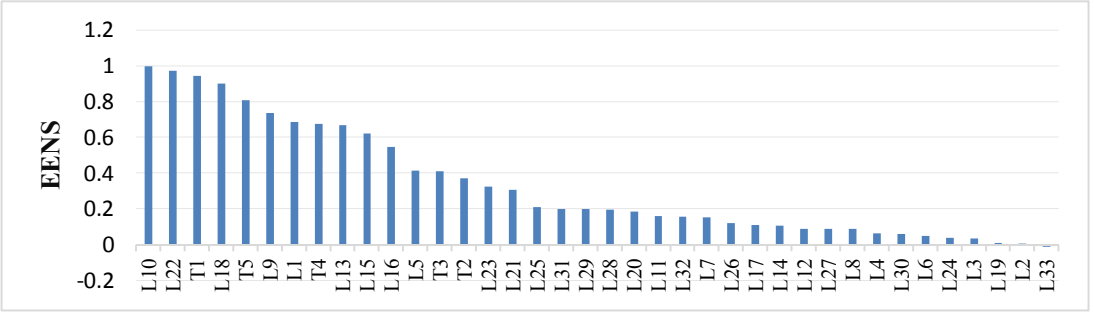
شکل (۶): رتبه‌بندی تجهیزات از دیدگاه هزینه‌های قطعی



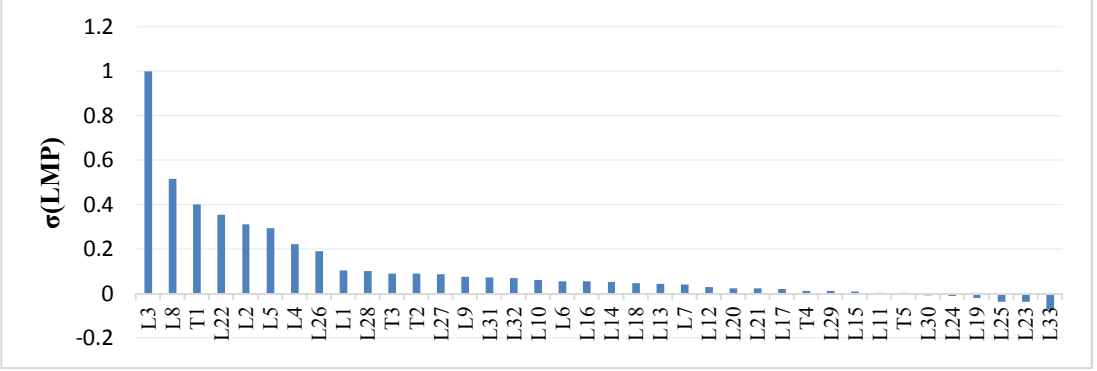
www.SID.ir

Archive of SID

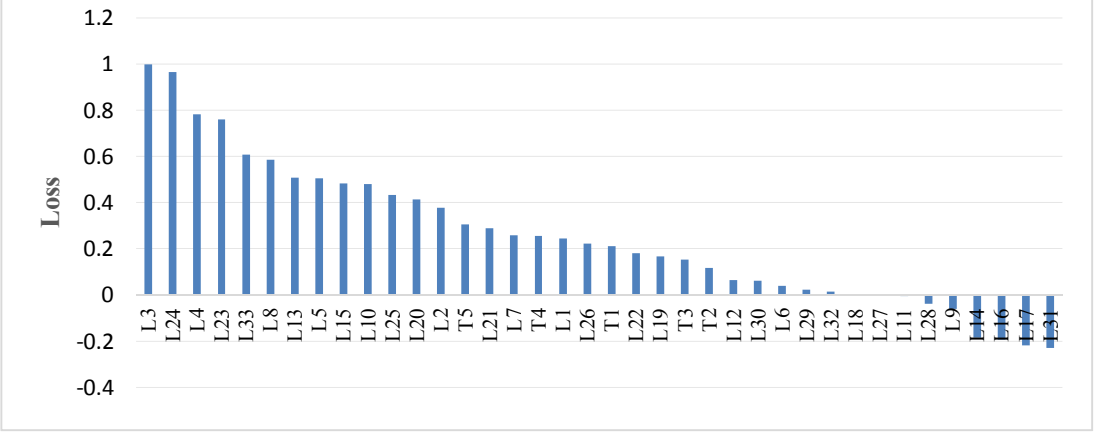
شکل (۷): رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی از دیدگاه قابلیت اطمینان



شکل (۸): رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی از دیدگاه رقابت پذیری بازار برق



شکل (۹): رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی از دیدگاه تلفات



جهت رتبه‌بندی نهایی تجهیزات بحرانی شبکه انتقال نیز به کمک وزن نسبی شاخص‌ها که با استفاده از روش AHP بدست آمده و مقادیر نرمالیزه شده شاخص‌ها که در جدول (۳) آمده است می‌پردازیم که نتایج بدست آمده در جدول (۴) آمده است. ارزیابی نتایج نشان می‌دهد که المان‌های L۱۰، T۱، L۲۲، L۱۸ و L۳ به ترتیب المان‌های بحرانی نهایی شبکه انتقال می‌باشند. این موضوع به کمک پر رنگ کردن درایه‌های متناظر ۵ المان بحرانی در جدول (۴) نشان داده شده است به طوری‌که هر چقدر المان بحرانی‌تر باشد سلول متناظر تیره‌تر در نظرگرفته شده است. نتایج جهت ارزیابی رتبه بحرانی بودن نهایی کل المان‌های شبکه انتقال مورد مطالعه، در شکل (۱۰) نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

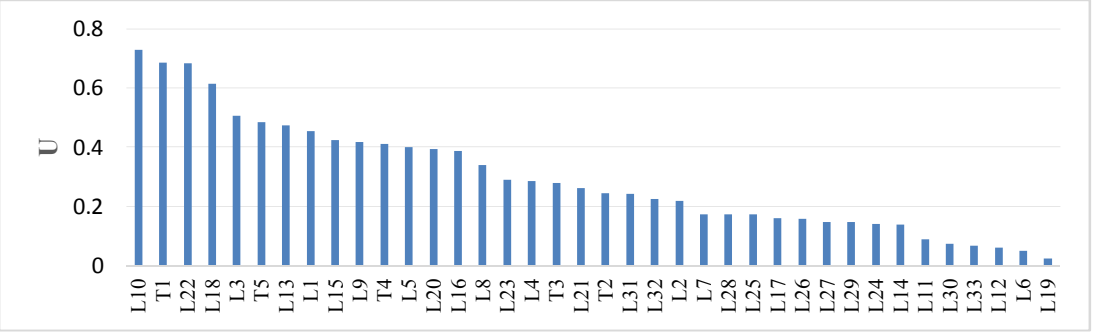
جدول (۴): رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی

رتبه	$U = \sum_{j=1}^{4} W_j U_j(x_j)$	مشخصات تجهیزات	نام تجهیزات	شرایط
۸	۰/۴۵۵۲	کابل ۱۳۸ kv	L۱	خروج المان۱
۲۳	۰/۲۱۸۸	خط ۱۳۸ kv	L۲	خروج المان۲
۵	۰/۵۰۷۴	خط ۱۳۸ kv	L۳	خروج المان۳
۱۷	۰/۲۸۶۳	خط ۱۳۸ kv	L۴	خروج المان۴
۱۲	۰/۴۰۱۵	خط ۱۳۸ kv	L۵	خروج المان۵
۳۷	۰/۰۵۰۳	خط ۱۳۸ kv	L۶	خروج المان۶
۲	۰/۶۸۶۳	ترانسفورماتور۱	T۱	خروج المان۷
۲۴	۰/۱۷۴۱	خط ۱۳۸ kv	L۷	خروج المان۸
۱۵	۰/۳۴۰۳	خط ۱۳۸ kv	L۸	خروج المان۹
۱۰	۰/۴۱۷۹	کابل ۱۳۸ kv	L۹	خروج المان۱۰
۱	۰/۷۳۰۴	خط ۱۳۸ kv	L۱۰	خروج المان۱۱
۳۳	۰/۰۸۸۰	خط ۱۳۸ kv	L۱۱	خروج المان۱۲
۳۶	۰/۰۶۱۸	خط ۱۳۸ kv	L۱۲	خروج المان۱۳
۲۰	۰/۲۴۵۹	ترانسفورماتور۲	T۲	خروج المان۱۴
۱۸	۰/۲۸۰۵	ترانسفورماتور۳	T۳	خروج المان۱۵
۱۱	۰/۴۱۱۱	ترانسفورماتور۴	T۴	خروج المان۱۶
۶	۰/۴۸۵۱	ترانسفورماتور۵	T۵	خروج المان۱۷
۷	۰/۴۷۴۲	خط ۲۳۰ kv	L۱۳	خروج المان۱۸
۳۲	۰/۱۳۹۳	خط ۲۳۰ kv	L۱۴	خروج المان۱۹
۹	۰/۴۲۵۱	خط ۲۳۰ kv	L۱۵	خروج المان۲۰
۱۴	۰/۳۸۷۰	خط ۲۳۰ kv	L۱۶	خروج المان۲۱
۲۷	۰/۱۶۰۱	خط ۲۳۰ kv	L۱۷	خروج المان۲۲
۴	۰/۶۱۴۵	خط ۲۳۰ kv	L۱۸	خروج المان۲۳
۳۸	۰/۰۲۳۳	خط ۲۳۰ kv	L۱۹	خروج المان۲۴
۱۳	۰/۳۹۵۴	خط ۲۳۰ kv	L۲۰	خروج المان۲۵
۱۹	۰/۲۶۱۵	خط ۲۳۰ kv	L۲۱	خروج المان۲۶
۳	۰/۶۸۳۹	خط ۲۳۰ kv	L۲۲	خروج المان۲۷
۱۶	۰/۲۸۹۹	خط ۲۳۰ kv	L۲۳	خروج المان۲۸
۳۱	۰/۱۴۱۴	خط ۲۳۰ kv	L۲۴	خروج المان۲۹
۲۶	۰/۱۷۲۴	خط ۲۳۰ kv	L۲۵	خروج المان۳۰
۲۸	۰/۱۵۷۲	خط ۲۳۰ kv	L۲۶	خروج المان۳۱
۲۹	۰/۱۴۸۲	خط ۲۳۰ kv	L۲۷	خروج المان۳۲
۲۵	۰/۱۷۳۳	خط ۲۳۰kv	L۲۸	خروج المان۳۳
۳۰	۰/۱۴۶۷	خط ۲۳۰ kv	L۲۹	خروج المان۳۴
۳۴	۰/۰۷۳۰	خط ۲۳۰ kv	L۳۰	خروج المان۳۵
۲۱	۰/۲۴۳۴	خط ۲۳۰ kv	L۳۱	خروج المان۳۶
۲۲	۰/۲۲۵۸	خط ۲۳۰ kv	L۳۲	خروج المان۳۷

www.SID.ir

Archive of SID

شکل (۱۰) رتبه‌بندی نهایی تجهیزات بحرانی



۶- بحث و نتیجه‌گیری

در ساختار پیشنهادی در این مقاله، با توجه به طرح مساله چند معیاره، استفاده از روش AHP بخوبی نظرات کارشناسان، ذینفعان و افراد خبره در فرآیند تصمیم‌گیری را مدل نمود. این امر موجب افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری ساختار پیشنهادی متناسب با ساختارهای متفاوت سیستم‌های‌قدرت مختلف گردیده است و این موضوع جامعیت مطلوبی به ساختار پیشنهادی بخشیده است.

در روش پیشنهادی، با بکارگیری منطق مستحکم موجود در روش RCM دیدگاه سیستماتیک و کل محور جایگزین دیدگاه جزء محور شده که موجب بهبود شاخص‌های با اهمیت در کل سیستم گردیده است. استفاده از منطق RCM باعث تعمیم مسأله و لحاظ شاخص‌های با اهمیت شبکه انتقال نظیر هزینه قطعی، تلفات و رقابت‌پذیری شده است که موجب ایجاد سازوکاری مطلوب جهت تقویت نگاه چندبعدی و همه‌جانبه گردیده است.

با توجه به نقش حیاتی شبکه انتقال در کارایی بازار برق، عدم درنظر گرفتن این موضوع در کلیه فرآیندهای تصمیم‌گیری بخش انتقال غفلت نادرستی تلقی خواهد شد. در ساختار پیشنهادی در این مقاله به صورت ویژه به ارتباط شاخص رقابت‌پذیری در فرآیند تعیین تجهیزات بحرانی و تدوین استراتژی بهینه تعمیر و نگهداری پرداخته شده است.

در بخشی از مقاله به یکی از اصلی‌ترین بخش فرآیند تصمیم‌گیری یعنی تعیین و رتبه‌بندی تجهیزات بحرانی پرداخته شد. در این قسمت با معرفی ساختار تصمیم‌گیری چندشاخصه (MADM) و در نظرگرفتن شاخص‌های قابلیت اطمینان، رقابت‌پذیری، تلفات و هزینه قطعی ساختار جامعی در این قسمت ارائه گردیده است.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع

[1] X.F. Wang and et al," Modern Power System Planning", McGraw-Hill Publishing Co, 1994.

[2] J. Moubray, "Reliability centered Maintenance", Butterworth-Heinemann, Oxford, 1991. Reprint 1995.

[3] J. Endrenyi and et al., " The present status of maintenance strategies and the impact if maintenance on reliability", IEEE Transaction On Power system, vol. 16. No.4. pp.638-646., Nov.2001.

[4] L. Bertling, "Reliability Centered Maintenance for electric power distribution systems," Ph. D dissertation, Dept.Elect. Power Engineering, KTH, Stockholm, Sweden, 2002.

[5] L. Bertling and et al, "A Reliability-Centered Asset Maintenance Method for Assessing the Impact of Maintenance in Power Distribution Systems", IEEE Transaction on power systems, vol.20, no.1 Feb 2005.

[6] W.Li, "Risk Assessment of power systems", New York: IEEE Press, 2005.

[7] J.H. Heo and et al, "Optimal Maintenance Strategies for Transmission Systems using the Genetic Algorithm", IEEE, 2010.

[8] C.Q. Su, "A New Maintenance Strategy for thr Reduction of Failure Rate of Distribution Cables", IEEE Electrical Industrial Conference, 2010.

[9] P. Dehghanian and etal, "Critical Component identification in reliability centeredasset management of power distribution systems via fuzzy AHP", IEEE Systems Journal, 2011.

[10] P. Dehghanian, and etal, "A Comprehensive Scheme for Reliability Centered Maintenance in Power Distribution Systems-part I: Methodology", IEEE Transaction on Power deivery, Vol.28, No. 2, April 2013.

[11] P. Dehghanian, and etal, "A Comprehensive Scheme for Reliability Centered Maintenance in Power Distribution Systems-part II: Numerical Analysis", IEEE Transaction on Power deivery, Vol.28, No. 2, April 2013.

[12] W.Li, "Risk Assessment of Power Systems", New York: IEEE Press, 2005.

[13] R. Ghorbani, and etal, "Identifying critical Components for Reliability-centerd Maintenance Managrment of Dregulated Power System", IET Generation, Transmission & distribution, Vol.9, Issue, 9, june 2015.

[14] M. Asghari Gharakheili, M. Fotuhi-Firuzabad, P. Dehghanian, "A New Multi-Attribute Support Tool for Identifying Critical Components in Power Transmission Systems", IEEE Systems Journal, Vol.pp, No.0, PP.1_12, 01-01-2015.

[15] P. Hilber and et al, "Multiobjective Optimization Applied to Maintenance Policy for Electrical Networks", IEEE Transaction On Power System, Vol.22, No.4, November 2007.

[16] F. Li and R. Brown, "A Cost-Effective Approach of Prioritizing Distribution Maintenance Based of System Reliability", IEEE Conference of PMAPS, Iowa, 12-24, 2004.

[17] J. Endrenyi and et al, "The Present states of Maintenance Strategies and the impact maintenance on", IEEE Transaction on Power System, Vol.16, No.4, pp.638-646, Nov.2010.

[18] J.H. Heo and et al, "Optimal Maintenance Strategies for Transmission System using the Genetic Algorithm", IEEE 2010.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir