IREC2016-A-11-109-1

استفاده از مدل خروج تصادفی ژنراتور جهت برنامه‌ریزی تعمیرات ماهیانه مبتنی بر ریسک

یاسر طغانی هولاری [۱*]، مجتبی آهنچ [۲]، مریم السادات اخوان حجازی [۳]، مهران سنجابی [۴]

[۱] دانشجوی دکتری برق قدرت دانشگاه کاشان
[۲] کارشناسی ارشد دانشگاه علم و صنعت ایران
[۳] عضو هیئت علمی دانشگاه کاشان
[۴] کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد واحد تهران جنوب

چکیده

زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی یکی از مهمترین اقدامات در برنامه ریزی سیستم قدرت می باشد که تاثیر بسیار زیادی در امنیت و عملکرد اقتصادی سیستم قدرت دارد. هدف از این برنامه ریزی زمان تعمیرات که باید به صورت دوره‌ای انجام پذیرد، در حالت کلی این است که اطمینان حاصل کنیم واحدهای تولیدی همیشه در شرایط کاری مطلوبی به سر می برند و نیز با کاهش مشکلات واحدها، عمر مفید آنها را افزایش داده که علاوه بر مزایای اقتصادی آن، منجر به افزایش قابلیت اطمینان سیستم گردد. در این مقاله مدل خروج تصادفی ژنراتور ، برای برنامه‌ریزی تعمیرات ماهیانه مبتنی بر ریسک پیشنهاد داده شده است. در ابتدا دلیل استفاده از مدل خروج واحد متغیر با زمان در برنامه‌ریزی تعمیرات ماهانه ارائه می‌شود. سپس یک مدل خروج جدید به منظور همراهی حالتی که خروج اجباری اتفاق خواهد افتاد، قبل از تعمیرات برای برنامه‌ریزی واحد پیشنهاد خواهد شد.

واژه های کلیدی

برنامه‌ریزی تعمیرات ژنراتور، مدل خروج، روش مبتنی بر ریسک

مقدمه

زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی یکی از مهمترین اقدامات در برنامه ریزی سیستم قدرت می باشد که تاثیر بسیار زیادی در امنیت و عملکرد اقتصادی سیستم قدرت دارد[۲-۱]. هدف از این برنامه ریزی زمان تعمیرات که باید به صورت دوره ای انجام پذیرد، در حالت کلی این است که اطمینان حاصل کنیم واحدهای تولیدی همیشه در شرایط کاری مطلوبی به سر می برند و نیز با کاهش مشکلات واحدها، عمر مفید آنها را افزایش داده که علاوه بر مزایای اقتصادی آن، منجر به افزایش قابلیت اطمینان سیستم گردد.

اصل ذخیره سطح بندی شده[۱] (LRes) به طور بسیار وسیعی به عنوان ملاکی برای زمان بندی کردن تعمیرات واحدها در یک سیستم قدرت استفاده می شود[۳]. رزرو خالص برابر است با تفاضل کل ظرفیت تولید از ماکزیمم بار و ظرفیت های خارج شده به علت تعمیرات می باشد و اصل LRes بیان می کند که برنامه تعمیرات واحدهای تولیدی طوری باید تنظیم شود که رزرو خالص شبکه در کل دوره مقدار یکسانی داشته باشد[۴].

موارد ناخواسته بسیار زیادی در طول شرایط کاری یک سیستم قدرت ممکن است به وجود آید مانند خروج اجباری واحدها و غیره. وقتی که از اصل LRes استفاده کنیم، دو لحظه متفاوت با مقدار رزرو یکسان به دلیل احتمال متفاوت خروج اجباری واحدهای در حال کار آنها مقدار سطح ریسک یکسانی از لحاظ کمبود تولید برای تامین بار نخواهند داشت. برای برطرف کردن مشکل فوق اصل ریسک سطح بندی شده[۲] (LRis) معرفی شده است که مقدار شاخص های ریسک از جمله LOLP یا EENS را درکلیه لحظات با هم برابر می کند[۶-۵].

همچنین، اصل بهینه‌سازی اقتصادی (حداقل‌سازی هزینه نگه-داری و هزینه حذف بار) در بازارهای برق مورد استفاده قرار می-گیرد[۷]، و ریسک امنیت سیستم به شاخص‌های اقتصادی تبدیل می‌شود[۸].

در روش های متداول زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی، احتمال خروج اجباری واحدهای تولیدی مقدار ثابتی در نظر گرفته می شود. این روش ها به دلیل عدم توانایی در تطبیق سه نکته مهم زیر، روشهای مناسبی برای زمان بندی تعمیرات واحدها نمی باشند[۹]:

۱- مدت زمان خروج یک واحد تولیدی همیشه بیش از ده یا دوازده روز طول می کشد. به همین دلیل به جای استفاده از احتمال ثابت برای خروج واحد، باید از عدم دسترس پذیری لحظه ای واحد در ماه آینده برای برنامه ریزی ماهیانه تعمیرات واحدها استفاده کرد.

۲- نرخ خرابی یک واحد پس از تعمیرات انجام شده به واسطه خروج اجباری آن کاهش می یابد. این موضوع بر ای نیروگاه های قدیمی تر بسیار مهم می باشد، در حالی که روش های متداول برنامه ریزی تعمیرات واحدها نمی توانند این موضوع مهم را در نظر بگیرند.

[1] Levelized Reserve

[2] Levelized Risk

Copyright © by IREC2016

۳- خروج اجباری بعضی واحدها ممکن است قبل از خروج برنامه ریزی شده این واحدها اتفاق افتد. هنگامی که چنین اتفاقی رخ دهد، تعمیرات واحد باید فورا پس از خروج اجباری آن انجام شود و برنامه ریزی اولیه تعمیرات واحدها حذف خواهد شد، در حالی که روش های متداول نمی توانند این چنین شرایطی را در نظر بگیرند.

برای حل سه مشکل ذکر شده، یک مدل جدید خروج تصادفی واحدها برای زمان بندی ماهیانه تعمیرات واحدهای تولیدی در این مقاله ارائه شده است. در ابتدا در بخش اول، معرفی کوتاهی از دو روش کلی LRes و LRis انجام شده و در بخش دوم ، مدل وابسته به زمان خروج واحدها و میزان دسترس پذیری لحظه ای آنها شرح داده شده و سپس برای رفع مشکل دوم، مدل خروج واحدهای زمان بندی نشده بر پایه فرآیند تجدیدسازی تاخیری[1] (DRP) ارائه شده است و پس از آن برای رفع مشکل سوم، یک مدل برای خروج واحدهای زمان بندی شده ارائه شده است. در نهایت با تعاریف شاخص ریسک و معیارهای بهینه سازی برنامه زمان بندی تعمیرات واحدها، یک آزمایش عددی برای نشان دادن لزوم استفاده از مدل های ارائه شده در برنامه زمان بندی تعمیرات واحدها انجام شده و نتیجه گیری های آن شرح داده شده است.

۲- روند توسعه روش ها و تکنیک های برنامه ریزی تعمیر و نگهداری:

روش های برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحد های تولیدی در سال های اخیر دچار تحولات بسیار بزرگی شده است. امروزه با پیچیده تر شدن فرآیند تولید و افزایش تنوع در واحدهای تولیدی و نیز افزایش آگاهی از اهمیت مباحث تعمیر و نگهداری واحدها در شبکه، موضوع تعمیر و نگهداری توجه بسیار زیادی را به خود جلب کرده است. در سال های اخیر با ظهور روش هایی مانند CBM[2] و RCM[3] در روش های برنامه ریزی تعمیرات واحدها تحولات اساسی رخ داد و پس از آن روش RBM[4] بیشترین توجه را به خود جلب کرد. روند تاریخی پیشرفت روش ها و تکنیک های برنامه ریزی تعمیر و نگهداری را می توان به چهار نسل تقسیم کرد.

نسل اول: مرحله اول توسعه روش های تعمیر و نگهداری مربوط به زمان قبل از جنگ جهانی دوم است که صنعت خیلی مکانیزه نشده بود. در این زمان تجهیزات ساده و به همین دلیل قابل اطمینان بودند و تعمیرات آنها نیزساده بود. دستگاه ها و تجهیزات آنقدر کار می کردند تا شکسته یا خراب شوند و هیچ راهی برای پیش بینی خرابی آنها وجود نداشت. مجموعه اقداماتی که برای تعمیر و نگهداری در این دوره انجام می شد شامل تعمیرات اساسی و روتین، تعویض قطعه خراب شده و تعمیرات اصلاحی بود.

نسل دوم: نسل دوم مربوط است به فاصله زمانی بین جنگ جهانی دوم و اواخر دهه ۱۹۷۰. در این زمان با پیشرفت صنعت و پیچیده شدن تجهیزات هزینه تعمیر و نگهداری افزایش یافت. مجموعه سیاست های به کار گرفته شده در این دوره شامل تعمیرات پیش گیرانه برنامه ریزی شده و تعمیرات مبتنی بر زمان می باشد. با این حال این سیاست ها اغلب به دلیل انجام رفتارهای غیر ضروری که منجر به وقفه در تولید می شد مورد انتقاد واقع می شد.

نسل سوم: روش های برنامه ریزی تعمیر و نگهداری در طی سال های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ به عنوان روش های نسل سوم شناخته می شود. در این فاصله زمانی میزان پیچیدگی واحد ها و تجهیزات بسیار زیاد شد، استفاده از اتوماسیون شتاب گرفت و استاندارد سازی نیز شدت گرفت. روش‌های CBM و RCM در این دوره برای برنامه ریزی تعمیرونگهداری واحد ها اتخاذ شد.

نسل چهارم: در دهه ۱۹۹۰ روش های تعمیر و نگهداری بر اساس میزان ریسک پدیدار شد و پس از سال های ۲۰۰۰ مقبولیت بسیار زیادی پیدا کردند. مقبولیت این نسل از روش ها بیشتر به علت ظهور روش RBM و بازبینی مبتنی بر ریسک[5] RBI علاوه بر روش CBM و RCM می باشد. تا سال های ۲۰۰۰ مباحث تعمیر و نگهداری و قابلیت اطمینان شبکه به طور جدا از هم بررسی می‌شد و از هم مستقل بودند. پس از آن بسیاری از محققین پیشنهاد دادند که ادغام مباحث تعمیر و نگهداری و قابلیت اطمینان شبکه، یک راهکار بسیار مناسب برای بهینه سازی ظرفیت تولیدی می باشد زیرا که امنیت و نگهداری مباحثی نیستند که با یکدیگر ناسازگار باشند. به این ترتیب این روش های مبتنی بر ریسک، با حداقل کردن احتمال بروز مشکل در سیستم و بالابردن امنیت شبکه امکان تصمیم گیری بهتر در برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی را فراهم کردند.

۳- معرفی دو روش کلی برای زمان بندی کردن تعمیرات واحدها

۳-۱ معرفی روش Levelized Reserve

روش LRes یک روش کاملا مستقیم است که زمان بندی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی را به وسیله یکسان قرار دادن رزرو خالص شبکه در طول مدت برنامه ریزی بدست می آورد. این روش در برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی سیستم قدرت به طور بسیار وسیعی استفاده می شود. محتوای این روش ساده و شفاف بوده و حجم محاسبات نیز نسبتا کم است و دوره زمان بندی تعمیر و نگهداری در این روش نیز معمولا یک سال در نظر گرفته می شود.

این روش خود به دو روش ظرفیت ذخیره سطح بندی شده[6] و نرخ ذخیره سطح بندی شده[7] تقسیم می شود. در حالت کلی این روش از معادله زیر به عنوان تابع هدف استفاده می کند:

$$\Delta P_i = \Delta P_j \qquad (۱)$$

که در این رابطه:

$$i \in T, j \in T, \quad t = 1,2,\ldots,T \qquad (۲)$$

[1] Delayed Renewal Process
[2] Condition-Based Maintenance
[3] Reliability-Centered Maintenance
[4] Risk-Based Maintenance
[5] Risk-Based Inspection
[6] Levelized Reserve Capacity
[7] Levelized reserve Rate

Copyright © by IREC2016

برای راحتی در برنامه ریزی، کل دوره تعمیر و نگهداری به T مرحله تقسیم می شود که هر مرحله نشان دهنده یک هفته، ده روز یا یک ماه است. ΔP مقدار ظرفیت رزرو خالص شبکه در هر مرحله است که برابر با تفاضل ظرفیت نصب شده از ماکزیمم بار و ظرفیت خارج شده از مدار به دلیل تعمیرات می باشد. متغیرهای زیر را برای این روش تعریف می‌کنیم:

S = {1, 2, …, K}: مجموعه واحدهای تولیدی مورد بحث برای تعمیرات در دوره تحت آزمایش $\{T_k^-:T_k^+\}$ زمان شروع و پایان که واحد k ام می تواند برای تعمیرات از مدار خارج گردد.

برای واحد تولیدی K ام نیز متغیرهای زیر را تعریف می کنیم:

P_k : توان نامی تولیدی واحد.

t_k : زمان شروع تعمیرات واحد.

S_k : تعداد مراحل مورد نیاز برای تعمیرات واحد (تعداد روزها، هفته ها یا ماه ها).

m_{kt} : وضعیت تعمیراتی واحد که وقتی صفر است نشان دهنده عدم قرار داشتن در وضعیت تعمیرات و وقتی ۱ است نشان دهنده قرار داشتن در وضعیت تعمیرات می باشد.

V_{rt} : ماکزیمم تعداد واحدهای تولیدی که پرسنل و خدمه تعمیرات می توانند به طور همزمان بر روی آنها تعمیرات انجام دهند.

ΔP_t : مقدار ظرفیت رزرو خالص سیستم در مرحله t است که برابر با تفاضل ظرفیت نصب شده از ماکزیمم بار و ظرفیت های خارج شده از مدار به علت تعمیرات می باشد.

ΔP_t^* : نرخ رزرو خالص سیستم در مرحله t که برابر با نسبت رزرو خالص سیستم به ماکزیمم بار و ظرفیت های خارج شده از مدار به علت تعمیرات می باشد.

با توجه به تعاریف فوق، مدل LRes برای برنامه ریزی تعمیرات واحدهای تولیدی می تواند به صورت زیر فرمول بندی شود:

$$\Delta P_i = \Delta P_j$$

یا:

$$\Delta P_i^* = \Delta P_j^* \qquad (۳)$$

تحت قیود اساسی زیر:

۱- قید انجام کامل برنامه تعمیرات در یک فاصله زمانی به هم پیوسته از لحظه شروع. به عبارت دیگر:

$$\sum_{t=t_k}^{t_k+S_k-1} m_{kt} = S_k \qquad (۴)$$

۲- قید زمان تعمیرات . به این معنی که تعمیرات واحد k ام بایستی در فاصله زمانی داده شده انجام گردد.به عبارتی دیگر

$$T_k^- \le t_k \le T_k^+$$
$$T_k^+ - T_k^- + 1 \ge S_k - 1 \qquad (۵)$$

۳- قید تعداد دفعاتی که واحد تولیدی k ام در طول دوره نیازمند تعمیرات است. به طور مثال تعداد دفعات واحدی برای تعمیرات برابر ۲ است (یک بار تعمیرات اساسی و یک بار تعمیرات جزئی و یا دو بار تعمیرات جزئی اگر تعمیرات اساسی نیاز نباشد). اگر فرض کنیم مدت زمان دو تعمیر S_{k1} و S_{k2} باشد این قید به صورت زیر بیان می شود.

$$\sum_{t=t_k} m_{kt} = S_{k1} + S_{k2} \qquad (۶)$$

۴- قید حداقل فاصله زمانی بین تعمیرات واحد k ام که اگر فرض کنیم تعداد تعمیرات مورد نیاز دو بار باشد و حداقل فاصله زمانی بین دو تعمیر B باشد این قید به صورت زیر بیان می شود:

$$t_{k2} - (t_{k1} + S_{k1}) \ge B \qquad (۷)$$

که در این رابطه t_{k1} و t_{k2} زمان شروع اولین و دومین تعمیر می‌باشند.

۵- قید پرسنل و خدمه تعمیرات. به طور مثال دو واحد تولیدی در یک شبکه قدرت نمی توانند به طور همزمان برای تعمیرات از مدار خارج گردند به عبارت دیگر $V_{rt}=1$. تنها سیستم های که دارای منابع و خدمه زیادی برای تعمیرات داشته باشد می توانند V_{rt} بزرگتر از ۱ داشته باشند. به هر حال این قید به صورت زیر بیان می گردد:

$$\sum_{k \epsilon V} m_{kt} \le V_{rt} \qquad (۸)$$

ویژگی های این روش به قرار زیر است:

۱- بر اساس قواعد خاصی واحدهای تولیدی به چندین گروه تقسیم می شوند.

۲- دوره تحت آزمایش به فواصل بلندی تقسیم می شوند.

۳- گروه های واحدهای تولیدی برای تعمیرات به بلوک هایی تقسیم می شوند و برنامه ریزی تعمیرات واحدها بر اساس منحنی بار با استفاده از مقدار ظرفیت رزرو شبکه برای این بلوک ها انجام می گیرد.

۴- به غیر از قیود اساسی ذکر شده قیود دیگری در نظر گرفته نمی شود.

۵- اصلاح و بازبینی نرخ در دسترس بودن یا خروج اجباری واحد ها بر طبق برنامه تعمیر و نگهداری برای ارزیابی های بعدی قابلیت اطمینان شبکه. در این روش واحدهای تولیدی که ظرفیتی بیشتر از یک مقدار معین یا ظرفیتی کمتر از مقداری معین دارند و نیاز به برنامه تعمیراتی یکسان دارند را به یک گروه تبدیل می کنیم. یک بلوک تعمیراتی نیز مقدار ظرفیتی است که در طول یک مرحله باید برای تعمیرات از مدار خارج گردد که ممکن است کل یا قسمتی از ظرفیت واحد های تولیدی باشد. برای برآورد کردن تعداد بلوک های تعمیراتی یک گروه روابط زیر را تعریف کرده و تعداد بلوک ها را تعیین می کنیم.

$$M_{rj} = \sum_{k \epsilon j} C_k S_k \qquad (۹)$$

$$M_{bj} = C_{jb} * T_p \qquad (۱۰)$$

که در این دو تعریف:

C_k : مقدار توان تولیدی واحد k ام گروه

S_k : مدت زمان تعمیرات واحد k ام گروه

K : تعداد واحدهای تولیدی در گروه

C_{jb} : ظرفیت کل گروه j ام

T_p : طول هرمرحله تعمیر

با استفاده از دو تعریف فوق تعداد بلوک های تعمیراتی برای گروه jام به صورت زیر بدست می آید.

Copyright © by IREC2016

$$N_{jb} = \frac{M_{ij}}{M_{bj}} \qquad (۱۱)$$

پس از اینکه گروه های واحدهای تولیدی و بلوک های تعمیراتی هر گروه تعیین شدند، زمان بندی تعمیر و نگهداری بر اساس منحنی بار و اصل LRes انجام می‌گیرد به این صورت که پس از اینکه واحدهای تولیدی به ترتیب از واحد بزرگ به واحد کوچک بر حسب مقدار ظرفیتشان و برنامه تعمیراتی آنها مرتب شد، از پایین ترین نقطه در منحنی بار شروع کرده (جایی که رزرو خالص شبکه بیشترین مقدار خود را دارد) و واحدهای تولیدی را به ترتیب به منحنی بار اضافه کرده و این کار را تا زمانی که همه ی واحدها برای تعمیرات برنامه ریزی شوند ادامه می دهیم (با در نظر گرفتن اینکه مقدار رزرو شبکه باید ثابت باقی بماند).

پس از اینکه گروه های واحدهای تولیدی و بلوک های تعمیراتی هر گروه تعیین شدند، زمان بندی تعمیر و نگهداری بر اساس منحنی بار و اصل LRes انجام می گیرد به این صورت که پس از اینکه واحدهای تولیدی به ترتیب از واحد بزرگ به واحد کوچک بر حسب مقدار ظرفیتشان و برنامه تعمیراتی آنها مرتب شد، از پایین ترین نقطه در منحنی بار شروع کرده (جایی که رزرو خالص شبکه بیشترین مقدار خود را دارد) و واحدهای تولیدی را به ترتیب به منحنی بار اضافه کرده و این کار را تا زمانی که همه ی واحدها برای تعمیرات برنامه ریزی شوند ادامه می دهیم (با در نظر گرفتن اینکه مقدار رزرو شبکه باید ثابت باقی بماند).

۲-۳ معرفی روش Levelized Risk

روش LRis یک روش با تابع هدف قابلیت اطمینان احتمالی می باشد. هدف این روش این است که زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی را به گونه ای برنامه ریزی کند که کل دوره تحت بررسی دارای یک میزان ریسک باشد. شاخص قابلیت اطمینان احتمالی LOLP می تواند برای ارزیابی میزان ریسک سیستم استفاده شود. بنابراین تابع هدف روش LRis می تواند به صورت زیر بیان گردد:

$$LOLP_i = LOLP_j \quad i, j \in T, \quad t = 1, 2, \ldots, T \qquad (۱۲)$$

که در این رابطه $LOLP_i$ و $LOLP_j$ میزان ریسک سیستم در مرحله i و j بوده و T نیز تعداد مراحل در کل دوره تحت بررسی می باشد. روش LRis دو ویژگی اساسی دارد: اولین ویژگی اساسی آن این است که وقتی زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی را انجام می دهد تاثیر خروج تصادفی واحدهای تولیدی را بر روی قابلیت اطمینان سیستم لحاظ می کند و دومین ویژگی اساسی آن این است که تغییرات روزانه بار را درهر یک از مراحل تعمیرات لحاظ می کند. بنابراین نتایجی که از این روش به دست می آید دارای دقت بسیار بالاتری می باشد.

در روش LRes ظرفیت نامی یک واحد تولیدی بر زمان تعمیرات یک واحد تاثیر بسیار زیادی دارد. در واقع در این روش فرض می کردیم هنگامی که تعمیرات یک واحد تولیدی انجام می شد و واحد وارد مدار می شد، یک بار نیز به اندازه ظرفیت نامی واحد به سیستم اضافه می شد (اصل ثابت بودن رزرو سیستم). این فرض نمی تواند از دیدگاه یک سیستم قدرت قابل اطمینان فرض دقیقی باشد. اگر فرض کنیم مقدار ظرفیت رزرو سیستم X باشد و احتمال خروج اجباری ظرفیتی برابر یا بیشتر از X از سیستم برابر P(X) باشد، در این صورت P(X) نشان دهنده مقدار ریسک سیستم هنگامی که ظرفیت رزرو سیستم X باشد، می باشد. هنگامی که یک واحد تولیدی با ظرفیت نامی C و نرخ خروج اجباری q به سیستم اضافه می شود، با فرض این که مقدار رزرو سیستم کماکان X باشد، در این صورت احتمال خروج ظرفیتی بیشتر یا برابر با X از سیستم به صورت زیر تغییر می‌کند:

$$P'(X) = P(X)p + P(X - C)q \qquad (۱۳)$$

از آنجایی که P(X-C) > P(X) و p+q = 1، مشاهده می شود که P′(X) >P(X). بنابراین از معادله فوق می توان دریافت که با این که مقدار رزرو سیستم تغییری نکرده است و کماکان مقدار آن X می باشد، اما مقدار ریسک سیستم افزایش پیدا کرده است. پس برای اینکه مقدار ریسک سیستم تغییری نکند باید همزمان با اینکه یک واحد تولیدی به سیستم اضافه می شود مقدار رزرو سیستم نیز افزایش یابد به طوریکه:

$$P'(X + Y) = P(X) \qquad (۱۴)$$

که در این رابطه Y مقدار ظرفیت رزروی است که باید به سیستم اضافه گردد. به صورت دیگر می توان گفت واحد تولیدی با ظرفیت نامی C که وارد مدار می شود تنها می تواند باری را برابر یا کمتر از ظرفیت C_e به صورت زیر تامین کند:

$$C_e = C - Y \qquad (۱۵)$$

C_e مقدار ظرفیت موثر واحد تولیدی برای تامین بار نامیده می شود. روش LRes زمان بندی تعمیرات واحدها را با در نظر گرفتن ماکزیمم بار در هر مرحله و ثابت ماندن رزرو سیستم انجام می دهد و تاثیر تغییر بار را در میزان ریسک سیستم همانطور که در بالا اشاره شد لحاظ نمی کند. میزان ریسک R_i یا همان $LOLP_i$ در مرحله i ام در روش LRes به صورت زیر است:

$$R_i = \sum_{j=1}^{T_p} \mathrm{P}(X_j) = \sum_{j=1}^{T_p} \mathrm{P}(C_i - L_j) \qquad (۱۶)$$

که در این رابطه:

T_p : تعداد روز های مرحله i ام

X_j : مقدار رزرو سیتم در روز j ام

C_i : مقدار ظرفیت نصب شده سیستم در مرحله i ام

L_j : مقدار ماکزیمم بار در روز j ام

در روش LRis به جای استفاده از L_j به منظور تاثیر دادن خروج تصادفی واحدها و تغییرات روزانه بار از بار معادل L_e استفاده می شود و در نتیجه مقدار ریسک در هر مرحله در روش LRis به صورت زیر است:

$$R_i = \sum_{j=1}^{T_p} \mathrm{P}(C_i - L_e) = \mathrm{P}(C_i - L_e) T_p \qquad (۱۷)$$

Copyright © by IREC2016

برتری اصلی روش LRis در برنامه ریزی تعمیر و نگهداری واحدهای تولیدی همین تاثیر دادن خروج تصادفی واحدها و تغییرات روزانه بار در برنامه ریزی می باشد. با توجه به معادله فوق برای برنامه ریزی تعمیرات توسط این روش نیاز به جداول خروج اجباری واحدها برای تاثیر دادن خروج اجباری واحدها داریم. به هر ترتیب ظرفیت موثر واحدهای تولیدی سیستم برای تامین بار طبق رابطه زیر محاسبه می شود:

$$C_e = C - m\ln\left(p + qe^{C/m}\right) \quad (۱۸)$$

و بار معادل هر مرحله نیز به صورت زیر به دست می آید:

$$L_e = m\ln\left(\sum_{j=1}^{T_p} e^{L_j/m}\right)/T_p \quad (۱۹)$$

یا:

$$L_e = L_m + m\ln\left(\sum_{j=1}^{T_p} e^{(L_j - L_m)/m}/T_p\right) \quad (۲۰)$$

که در رابطه فوق L_m ماکزیمم بار در هر مرحله می باشد. روند محاسبات برنامه ریزی تعمیرات واحدهای تولیدی بر اساس مطالب بیان شده با استفاده از روش LRis به صورت زیر خلاصه می شود:

۱- محاسبه جدول خروج واحدهای سیستم.

۲- محاسبه ضریب مشخصه ریسک سیستم m بر اساس اطلاعات مندرج در جدول خروج واحدها.

۳- محاسبه ظرفیت موثر واحدهای تولیدی برای تامین بار توسط رابطه بیان شده.

۴- محاسبه بار معادل در هر مرحله .

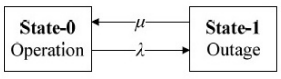
۵- زمان بندی کردن واحدهای تولیدی سیستم برای تعمیرات.

۴- مدل سازی خروج تصادفی واحدها برای زمان بندی تعمیرات ماهیانه:

همانطور که در بخش های قبل گفته شد، در روش های متداول زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی، احتمال خروج اجباری واحدهای تولیدی مقدار ثابتی در نظر گرفته می شود. این روش ها به دلیل عدم توانایی در تطبیق سه نکته مهم ذکر شده در مقدمه روشهای مناسبی برای زمان بندی تعمیرات واحدها نمی باشند. بنابراین با توجه به این مطلب و معایب استفاده از روش LRes و همچنین برتری های فراوان روش LRis که در بخش دوم گفته شد، در این بخش روشی برای مدل سازی خروج تصادفی واحدها در برنامه زمان بندی تعمیرات ماهیانه واحدها به منظور استفاده در روش LRis بیان شده است.

۴-۱ دسترس پذیری و عدم دسترس پذیری لحظه ای یک واحد

همانطور که در شکل۱ نشان داده شده است فرایند دوحالتی مارکوف برای مدل سازی خروج واحدها در روش های سنتی ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم استفاده می شود[۱۰].



شکل۱: فضای حالت مدل ۲ وضعیتی مارکوف

که در آن λ نشان دهنده نرخ خرابی واحد و μ نشان دهنده نرخ تعمیرات آن می باشد. فرض می کنیم A(t) نشان دهنده احتمال قرار داشتن در وضعیت 0 (وضعیت کار عادی) در زمان t باشد که دسترس پذیری لحظه ای نیز نامیده می شود. همچنین فرض می کنیم U(t) نشان دهنده احتمال قرار داشتن در وضعیت 1 (خروج واحد) در زمان t باشد که نشان دهنده عدم دسترس پذیری لحظه ای می باشد و داریم که A(t) + U(t) = 1. اگر واحد در ابتدا در وضعیت عادی باشد A(t) برابر ۱ است. مقادیر A(t) و U(t) را می توان با دستگاه معادلات زیر به دست آورد:

$$\begin{cases} A_{m2}(t) = \dfrac{\mu}{\lambda+\mu} + \dfrac{\lambda}{\lambda+\mu}e^{-(\lambda+\mu)t} \\ U_{m2}(t) = \dfrac{\lambda}{\lambda+\mu} - \dfrac{\lambda}{\lambda+\mu}e^{-(\lambda+\mu)t} \end{cases} \quad (۲۱)$$

زیر نویس m2 در رابطه فوق به معنی دسترس پذیری لحظه ای یا عدم دسترس پذیری لحظه ای در مدل دو حالتی مارکوف می باشد.

هنگامی که $t\to\infty$ در این صورت:

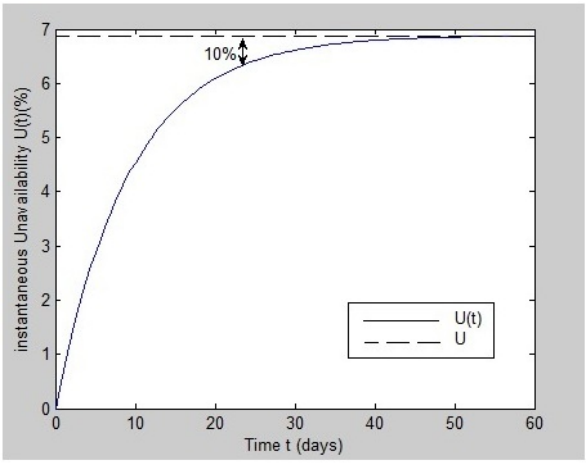
$$U(t) = \frac{\lambda}{\lambda+\mu} = U \quad (۲۲)$$

که در این حالت U عدم دسترس پذیری ماندگار نامیده می شود. اگر $\frac{U - U(t)}{U} \le \varepsilon$ ، در این صورت U(t) می تواند با U جایگزین گردد. برای این کار لازم است که:

$$\frac{U - U(t)}{u} = e^{-(\lambda+\mu)t} \le \varepsilon \;\rightarrow\; t \ge \frac{\ln\frac{1}{\varepsilon}}{\lambda+\mu} \quad (۲۳)$$

$$\frac{\ln\frac{1}{\varepsilon}}{\lambda+\mu} \simeq \ln\frac{1}{\varepsilon}\,.T_{repair} \quad (۲۴)$$

که T_{repair} میانگین مدت زمان خروج واحد می باشد. به طور مثال هنگامی که ε=10% باشد، آنگاه $t \ge 2.3T_{repair}$ می شود. اگر فرض کنیم که T_{repair} برابر با ۱۰ واحد باشد، که به این معنا می باشد که نرخ تعمیرات واحد μ برابر time/year ۳۶,۵ است و نیز با فرض اینکه نرخ خرابی واحد λ برابر time/year ۲,۷ باشد، منحنی عدم دسترس پذیری لحظه ای واحد به صورت شکل۲ می شود:



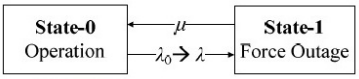
شکل۲: منحنی عدم دسترس پذیری لحظه ای واحد

Copyright © by IREC2016

با توجه به شکل ۲ متوجه می شویم برای اینکه منحنی عدم دسترس پذیری واحد به مقدار ماندگار خود همگرا شود بیش از ۲۰ روز طول می کشد. بنابراین، این عدم دسترس پذیری لحظه ای واحد باید به جای احتمال خروج اجباری ثابت در برنامه زمان بندی ماهیانه تعمیرات واحدها استفاده شود.

۴-۲ مدل سازی خروج واحدهای برنامه ریزی نشده

از آنجایی که نرخ خرابی یک واحد پس از انجام تعمیرات ناشی از خروج اجباری کاهش خواهد یافت، خصوصا وقتی که وضعیت کاری واحد در حال حاضر خوب نباشد، یک مدل جدید برای خروج واحدها بر پایه DRP برای تطبیق این شرایط همانگونه که در شکل۳ نشان داده شده است ارائه شده است.

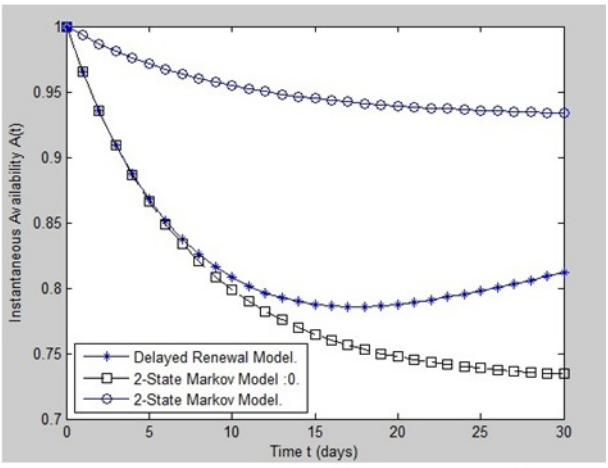


شکل۳: فضای حالت مدل DRP

λ_0 را نرخ خرابی اولیه پیش از هرگونه تعمیرات بر روی واحد تعریف می کنیم که می تواند با استفاده از تحلیل اطلاعات به دست آمده از سیستم مانیتورینگ آنلاین پیش بینی شود. λ نیز در اینجا نشان دهنده نرخ خرابی واحد پس از تعمیرات آن می باشد. به طور کلی $\lambda \le \lambda_0$. دسترس پذیری لحظه ای واحد بر اساس مدل DRP طبق معادله زیر محاسبه می شود[۱۱]:

$$A_{DR} = \frac{\mu}{\lambda+\mu} + \frac{\lambda_0 \mu}{(\lambda+\mu-\lambda_0)(\lambda+\mu)} e^{-(\lambda+\mu)t} + \frac{\lambda_0-\lambda}{\lambda_0-\lambda-\mu} \qquad (۲۵)$$

که در این رابطه زیرنویس DR به معنی دسترس پذیری لحظه ای یا عدم دسترس پذیری لحظه ای در مدل DRP می باشد. به طور مثال اگر فرض کنیم که μ = ۳۶,۵ time/year و λ = ۲,۷ time/year و λ_0 = ۵ × λ = ۱۳,۵ time/year در این صورت منحنی دسترس پذیری لحظه ای واحد بر طبق DRP و مدل دو وضعیتی مارکوف به صورت شکل۴ خواهد شد:



شکل ۴: منحنی دسترس پذیری واحد با روش DRP و 2-state Markov model

لازم به ذکر است که در شکل۴ یک بار از λ_0 (نرخ خرابی واحد پیش از هرگونه تعمیرات) در مدل مارکوف استفاده شده است و یک بار نیز از λ (نرخ خرابی واحد پس از تعمیرات) استفاده گردید.

از شکل دیده می شود که مدلDRP این واقعیت را که نرخ خرابی واحد پس از تعمیرات ناشی از خروج اجباری کاهش می یابد به خوبی منعکس می کند. در نتیجه میزان دسترس پزیری واحد A(t) که با مدل DRP برای واحدهای برنامه ریزی نشده بدست می آید برای زمان بندی واحدهای تولیدی با روش RBM بسیار مناسب می باشد.

۴-۳ مدل سازی خروج واحدهای برنامه ریزی شده

در زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی با استفاده از روش RBM پیش فرض این است که واحدهایی که برای تعمیرات انتخاب شده اند، بر طبق زمان بندی موجود از مدار خارج گردند، در واقع خروج آنها بر طبق برنامه است. بنابر این خروج واحدهای برنامه ریزی شده در این روش به صورت زیر فرمول بندی می شود:

$$A_{NOBS}(t) = \begin{cases} A_{M2}(t,\lambda_0) & 0 \le t \le S \\ 0 & S \le t \le S+d \\ A_{M2}(t-S-d,\lambda_{ASM}) & S+d \le t \le T \end{cases} \qquad (۲۶)$$

در این رابطه S زمان شروع خروج واحد بر طبق برنامه ، d مدت زمان خروج واحد، زیر نویس NOBS در این رابطه مخفف عبارت "Not Outage Before Scheduling" به معنی خارج نشدن اجباری واحد قبل از برنامه می باشد و λ_{ASM} نیز نرخ خرابی واحد بعد از تعمیرات برنامه ریزی شده واحد می باشد. در حالت کلی می توان λ_{ASM} را برابر λ در نظر گرفت زیرا با توجه به یکسان بودن روند تعمیرات پس از خروج اجباری و پس از خروج برنامه ریزی شده، نرخ خرابی واحد در هر دو حالت مقدار مشابهی می شود.

در عمل بعضی از واحدهایی که برای تعمیر و نگهداری انتخاب می شوند واحدهایی هستند که در شرایط کاری نامطلوبی به سر می برند. بنابراین ممکن است خروج اجباری بعضی از واحدهای برنامه ریزی شده برای تعمیرات قبل از زمان شروع تعمیرات آنها روی دهد. وقتی که چنین اتفاقی رخ دهد برنامه زمان بندی تعمیرات اولیه باید فورا حذف گردد و زمان بندی تعمیراتی دیگری با در نظر گرفتن این خروج اجباری ایجاد کرد. روش سنتی RBM در برنامه ریزی تعمیرات واحدها بنا بر معادله فوق چنین پیشامدی را در نظر نمی گیرد. یعنی فرض می کند که واحد تا زمان خروج برای تعمیرات برنامه ریزی شده در حال کار است (در حالی که خروج اجباری رخ داده است) که این موضوع با $A_{M2}(t,\lambda 0)$ در طی $0 \le t \le S$ در تناقض است. برای حل این مشکل یک مدل جدید برای خروج واحدهای برنامه ریزی شده در این بخش ارائه می کنیم. برای این کار X_1 را زمان شروع اولین خروج اجباری در نظر می گیریم. فضای احتمال را به دو حالت زیر تقسیم می کنیم:

حالت اول ($X_1 > S$) : این حالت به این معناست که خروج اجباری واحد قبل از قبل از خروج برنامه ریزی شده آن روی ندهد. بنابراین دسترس پذیری لحظه ای واحد در این حالت به صورت زیر می شود:

Copyright © by IREC2016

$$A_{X_1>S}(t)=\begin{cases}1 & 0\le t\le S\\ 0 & S\le t\le S+d\\ A_{M2}(t-S-d,\lambda) & t\ge S+d\end{cases} \quad (۲۷)$$

و احتمال رخ دادن این حالت به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Pr(X_1>S)=e^{-\lambda_0 S} \quad (۲۸)$$

حالت دوم($X_1 \le S$): این حالت نیز به این مفهوم است که خروج اجباری واحد قبل از خروج برنامه ریزی شده اتفاق خواهد افتاد. در این حالت برنامه زمان بندی تعمیرات برای این واحد در این ماه باید لغو گردد. بنابراین این واحد در این ماه می تواند به عنوان یک واحد زمان بندی نشده (برای تعمیرات) در نظر گرفته شود و احتمال دسترس پذیری آن به صورت زیر محاسبه گردد:

$$A_{X_1\le S}(t)=A_{DR}(t) \quad (۲۹)$$

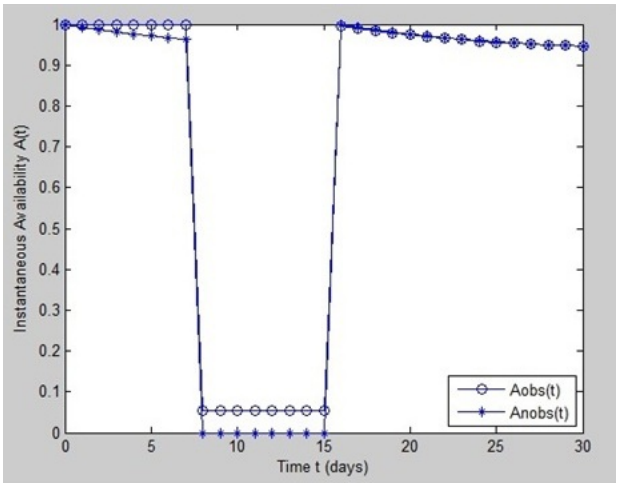
احتمال رخ دادن این حالت نیز به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$Pr(X_1\le S)=1-e^{-\lambda_0 S} \quad (۳۰)$$

بر طبق قانون احتمال کل میزان دسترس پذیری واحد برنامه ریزی شده برای تعمیرات با توجه به مطالب بیان شده به صورت زیر محاسبه می گردد:

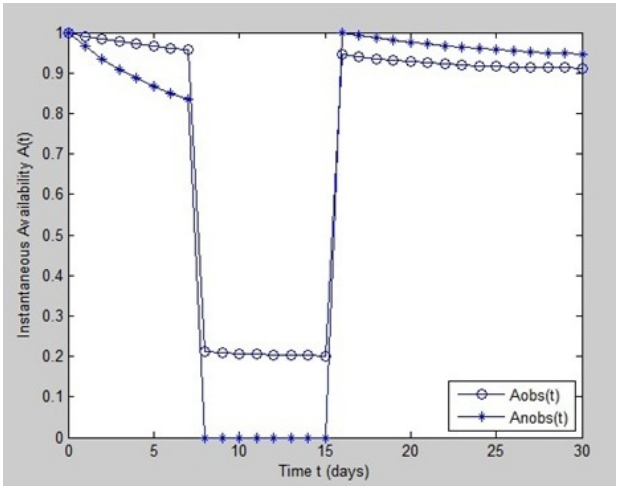
$$A_{OBS}(t)=A_{X_1>S}(t)\times Pr(X_1>S)+ A_{X_1\le S}(t)\times Pr(X_1\le S) \quad (۳۱)$$

که در این رابطه زیر نویس "OBS" مخفف عبارت "Outage Before Scheduling" به معنی خروج اجباری واحد قبل از خروج برنامه ریزی شده آن می باشد. اگر فرض کنیم زمان شروع تعمیرات واحدی بر طبق برنامه روز هشتم ماه باشد و مدت زمان تعمیرات آن نیز ۸ روز باشد، با در نظر گرفتن مقادیر μ = ۳۶,۵ time/year و λ = ۲,۷ time/year برای این واحد، منحنی های دسترس پذیری لحظه‌ای $A_{OBS}(t)$ و $A_{NOBS}(t)$ برای این واحد با سه مقدار متفاوت λ_0 به صورت شکل های زیر می شود:



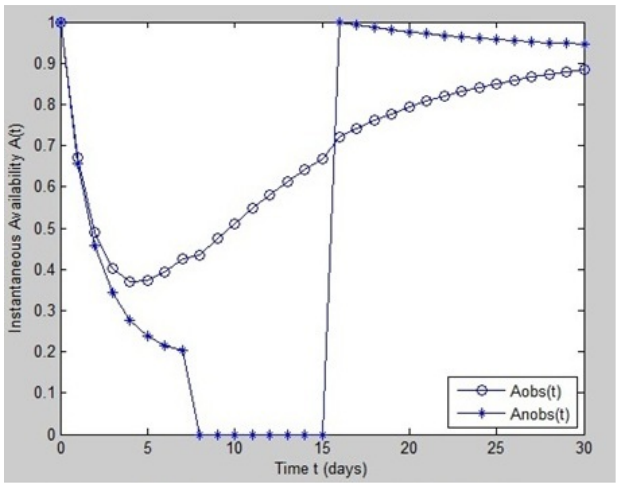
شکل ۵: منحنی‌های $A_{OBS}(t)$و $A_{NOBS}(t)$ هنگامی که

$\lambda=\lambda_0$=۲,۷ time/year



شکل ۶: منحنی‌های $A_{OBS}(t)$و $A_{NOBS}(t)$ هنگامی که

$\lambda_0=5\lambda$= 13.5 time/year



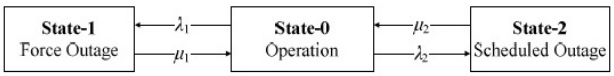
شکل ۷: منحنی‌های $A_{OBS}(t)$و $A_{NOBS}(t)$ هنگامی که

$\lambda_0=60\lambda$= 162 time/year

با توجه به سه شکل فوق می توان دید که در طی زمان $t\in[S,S+D]$ که زمان تعمیرات واحد می باشد، میزان دسترس پذیری لحظه ای واحد مقداری مخالف صفر دارد یعنی $A_{OBS}\ge 0$. که این حقیقت را منعکس می کند که ممکن است خروج اجباری واحد قبل از زمان شروع خروج برنامه ریزی شده روی دهد. علاوه بر این با دقت در سه شکل فوق در می یابیم که هر چقدر λ_0 بزرگتر شود اختلاف دو منحنی $A_{OBS}(t)$ و $A_{NOBS}(t)$ بیشتر می شود که این مطلب نیز بازگوکننده این واقعیت می باشد که هرچقدر نرخ خرابی یک واحد قبل از هرگونه تعمیرات بیشتر باشد، احتمال خروج اجباری واحد نیز قبل از زمان شروع تعمیرات برنامه ریزی شده بیشتر خواهد بود.

برخی از پژوهشگران خروج برنامه ریزی شده واحد را مانند خروج اجباری واحد به عنوان یک فرآیند تصادفی در نظر می گیرند و به همین دلیل از مدل مارکوف ۳ وضعیتی همانگونه که در شکل ۸ نشان داده شده است استفاده می کنند[۱۲].

Copyright © by IREC2016



شکل۸: فضای حالت مدل۳ وضعیتی مارکوف

این مدل مارکوف ۳ وضعیتی برای سیستم هایی مناسب است که دارای چهارچوب زمانی بلند مدتی می باشند. زیرا زمان بندی تعمیرات واحدها هنوز انجام نشده است و بنابراین می تواند به عنوان یک فرآیند تصادفی تلقی گردد. اما هنگامی که درباره برنامه ریزی ماهیانه تعمیرات واحدها صحبت می کنیم چون زمان بندی تعمیرات واحدها انجام شده است پس نمی توان به عنوان یک فرآیند تصادفی تلقی گردد و در واقع یک فرآیند قطعی می باشد.

از طرفی نیز در مدل مارکوف ۳ وضعیتی فوق، خروج برنامه ریزی شده یک واحد ممکن است بارها و بارها اتفاق افتد ویا اصلا اتفاق نیافتد، اما در برنامه ریزی ماهیانه تعمیرات واحدها، خروج برنامه ریزی شده یک واحد حتما اتفاق خواهد افتاد و آنهم دقیقا یک بار. بنابراین مدل مارکوف ۳ وضعیتی در برنامه ریزی ماهیانه تعمیرات واحدها مناسب نمی باشد.

۴-۴ بهینه سازی زمان بندی تعمیرات واحدها بر اساس شاخص ریسک

به دلیل اینکه در پیش بینی بار ماهیانه فقط ماکزیمم بار روزانه در طول یک ماه پیش بینی می گردد، برای مشخص کردن مقدار ریسک انجام شده در کل روز از ریسک لحظه ای با ماکزیمم بار همان روز استفاده می شود. شاخص ریسک در i امین روز به صورت زیر محاسبه می گردد:

$$r(i)=\sum_{k\in NSS} P_k(i)\times\left[D(i)-G_k\right] \qquad (۳۲)$$

در رابطه فوق NSS زیر مجموعه ای از فضای حالت سیستم است که در آن بار سیستم قابل تامین نمی باشد. به طور مثال اگر دو واحد بار سیستم را تامین می کنند و هر یک از این واحدها نیز بتواند بار را به تنهایی تامین کنند، در این صورت NSS برابر حالتی است که دو واحد همزمان از مدار خارج گردند که در این حالت بار سیستم قابل تامین نمی باشد. همچنین $P_k(i)$ نشان دهنده احتمال k امین حالت سیستم در i امین روز می باشد که به طور مثال برابر احتمال خروج دو واحد از مدار به طور همزمان می باشد. D(i) نشان دهنده ماکزیمم بار در i امین روز و G_k ظرفیت کل واحدهای در حال کار در k امین حالت سیستم می باشد.

برنامه زمان بندی تعمیرات واحدها می تواند به وسیله دو معیار زیر بهینه سازی گردد:

۱- اصل ریسک حداقل[1] (MR)

$$Min\ E\left[r(i)\right]=\frac{1}{NT}\sum_{i=1}^{NT} r(i) \qquad (۳۳)$$

که در این رابطه NT تعداد روزها در برنامه زمان بندی تعمیرات واحدها می باشد و E نیز مقدار میانگین پارامتر مورد نظر است.

[1] Minimum Risk

۲- اصل ریسک سطح بندی شده (LRis)

$$Min\ D\left[r(i)\right]=\frac{1}{NT}\sum_{i=1}^{NT}\left(r(i)-E\left[r(i)\right]\right)^2 \qquad (۳۴)$$

در رابطه فوق D مقدار واریانس پارامتر مورد نظر می باشد.

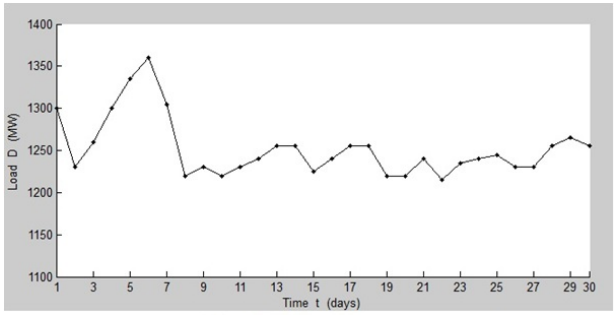
۵- نتایج شبیه سازی

در این بخش یک آزمایش عددی به منظور بررسی مدل های ذکرشده ارائه شده است. به همین منظور دو واحد را در نظر می گیریم که یکی از آنها برای تعمیرات در نظر گرفته شده است(واحدبرنامه ریزی شده). پارامترهای مورد نیاز این دو واحد در جدول۱ نشان داده شده است.

جدول ۱: مشخصات واحدهای تولیدی موردآزمایش

Unit	Capacity (MW)	λ0	λ	μ	Method
1	1400	16.5(3.3*5)	3.3	54.57	Unscheduled
2	600	27(=2.7*10)	2.7	36.5	Scheduled

منحنی بار نیز در طول یک ماه به صورت شکل۹ در نظر گرفته می-شود.



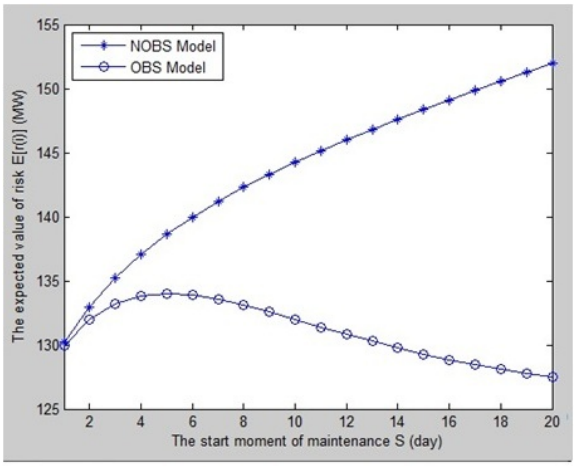
شکل ۹: منحنی بار در طول یک ماه

می‌خواهیم بهترین زمان را برای شروع تعمیرات واحد برنامه ریزی شده پیدا کنیم. فرض می کنیم مدت زمانی که طول می کشد تعمیرات واحد انجام شود برابر ۱۰ روز باشد. به همین دلیل زمان شروع تعمیرات واحد باید بین روز اول ماه و روز بیستم ماه باشد. با توجه به مقدار ظرفیت واحدها و مقدار بار در طول ماه، مشخص است که با خروج واحد دوم، واحد اول قادر است کماکان کلیه سطوح بار را تامین نماید اما با خروج واحد اول هیچ یک از سطوح بار قابل تامین نمی باشد. بنابراین فضای حالت NSS برابراست با خروج واحد اول به تنهایی و خروج همزمان دو واحد.

برای به دست آوردن بهترین زمان شروع تعمیرات واحد، زمان شروع (S) را از ۱ تا۲۰ تغییر می دهیم و مقدار میانگین ریسک انجام شده و واریانس آن را برای ۲۰ حالت مختلف با استفاده از دو مدل OBS و NOBS به دست می آوریم.

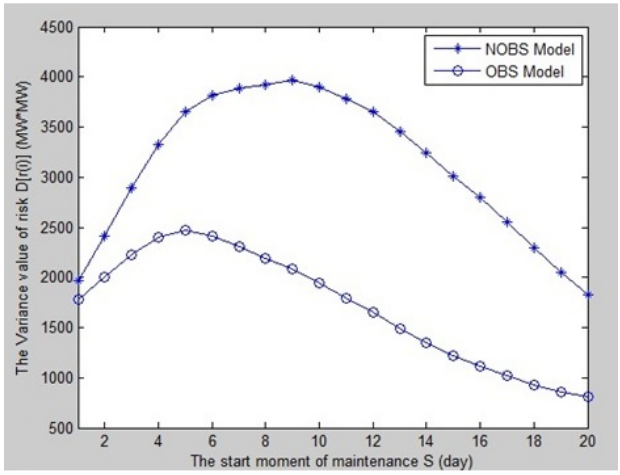
شکل۲ خروجی حالت اول را برای انتخاب زمان شروع تعمیرات با دو مدل OBS و NOBS برای واحد برنامه ریزی شده نشان می دهد(اصل MR).

Copyright © by IREC2016



شکل ۱۰: میانگین ریسک انجام شده به ازای مقادیر مختلف S با دو مدل NOBS و OBS

در شکل ۱۱ نیز مقادیر خروجی حالتی دیگر را برای انتخاب زمان شروع تعمیرات با دو مدل OBS و NOBS برای واحد برنامه ریزی شده نشان می دهد(اصل LRis).



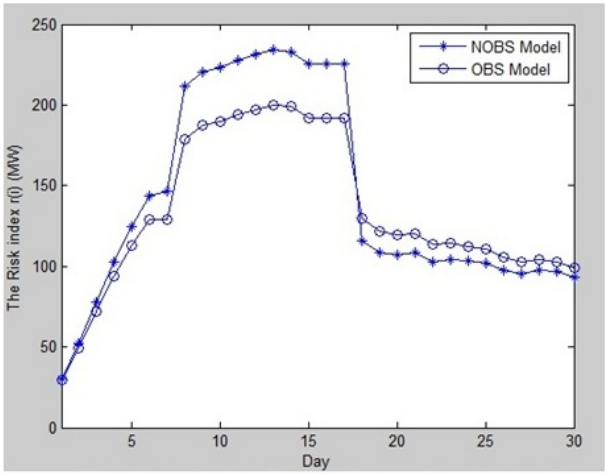
شکل۱۱: واریانس انجام شده به ازای مقادیر مختلف S با دو مدل NOBS و OBS

با توجه به شکل های فوق و با در نظر گرفتن دو معیار مطرح شده (اصلLRis) و (اصل MR) برای انتخاب زمان تعمیرات مشخص است که در روز اول ماه و روز بیستم ماه مقدار میانگین و واریانس ریسک انجام شده کمترین مقدار خود را دارد. نتایج در جدول ۲-۲ خلاصه شده است.

جدول ۲: نتایج به دست آمده از آزمایش عددی

مدل	معیارMinimum Risk		معیارLevelized Risk	
	Min E[r(i)]	روز	Min D[r(i)]	روز
NOBS	130.236	1	1832.5	20
OBS	127.512	20	812.3	20

میزان شاخص ریسک r(i) نیز برای دو مدل ذکر شده با یکدیگر تفاوت می کند. برای مثال میزان شاخص ریسک برای دو مدل OBS و NOBS هنگامی که زمان شروع تعمیرات واحد روز هشتم ماه باشد به صورت شکل۱۲ می باشد.



شکل ۱۲: مقایسه میزان شاخص ریسک دو مدل OBS و NOBS هنگامی که زمان شروع تعمیرات روز هشتم ماه باشد

با توجه به جدول۲ هنگامی که از مدل NOBS برای برنامه ریزی استفاده می کنیم نتایج دو معیار فوق با یکدیگر تفاوت می کند اما هنگامی که از مدل OBS استفاده می کنیم، بهترین زمان شروع تعمیرات واحد با استفاده از معیار LRis و MR نتایج یکسانی می دهد (روز بیستم ماه) که صحت مدل OBS را نشان می دهد. بنابراین نتیجه گیری نهایی از این مورد این است که بهترین زمان برای شروع تعمیرات این واحد، روز بیستم ماه و استفاده از مدل OBS به جای مدل NOBS در زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی می باشد.

۶- نتیجه گیری

در برنامه ریزی های متداول زمان بندی تعمیرات واحدهای تولیدی با استفاده از اصل LRis احتمال خروج اجباری واحدهای تولیدی مقدار ثابتی در نظر گرفته می شد. این برنامه ریزی ها به دلیل عدم تطبیق سه نکته مهم ذکر شده در مقدمه از جمله خروج اجباری واحد قبل از خروج برنامه ریزی شده آن و کاهش نرخ خرابی واحدها بعد از خروج برنامه ریزی شده و خروج اجباری، برنامه ریزی های صحیحی برای تعمیرات واحدها نمی باشند.

برای حل این مشکلات، در ابتدا مفهوم دسترس پذیری لحظه ای واحدها شرح داده شد و در ادامه روش جدیدی بر پایه DRP برای مدلسازی احتمال خروج اجباری واحدهای برنامه ریزی نشده در این گزارش ارائه شد و سپس برای رفع مشکل احتمال خروج اجباری واحدها قبل از خروج برنامه ریزی شده آنها، مدل جدیدی (مدل OBS) برای واحدهای برنامه ریزی شده ارائه شد. در نهایت این مدل ها در یک آزمایش عددی به کار برده شدند و نتایج نشان داد که هنگامی که از مدل NOBS برای زمان بندی تعمیرات واحدها استفاده می کنیم نتایج دو معیار LRis و MR با یکدیگر تفاوت می کند، اما هنگامی که از مدل OBS استفاده می کنیم، بهترین زمان

Copyright © by IREC2016

شروع تعمیرات واحدها با استفاده از دو معیار فوق نتایج یکسانی می دهد که صحت نتایج مدل OBS ارائه شده را نشان می دهد.

بنابراین می توان نتیجه گیری کرد که در برنامه ریزی تعمیرات واحدها، استفاده از روش LRis همراه با مدل های ارائه شده برای آن در این مقاله، منجر به نتایج دقیق تری خواهد شد که دارای قابلیت اطمینان بیشتری نیز می باشد

مراجع

[1] W. X.F. Wang, *Power System Optimal Planning*, Beijing: China Water Power Press, 1990, pp.183.

[2] B.M. Zhang, H.B. Sun, and W.C. Wu, "New Generation of EMS with 3-Dimensional Coordination," *Automation of Electric Power Systems*, vol.31, no.13, pp.1-6, 2007.

[3] J.F. Dapazo, and H.M. Merrill, "Optimal generator maintenance scheduling using integer programming," *IEEE Trans. on PAS*, vol.PAS-94, no.5, pp.1537-1545, 1975.

[4] Z.A. Yamayee, "Maintenance scheduling: description Literature and interface with overall operations scheduling," *IEEE Trans. on PAS*, vol.PAS-101, no.8, pp.2770-2779, 1982.

[5] D. Chattopadhyay, G.C. Contaxis, S.D. Kavatza, and C.D. Vournas, "An interactive package for risk evaluation and maintenance scheduling," *IEEE Trans. on Power System*, vol.4, no.2, pp.389-395, 1989.

[6] L. Varga, Zs. Soos, and J. Zsigmond, "Levelized risk scheduling for preventive maintenance," International Conference on Electric Power Engineering, Budapest, Hungary, 1999, pp.262.

[7] Y.Q. Feng, and M. Ding, "Generator maintenance scheduling in the environment of electricity market," *Automation of Electric Power Systems,* vol.25, no.18, pp.20-23, 2001.

[8] E. Solvaing, L. Lundgaard, B. Gustavsen, A.O. Eggen, and S. Fretheim, "Risk management: cost minimization using condition-based maintenance," 16th CIRED Conference and Exhibition, Amsterdam, Holland, 2001, pp.200.

[9] R. Billiton, and R.N. Allan, *Reliability Evaluation of Engineering Systems: Concepts and Techniques*, New York and London: Plenum Press, 1983, pp.225.

[10] P. Hokstad, "The failure intensity process and the formulation of reliability and maintenance models," *Reliability Engineering and System Safety*, vol.58, no.1, pp.69-82, 1997.

[11] L.Y. Ning, W.C. Wu, and B.M. Zhang, "A study on time-varying power component outage model for operation risk assessment," *Automation of Electric Power Systems*, vol.33, no.16, pp.7-12, 2009.

[12] W. Li, Risk Assessment of Power Systems - Models, Methods, and Applications, USA and Canada: IEEE PRESS and Wiley, 2005, pp.11.

Copyright © by IREC2016

The 4th International Reliability Engineering Conference, IREC2016, 2-4 May 2016,
Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

IREC2016-A-11-109-1

Generation Random Outage Model for Monthly maintenance Scheduling Based on Risk

Yaser Toghani Holari[1], Mojtaba Ahanch[2], Maryam Akhavan Hejazi[3], Mehran Sanjabi[4]

[1]PhD student, University of Kashan
[2]Iran University of Science and Technology
[3]Faculty of Electrical and Computer Engineering, University of Kashan
[4]Islamic Azad University South Tehran Branch

Abstract
Maintenance scheduling of generating Units is one of the most important measurements in power system planning which highly influences the system's security and economic performance. The main goal of this planning, which should be done periodically, is to make sure that generating units work in their normal situations, and by declining their failures, to increase their life duration. Such planning not only brings about economic benefits, but also improves reliability of the system. In this paper, a new generator random outage model for Risk-based monthly maintenance scheduling is presented which tries to meet the mentioned desires. At first, reasons for presenting a time varying model in monthly maintenance scheduling is discussed. Then, a new outage model is proposed which accommodate the scenario in which a force outage happens before maintenance for scheduled unit. Finally, some numerical tests on risk-based monthly generator maintenance scheduling are given that illustrate the accuracy of the suggested outage model.

Keywords: Generator Maintenance Scheduling, Outage Mode, Risk-based Maintenance Scheduling

Copyright © by IREC2016