کاربرد الگوریتم تبرید تدریجی در برنامه ریزی بهینه نت پیشگیرانه

فرهاد کلاهان[۱]، محمد دوست پرست[۲]

گروه مهندسی مکانیک دانشگاه فردوسی مشهد

Kolahan@ferdowsi.um.ac.ir

چکیده

در این تحقیق روش جدیدی برای برنامه ریزی بهینه سیستمهای نگهداری و تعمیرات (نت) پیشگیرانه، با لحاظ کردن محدودیتهای اینگونه سیستمها و با استفاده از یک تابع هدف چند منظوره، طراحی و ارائه شده است. در مدل پیشنهادی، هدف تامین حداقل سطح قابلیت اطمینان سیستم در طی دوره برنامه ریزی، با توجه به منابع دردسترس و با حداقل مجموع هزینه های نت، هزینه های مربوط به خرابی‌های اتفاقی و هزینه ناشی از خواب سیستم می‌باشد. بمنظور افزایش سرعت محاسباتی، از الگوریتم تبرید تدریجی (Simulated Annealing) در حل مدل پیشنهادی استفاده گردیده است. کارایی این روش، در قالب حل مسئله برنامه بهینه نگهداری و تعمیرات برای سیستمی شامل ۱۰ ایستگاه (جزء) نشان داده شده است.

واژهای کلیدی: نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه- قابلیت اطمینان- الگوریتم تبرید تدریجی

۱- مقدمه

امروزه به دلیل هزینه بالای تجهیزات صنعتی و لزوم آماده و در دسترس بودن آنها در مواقع مورد نیاز، نگهداری و تعمیرات (نت) پیشگیرانه از اهمیت خاصی برخوردار شده است. فعالیتهای نت محدود به صنعت خاصی نمی‌شود. تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه در بسیاری از صنایع مانند نیروگاه ها، صنایع هواپیمایی و سیستم های تولیدی، که خرابی های اتفاقی خسارت جانی و مالی فراوانی دارند، یک امر ضروری است.

فعالیت‌های تعمیرات و نگهداری، براساس زمانی که انجام می‌شوند، به دو دسته کلی قابل تقسیم می‌باشند. طبق استاندارد MIL-STD-721B تعمیرات اصلاحی فعالیت‌هایی هستند که پس از بروز خرابی به منظور راه اندازی مجدد سیستم انجام می‌پذیرند[1]. در مقابل، تعمیرات پیشگیرانه شامل فعالیت‌های برنامه‌ریزی شده است که به منظور ارتقاء و حفظ قابلیت اطمینان[۳] در سطح مطلوب در زمان عملکرد سیستم صورت می‌گیرند. تفاوت عمده تعمیرات اصلاحی و پیشگیرانه در زمان انجام هر یک است. تعمیرات اصلاحی پس از وقوع خرابی بصورت موردی و تعمیرات پیشگیرانه قبل از خرابی سیستم و به

---

[۱] استادیار

[۲] دانشجوی کارشناسی ارشد

[3] Reliability

شکل برنامه‌ریزی شده صورت می‌گیرند. تعمیرات پیشگیرانه در کاهش خرابی‌های اتفاقی که موجب تحمیل هزینه‌های اضافی و انحراف از فعالیتهای برنامه‌ریزی شده می‌شوند، نیز تاثیر گذارند.

تعمیرات پیشگیرانه خود به دو دسته تعمیرات پیشگیرانه ساده[1] (1P) و جایگزینی پیشگیرانه[2] (2P) تقسیم می‌شوند. تعمیرات پیشگیرانه ساده عمر مصرف شده سیستم را کم کرده و در نتیجه قابلیت اطمینان سیستم را، برای باقیمانده دوره کاری، ارتقاء می‌دهند. از جمله فعالیت‌های تعمیرات پیشگیرانه می‌توان به روغن‌کاری، تمیزکاری، تنظیم و کالیبره‌کردن، محکم‌کردن و اضافه‌کردن مواد لازم مانند روغن و آب اشاره نمود. جایگزینی پیشگیرانه، با تعویض قطعات مستهلک، قابلیت اطمینان را به سطح اولیه ارتقاء می دهد.

بدلیل تحمیل هزینه‌های مضاعف، خرابی‌های اتفاقی بطور کلی مطلوب نیستند. از طرفی ماهیت تصادفی این نوع خرابی-ها، حذف کامل و قطعی آنها را غیر ممکن می‌نماید. از این رو، در اکثر کاربردها و تحقیقات در زمینه برنامه‌ریزی نت پیشگیرانه، از مفهوم قابلیت اطمینان استفاده می‌شود. قابلیت اطمینان یک سیستم، در مقابل احتمال خرابی، احتمال عملکرد مطلوب آن در شرایط مشخص و در مدت زمان معین است. یک سیستم ممکن است از یک یا چندین جزء (قطعه یا زیر مجموعه) تشکیل یابد. از نقطه نظر تحلیل قابلیت اطمینان، ارتباط بین اجزاء، بر حسب ساختار و عملکرد یک سیستم، می‌تواند بصورت سری، موازی و یا ترکیبی از زیر مجموعه‌های سری - موازی باشد. برای این‌چنین سیستمی در حالت کلی، هدف از برنامه ریزی نت پیشگیرانه، ارائه یک برنامه مدون فعالیت های بهبود دهنده و اصلاحی به منظور کاهش خرابی های پیش بینی نشده و حفظ قابلیت اطمینان مورد نیاز سیستم، با کمترین هزینه، در طول دوره برنامه ریزی می‌باشد.

تحقیقات متعددی درباره برنامه ریزی نت پیشگیرانه، با در نظر گرفتن اهداف و ویژگی‌ها مختلف، صورت گرفته است. از آنجمله برای سیستم‌های سری- موازی، با استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) زمان شروع و پریود تعمیرات را بگونه‌ای بدست آورده شده که ضمن حفظ حداقل دردسترس پذیری[3]، هزینه‌های تعمیرات پیشگیرانه کمینه شوند[2]. در همین راستا، متوسط دسترس‌پذیری نیروگاه‌ها، با در نظر گرفتن بار فصلی آنها، به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده و مسئله تعمیرات غیر ادواری با روش GA حل شده است. در این تحقیق، کل سیستم بصورت یک مجموعه تک جزیی مدلسازی شده و به نقش اجزا مختلف توجهی نگردیده است[3]. درمطالعه دیگری، واحد هزینه عمر[4] را بعنوان معیار برنامه ریزی تعمیرات پیشگیرانه مورد استفاده قرار داده‌اند. در مدل پیشنهادی آنها تنها دو نوع فعالیت نت؛ تعمیر پیشگیرانه و تعویض پیشگیرانه وجود دارد[1].

اگر چه تحقیقات علمی در زمینه نت پیشگیرانه گسترده است، اما در بسیاری از آنها مدلهای ارئه شده جامعیت لازم را نداشته و برخی از پارمترهای مهم در فعالیتهای نت را لحاظ نمی‌کنند. در تحقیق حاضر، سیستم کلی سری-موازی در نظر گرفته می‌شود. همچنین، مدل و روش حل پیشنهادی، حتی‌الامکان جامع و انعطاف‌پذیر طراحی شده‌اند بطوریکه در هر نوع سیستمی قابل انطباق و پیاده‌سازی هستند. ساختار مسئله و روش حل آن در قسمتهای بعدی تشریح می‌شوند.

۲-تعریف مسئله

قابلیت اطمینان، که به صورت احتمال عملکرد صحیح سیستم تا زمان مشخص تعریف می شود، از معیارهای مهم در ارزیابی عملکرد هر نوع سیستمی، اعم از تک‌جزیی یا چندجزیی است. همانطور که اشاره شد، در سیستم های چند جزئی، از نظر قابلیت اطمینان، اجزاء می‌توانند به صورت سری یا موازی و یا در حالت کلی سری- موازی باشند[4]. بمنظور جامعیت بخشیدن به مدل پیشنهادی، در این تحقیق، سیستم در نظر گرفته شده متشکل از چندین عضو است که اجزاء آن می‌توانند

[1] Simple preventive maintenance (1P)
[2] Preventive replacement (2P)
[3] Availability
[4] unit-cost life

ترکیبهای مختلفی از حالتهای سری-موازی داشته باشند. بسته به موقعیت و نقش جزء مزبور در عملکرد سیستم، خرابی آن ممکن است منجر به خرابی کل سیستم یا کاهش قابلیت اطمینان آن گردد. خرابی هر یک از اجزاء از توزیع آماری خاصی پیروی می‌کند. این‌گونه خرابی‌های اتفاقی، بدلیل امکان وارد شدن خسارت‌های زیاد به سیستم، عدم آمادگی پرسنل برای مواجه شدن با خرابی‌ها و به تاخیر افتادن جوابگویی به سفارشات، باعث تحمیل هزینه های اضافی به سیستم می‌گردد و بنابراین مطلوب نیستند. در نتیجه، ارائه برنامه نت پیشگیرانه برای حفظ یک سطح مشخص قابلیت اطمینان در طول دوره برنامه‌ریزی با حداقل هزینه ممکن، ضروری بنظر می‌رسد. هزینه‌های مرتبط با فعالیتهای نت شامل هزینه‌های مستقیم سرویس و تعمیرات و هزینه‌های ناشی از خرابی‌های اتفاقی و خواب سیستم می‌شوند. برنامه نت می‌بایست بگونه‌ای باشد تا این هزینه‌ها کمینه شود. در این زمینه همچنین محدودیت‌های سیستمی از قبیل سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز و تعداد پرسنل و منابع نت، نیز می‌بایست لحاظ شوند. یک برنامه نت جامع می‌بایست، توالی و نوع تعمیرات بهمراه منابع لازم برای هر جزء سیستم را مشخص کند.

برنامه‌ریزی نت به دو روش نت ادواری و غیر ادواری ارائه می شود[7]. بعضی مقالات برنامه تعمیرات پریودی را مورد توجه قرار داده‌اند و فاصله زمانی سرویس‌دهی سیستم ر ا تعیین نموده‌اند[2]. در این روش یک فاصله زمانی ثابت با در نظر گرفتن محدودیت ها و تابع هدف تعیین شده و سیستم با فاصله زمانی ثابت سرویس دهی می‌شود. رویکرد دوم در برنامه ریزی نت، بازرسی‌های غیر ادواری است. در این روش، دوره برنامه‌ریزی را به بازه های زمانی کوچکی تقسیم می‌نمایند. در ابتدای هر بازه، اجزاء سیستم بازرسی شده و نوع تعمیرات هر جزء سیستم مشخص می‌گردد. طول این بازه ها با توجه به مشخصات و محدودیت‌های فنی هر سیستم می‌تواند متفاوت باشد[1][3].

در این تحقیق از برنامه ریزی نت غیر ادواری استفاده می‌شود. همانطور که ذکر شد، در این نوع برنامه‌ریزی در دوره‌های زمانی خاصی اجزاء سیستم بازرسی می‌شوند. براساس نرخ خرابی[1] هر جزء (قطعه، مجموعه و ...)، سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز و مقدار منابع در دست، یکی از اقدامات زیر برای آن صورت می‌گیرد:

الف) بازرسی و حصول اطمینان از صحت اجزا (نوع 1a):

در بازرسی منابعی استفاده نمی شود و تنها عواملی که باعث بروز خرابی در آینده می‌شوند، تا حدی برطرف می‌گردد. این امر بنوبه خود باعث کاهش سرعت خرابی می‌گردد. تمیز کاری، روغنکاری و ..... در این گروه از فعالیت‌های نت جای می‌گیرند.

ب) تعمیر و اصلاح اجزا (نوع 1P):

این نوع فعالیت شامل فعالیت های تعمیراتی می باشد که باعث بهبود وضعیت اجزاء و برطرف کردن خرابی‌ها می‌گردند. این گروه از فعالیت‌ها باعث بهبود سطح قابلیت اطمینان جزء مورد نظر شده ولی آن را به حالت " نو" باز نمی‌گرداند.

ج) جایگزینی اجزا (نوع 2P):

این فعالیت شامل تعمیرات اساسی و جایگزینی قطعات خراب توسط قطعات جدید می‌باشد که وضعیت جزء تعمیر شده را به حالت اولیه (کاملا نو) باز می گرداند.

در این مقاله برای جامعیت دادن به مسئله از سیستم ها موازی-سری مختلط استفاده می شود. در حالت کلی، در هر زیر سیستم عملکرد صحیح k از m عضو برای عملکرد صحیح سیستم لازم است در طول دوره برنامه ریزی، سیستم درN بازه زمانی، با طول مساوی Tp ، مورد بازرسی قرار گرفته و بسته به نرخ خرابی اجزاء و اهمیت آنها در قابلیت اطمینان سیستم، یکی از سه نوع فعالیت نت (1a, 1P, 2P) در مورد آنها انجام می‌گیرد. هر یک از این فعالیتها مستلزم صرف هزینه و منابع مختلفی هستند و در مقابل تاثیر متفاوتی در ارتقاء سطح قابلیت اطمینان جزء مورد نظر (و در نتیجه سیستم) دارند. هدف اصلی تعیین نوع فعالیت نت برای هر جز در هر بازه زمانی بازرسی است بنحوی که، ضمن حفظ حداقل سطح قابلیت اطمینان

[1] Hazard Rate

مورد نیاز، مجموع هزینه های مرتبط با نت کمینه شوند. هزینه‌های در نظر گرفته شده در بهینه سازی برنامه ریزی نت به قرار زیر می‌باشند:

- ***هزینه فعالیتهای نت (هزینه‌های مستقیم):*** این هزینه‌ها شامل هزینه های مربوط به تعمیرات و نگهداری و جایگزینی می‌باشد. به دلیل متفاوت بودن هزینه های انواع تعمیرات، هزینه هر یک (تعمیرات و جایگزینی) جداگانه لحاظ و محاسبه شده است. اگر در برنامه نت برای عنصر iام در بازه nام تعمیرات نوع 1P انجام گیرد، هزینه مربوط به تعمیرات نوع 1P در نظر گرفته می‌شود. چنانچه جزء مزبور تعمیرات نوع 2P داشته باشد، هزینه مربوط به تعمیرات نوع 2P لحاظ می‌گردد. در مدل پیشنهادی، هزینه های ناشی از فعالیتهای نوع 1a ناچیز فرض شده و از آنها صرفنظر می شود. در هر دوره برنامه ریزی، هزینه های مربوط به تعمیرات برنامه ریزی شده برای تمام عناصر در بازه های مختلف محاسبه شده و جمع بسته می شود.
- ***هزینه‌های متاثر از فعالیتهای نت (هزینه‌های غیر مستقیم):*** هزینه مربوط به ریسک ناشی از خرابی‌های اتفاقی و هزینه‌های خواب سیستم به دلیل تعمیرات برنامه ریزی شده، در این گروه قرار می‌گیرند. اگر چه با افزایش قابلیت اطمینان سیستم در هربازه بازرسی ($R_{s,n}$)، احتمال خرابی اتفاقی سیستم ($1-R_{s,n}$) کاهش میابد، ولی این احتمال در هر حالتی وجود خواهد داشت. در چنین مواقعی، به دلیل پیش بینی نشدن تجهیزات و پرسنل مورد نیاز برای تعمیرات، هزینه های بیشتری به سیستم تحمیل می‌شود. در مقابل اگر اجرای تعمیرات برنامه ریزی شده در بازه n باعث خواب سیستم شود، هزینه خواب سیستم به دلیل تعمیرات برنامه ریزی شده، محاسبه می‌گردد. به این ترتیب، هزینه های خواب سیستم، بسته به علت آنها، بطور جداگانه لحاظ شده‌اند.

هزینه‌های فوق برای تمام عناصر در بازه های مختلف محاسبه شده و مجموع آنها به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می-شود. محدودیتهای مدل شامل حداقل قابلیت اطمینان مورد نیاز و منابع در دسترس هستند. تعداد منابع (قطعه یدکی، نیروی انسانی و ....) مورد نیاز برای تعمیرات تمام عناصر در هر بازه n محاسبه می شود که باید کوچکتر از منابع در دسترس باشد. تعمیرات نوع 1P و تعمیرات نوع 2P مقادیر متفاوتی از منابع را مصرف می کنند. برای انجام بازرسی یا تعمیرات نوع 1a منابعی مصرف نمی شود. همچنین قابلیت سیستم در بازه n، با توجه قابلیت اطمینان هر عنصر و با استفاده از روابط قابلیت اطمینان در شبکه های سری-موازی، محاسبه می شود. این مقدار باید از حداقل قابلیت اطمینان مورد نیاز سیستم $R_{s,\min}$ در طی دوره برنامه ریزی بزرگتر باشد. چگونگی ارزیابی قابلیت اطمینان سیستم تحت برنامه ریزی نت در قسمت بعد تشریح شده است.

۳- قابلیت اطمینان در سیستم تحت تعمیرات پیشگیرانه

برای محاسبه قابلیت اطمینان سیستم‌های چند جزیی تحتِ تعمیرات پیشگیرانه، روش های متفاوتی ارائه شده است[4]. در این تحقیق، یکی از بهترین و کاربردی‌ترین این روشها مورد استفاده قرار میگیرد[5]. بطور کلی در نت پیشگیرانه قابلیت اطمینان هر جز از سیستم، که خرابی آن از توزیع وایبل با پارامترهای مقیاس و شکل θ و β پیروی می‌کند، از روابط زیر بدست می‌آید:

$$R_{i,0,n} = R_{i,f,n-1} + m_2(R_{i,0} - R_{i,f,n-1}) \qquad \forall n,i \tag{۱}$$

$$R_{i,n}(t) = R_{i,0,n} e^{-\left[\frac{\left(1/m1\right)\left(t-(n-1)t_p\right)}{\theta}\right]^{\beta}} \qquad \forall n,i \tag{۲}$$

در روابط فوق، $R_{i,0,n}$ قابلیت اطمینان عنصر iام در ابتدای بازه nام، $R_{i,f,n-1}$ قابلیت اطمینان عنصر iام در انتهای بازه (n-1)ام، $R_{i,0}$ قابلیت اطمینان اولیه عنصر iام در شروع برنامه ریزی تعمیرات و $R_{s,n}$ قابلیت اطمینان کل سیستم در بازه nام می‌باشند.

هر یک از فعالیتهای تعمیراتی 1a و 1P و 2P تاثیر متفاوتی بر روی قابلیت اطمینان اجزاء دارند. میزان این تاثیرات توسط ضرایب بهبود m1 و m2 تعیین می‌شوند. ضرایب مزبور مقادیر بین صفر و یک را میتوانند اختیار کنند و با توجه به روابط (۱) و (۲)، افزایش مقادیر آنها تاثیر فعالیت تعمیراتی را بیشتر می‌کند. سرویس نوع 1a حداقل تاثیر را بر روی قابلیت اطمینان داشته و تنها سرعت خرابی را کاهش میدهد. بنابراین مقدار m1 عددی بین صفر و یک و مقدار m2 برابر صفر در نظر گرفته می شود. در تعمیرات نوع 1P مقدار m1 و m2 بین صفر و یک در انتخاب می‌شود. در تعمیرات نوع 2P هر دو مقادیر m1 و m2 برابر یک قرار می‌گیرد و در نتیجه قابلیت اطمینان جزء تحت تعمیر به حالت "نو" بازگردانده خواهد شد. به این ترتیب بعد از محاسبه قابلیت اطمینان اجزا ، توسط روابط قابلیت اطمینان در سیستم های سری-موازی، قابلیت اطمینان کل سیستم محاسبه می‌شود.

۴- روش حل (الگوریتم Simulated Annealing)

مسائل بهینه سازی صنعتی در ابعاد واقعی غالبا پیچیده و بزرگ میشوند. بنابراین روشهای حل سنتی و استاندارد کارایی لازم را نداشته و عموما مستلزم صرف زمانهای محاسباتی طولانی هستند. خوشبختانه، با پیشرفت فن آوری کامپیوتر و ارتقا قابلیت‌های محاسباتی، امروزه استفاده از روشهای ابتکاری و جستجوگرهای هوشمند کاملاً متداول گردیده است.

در این پژوهش از الگوریتم تبرید تدریجی (SA) برای حل بهینه مسئله برنامه ریزی نت استفاده شده است. این روش فرآیند سرد شدن مواد مذاب را شبیه سازی کرده و با ایجاد و ارزیابی جوابهای متوالی بصورت گام به گام بسمت جواب بهینه حرکت میکند[6]. برای هر حرکت، یک همسایگی جدید بصورت تصادفی ایجاد و ارزیابی می‌شود. حرکت به جواب جدید در صورتیکه جواب جدید از جواب فعلی بهتر باشد و یا مقدار تابع احتمال حرکت[1] از یک عدد تصادفی از دامنه [0,1] بزرگتر باشد. انجام خواهد یافت. در غیر این صورت جستجوگر جواب جدید دیگری را تولید و ارزیابی خواهد نمود. این حرکت گام‌به‌گام تا ارضاء شرط توقف الگوریتم (تعداد تکرارها، زمان محاسبات، و ...) ادامه میابد. تابع احتمالی حرکت به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P(pm_i \rightarrow pm_{i+1}) = \exp(-\frac{\Delta C_i}{T_i}) \qquad (۳)$$

$$T_i = \alpha T_{i-1} \qquad 0\langle\alpha\langle 1 \qquad (۴)$$

در فرمولهای فوق از نمادهای زیر استفاده شده است:

pm_i: جواب در حرکت iام

pm_{i+1}: جواب جدید (کاندید) برای حرکت i+1ام

ΔC_i: تغییر مقدار تابع هدف در صورت حرکت به جواب جدید

T_i: درجه حرارت در حرکت iام

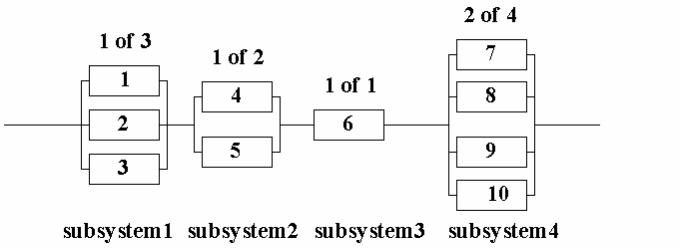
$P(pm_i \rightarrow pm_{i+1})$: احتمال حرکت به جواب جدید در حرکت i+1 ام

[1] Transition probability

در ادامه بمنظور نمایش عملکرد روش پیشنهادی یک مثال عددی ارائه و تحلیل میگردد.

۵- مطالعه موردی و نتایج محاسباتی

برای نشان دادن کارآیی روش ارائه شده، سیستمی مختلط شامل ۱۰ عضو سری- موازی به صورت زیر در نظر گرفته شده است:



شکل ۱: ساختار سیستم سری- موازی کلی

این سیستم شامل ۴ زیر مجموعه است که به صورت سری با یکدیگر در ارتباط هستند. در حالت کلی ارتباط اجزا سیستم از نوع سری- موازی k از m میباشد. به عنوان مثال در زیر مجموعه ۴ برای کارکرد صحیح سیستم باید ۲ تا از ۴ عنصر موازی عمل نمایند در حالیکه در سایر زیر سیستمها عملکرد صحیح یک جز کافی خواهد بود. بدیهی است که هر نوع چیدمان دیگر نیز قابل تحلیل خواهد بود.

برنامه ریزی برای ۱۰ بازه زمانی یکماهه ارائه می‌شود. در ابتدای هر بازه مناسب ترین نوع تعمیرات برای هر جز تعیین شده و اجرا می‌گردد. در صورت وقوع خرابی اتفاقی تعمیرات اصلاحی، با هزینه بیشتر، انجام می‌گیرد. حداقل قابلیت اطمینان مورد نیاز ۹۰٪ در نظر گرفته شده است. اطلاعات مربوط به هزینه های تعمیرات در جدول (۱) و سایر داده‌های مورد نیاز در جدول (۲) داده شده است.

جدول۱: هزینه های انواع تعمیرات

شماره جزء	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
هزینه تعمیرات نوع1P ($)	۴۵	۱۵	۲۵	۳۵	۳۰	۳۹	۳۰	۲۰	۲۵	۱۵

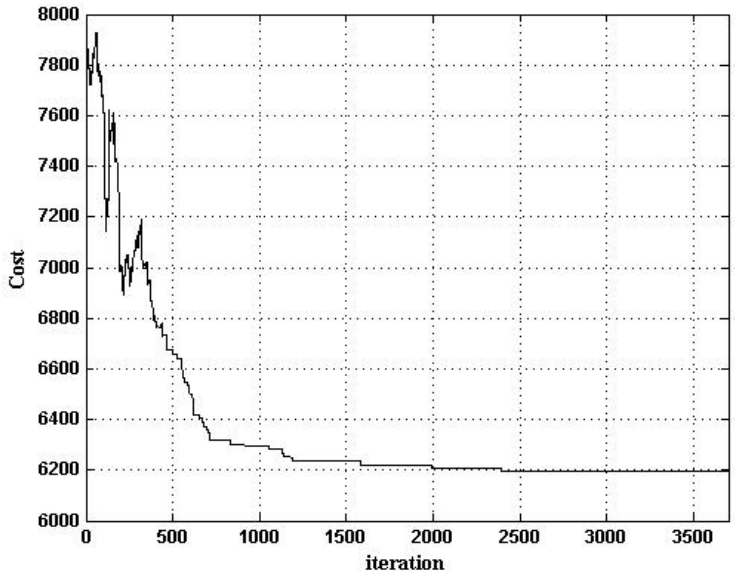
جدول۲: ضریب بهبود، هزینه های خرابی اتفاقی و خواب سیستم

هزینه خرابی اتفاقی ($)	۵۰۰
هزینه خواب ($)	۳۰۰
ضریب بهبود قابلیت اطمینان تعمیرات نوع1a	m1=۱ و m2=۰
ضریب بهبود قابلیت اطمینان تعمیرات نوع1P	m1=۱ و m2= ۰/۵
ضریب بهبود قابلیت اطمینان تعمیرات نوع2P	m1=۱ و m2=۱
حداقل قابلیت اطمینان	٪۹۰

لازم به ذکر است، در تعمیرات نوع 1a منابعی مصرف نمی‌شود. در مقابل هزینه ها و منابع مورد نیاز تعمیرات نوع 2P دوبرابر تعمیرات نوع 1P در نظر گرفته شده‌اند.

نمودار تغییرات مجموع هزینه ها، برای بهترین پارامترهای جستجوگر، در مدت ۳۰ ثانیه زمان محاسباتی، در شکل (۲) نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست، در ابتدای جستجو به دلیل ماهیت اتفاقی الگوریتم، امکان حرکت به جواب

های غیر بهبود دهنده نیز وجود دارد ولی با افزایش تعداد حرکت ها، از خاصیت اتفاقی بودن الگوریتم کاسته شده و الگـوریتم فقط به جواب های بهتر حرکت می کند. روند سریع همگرایی تابع هزینه نشان دهنده قابلیت بالای روش SA در حل مسـئله مورد نظر است.



شکل ۲ : نمودار کاهش تابع هزینه

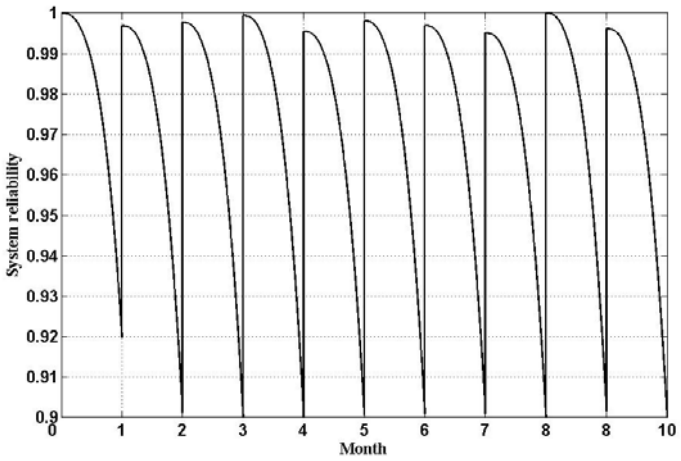
بهترین برنامه نگهداری و تعمیرات برای یک دوره برنامه‌ریزی ۱۰ ماه شامل نوع تعمیرات، منابع مصرفی و سـطح قابلیـت اطمینان سیستم در پایان هر ماه بهمراه مجموع هزینه‌ها در جدول (۳) ارائه گردیده است. بعنوان مثال، طبق جدول مزبـور در بازه زمانی اول به دلیل نو بودن اجزاء نیازی به انجام فعالیتهای تعمیراتی انواع 1P و 2P نیست وتنها بازرسی سیستم (نـوع 1a) کفایت می‌نماید. قابلیت اطمینان سیستم در این دوره در بیشتر از حداقل سطح مورد نیاز باقی مانده اسـت. ولـی در دوره دوم، بمنظور حفظ حداقل قابلیت اطمینـان، بـرای اجـزاء ۳، ۵ و ۹ تعمیـرات نـوع2P و بـرای اجـزاء ۷، ۸ و ۱۰ تعمیـرات نـوع 1P میبایست صورت پذیرد. انجام این تعمیرات، با صرف مجموع ۹ واحد از منابع، قابلیت اطمینان کل سیستم را بـه بـیش از ۹۰٪ خواهد رساند. روند مشابه‌ای در سایر دوره‌های بازرسی وجود دارد.

جدول ۳: برنامه تعمیرات برای یک سیستم ۱۰ عضوی

شماره جزء / شماره بازه (ماه)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	قابلیت اطمینان	منابع مورد نیاز
n=۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	٪۹۱/۹	۰
n=۲	۰	۰	۲	۰	۲	۰	۱	۱	۲	۱	٪۹۰/۱	۹
n=۳	۱	۰	۱	۲	۲	۲	۰	۱	۲	۱	٪۹۰/۰	۱۲
n=۴	۰	۰	۲	۱	۲	۲	۰	۲	۲	۱	٪۹۰/۰	۱۲
n=۵	۲	۲	۱	۰	۲	۲	۲	۱	۲	۱	٪۹۰/۰	۱۵
n=۶	۰	۱	۲	۲	۲	۰	۱	۲	۲	۰	٪۹۰/۱	۱۲
n=۷	۱	۱	۱	۱	۲	۲	۱	۰	۱	۲	٪۹۰/۱	۱۲
n=۸	۱	۰	۰	۱	۲	۲	۰	۲	۲	۲	٪۹۰/۰	۱۲

۱۲	٪۹۰/۱	۰	۲	۲	۰	۲	۲	۰	۰	۲	۲	**n=۹**
۱۲	٪۹۰/۰	۲	۱	۰	۲	۲	۲	۰	۲	۰	۲	**n=۱۰**
۶۱۷۰						**هزینه کل**						

با اجرای برنامه نت ارائه شده در جدول (۳)، قابلیت اطمینان سیستم به صورت شکل (۳) تغییر خواهد کرد. همانطور که در این شکل مشاهده می شود، قابلیت اطمینان سیستم در طی دوره برنامه‌ریزی همواره بالاتر از ۹۰٪ باقی مانده است.



شکل ۳ : تغییرات قابلیت اطمینان در دوره‌های بازرسی

۶- بحث و نتیجه گیری

تعمیرات و نگهداری پیشگیرانه نقش مهمی در کارکرد مطلوب و بدون وقفه سیستمهای صنعتی و خدماتی دارند. با این حال، فعالیتهای نت هزینه بر بوده و مستلزم صرف منابع محدود هستند. ارائه برنامه بهینه نت علاوه بر تامین سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز سیستم و کاهش خرابیهای اتفاقی، در کاهش هزینه های مستقیم و غیر مستقیم نت نیز موثر خواهد بود. در این مقاله مدلی جامع، با در نظر گرفتن پارامترهای مهم از جمله قابلیت اطمینان، برای برنامه ریزی نت یک سیستم چند عضوی ارائه گردید. بمنظور حل سریع مدل ارائه شده از الگوریتم تبرید تدریجی استفاده شد. نتایج محاسباتی نشان میدهد روش مزبور به خوبی قادر به حل مدل در زمانهای کوتاه محاسباتی است. نتایج همچنین مبین این واقعیت است که برای پریودهای ثابت بازرسی، نوع فعالیت نت برای اجزاء مختلف میتواند کاملا متفاوت باشد. طراحی مدل و روش حل پیشنهادی کاملا انعطاف پذیر بوده و با تغییرات جزیی برای هر نوع سیستمی قابل انطباق و پیاده سازی می‌باشند.

منابع

[1] Y. Tsai, Optimizing preventive maintenance for mechanical components using genetic algorithms, Reliability Engineering System Safety 74 (2001) 89-97

[2] R. Bris, New method to minimize the preventive maintenance cost of series-parallel systems. Reliability Engineering and System Safety 82 (2003) 247-255

[3] C. Lapa, Maximization of a nuclear system availability through maintenance scheduling optimization using a genetic algorithm, Nuclear Engineering and Design 196 (2000) 219-231

[4] R. Ramakumar, Reliability Engineering: Fundamentals and Applications, , Prentice Hall, 1993, ISBN 0-13-276759-7

[5] Y. Tsai, A study of availability-centered preventive maintenance for multi-component systems, Reliability Engineering and System Safety 84 (2004) 261-270

[6] P. Laarhoven, Simulated annealing: Theory and applications, Kluwer Academic Publishers, 1998

[7] C. Lapa, Surveillance test policy optimization through genetic algorithms using non periodic intervention frequencies and considering seasonal constraints, Reliability Engineering System Safety 81 (2003) 103-109