فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هفدهم، شماره ۵۵، زمستان ۹۸
صفحات ۱۶۰-۱۳۷

مدلی برای بهینه سازی زمانبندی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برای سیستم‌های چند جزیی با استفاده از الگوریتم ژنتیک

آرمان ساجدی نژاد*، میثم لطفی**

تاریخ دریافت: ۹۶/۷/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۱۳

چکیده

در این مقاله یک مدل بهینه زمانبندی نگهداری و تعمیرات (نت) پیشگیرانه غیر ادواری برای سیستم‌های چند جزیی (سری - موازی)، بر مبنای حداکثر قابلیت دسترسی اجزای سیستم (که تعیین بازه بازرسی بهینه را به همراه دارد) ارایه شده است. علاوه بر تامین سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز سیستم و ارضای سایر محدودیت‌های سیستمی (فعالیت‌های نت و منابع در دسترس)، کل هزینه‌های (مستقیم و غیر مستقیم) مرتبط با نت کمینه شده و برخی از فعالیت‌های نت شامل بازرسی و سرویس ساده، تعمیرات پیشگیرانه و تعویض پیشگیرانه برای هر جزء پیشنهاد شده است. از آنجا که مدل پیشنهادی دارای ساختاری پیچیده است، لذا به منظور حل آن از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک (G.A) استفاده و نتایج ارایه گردیده است. در پایان، کارایی و استفاده از این مدل، در قالب یک مطالعه موردی، برای یک سیستم ۱۰ جزیی سری - موازی (نزدیک به واقعیت) نشان داده شده است.

واژگان کلیدی: نت پیشگیرانه، قابلیت دسترسی، قابلیت اطمینان، هزینه، الگوریتم ژنتیک

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* استادیار، پژوهشکده فناوری اطلاعات، پژوهشگاه علوم و فناوری اطلاعات ایران (ایرانداک)، تهران، ایران (نویسنده مسئول). sajedinejad@irandoc.ac.ir

** کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مسجدسلیمان

مقدمه و مرور ادبیات

نگهداری و تعمیرات (نت) مطابق با استاندارد BS13306، فعالیت‌هایی هستند که به منظور دستیابی به سطح مشخصی از کارایی (قابلیت دسترسی، قابلیت اطمینان و ...) با هزینه‌ای قابل قبول انجام می‌شود (British Standard Institute, 2001). فعالیت‌های نت بر اساس زمانی که انجام می‌شوند به دو دسته کلی نت اصلاحی[1] و پیشگیرانه[2] قابل تقسیم هستند. تفاوت عمده نت اصلاحی و پیشگیرانه در زمان انجام هر یک است. نت اصلاحی در آستانه یا پس از وقوع خرابی به صورت موردی و تصادفی به منظور راه اندازی دوباره سیستم انجام شده و نت پیشگیرانه قبل از خرابی سیستم و به شکل برنامه‌ریزی شده به منظور حفظ و ارتقاء قابلیت اطمینان در سطح مطلوب سیستم، صورت می‌گیرد (Wang, 2002). برای توسعه مناسب مدل‌های نت نیاز به درک صحیح و کافی از اهداف و سیاست‌های آن است تا بتوان اهداف را بطور دقیق و شایسته ای کمی نموده و به مقادیر عددی سنجش عملکرد یک سیستم نت تبدیل نمود (Ji, 2002 & Jiang). با توجه به اینکه در این تحقیق در پی یک مدل بهینه زمانبندی نت پیشگیرانه بر مبنای قابلیت دسترسی (که وابسته به زمان بوده)، قابلیت اطمینان (که بایستی بالاتر از حد مورد انتظار بوده) و هزینه برای یک سیستم چند جزیی با تمرکز بر تلفیق دو روش مدلسازی خطی و عدد صحیح می‌باشیم، لذا با تاکید و اولویت موارد فوق، سیاست‌ها و تحقیقات (مدل‌های بهینه سازی) انجام شده در زمینه نت پیشگیرانه خلاصه‌سازی و طبقه بندی شده است.

سیاست نت پیشگیرانه وابسته به زمان متداول ترین و مشهورترین سیاست نت بوده و در این سیاست، یک قطعه همیشه در زمان T و یا در زمان خرابی، هر کدام که زودتر اتفاق بیفتد، تعویض می گردد بطوریکه T یک عدد ثابت است (Hunter, 1960 & Barlow). در سیاست حد خرابی، PM تنها زمانی انجام می گیرد که نرخ خرابی یا دیگر شاخصه‌های قابلیت اطمینان در یک قطعه به سطحی از پیش تعیین شده برسند و خرابی‌های رخ داده در این

1 .Corrective Maintenance

2 .Preventive Maintenance

فاصله با تعمیر رفع می‌گردند. مطالعات دیگری در زمینه این سیاست را می‌توان در تحقیقات (Chun, 1986 & Lie) و (R., 1997 & ,Mona, Zuo) (Wang, & Pham 1996) یافت. در سیاست‌های بهینه نت، غالباً مطالعه رفتار تصادفی سیستم و تعیین سیاست بهینه نت بوسیله معیارهای هزینه نت مانند نرخ هزینه نت و ... و یا معیارهای قابلیت اطمینان مانند دسترس پذیری، MTBF، تکرار خرابی و ... نشان داده می‌شوند (Bahrami Ghagr ,chami, Price & Mathew, 2000). سیاست (برنامه‌ریزی) نت را بر اساس جزئی از سیستم که برای انجام نت انتخاب می شود، به دو دسته نت تک جزئی و چند جزئی میتوان تقسیم نمود (Bris, Chatelet, & Yalaoui, ۲۰۰۳). به غیر از سیاست‌های فوق می‌توان به سیاست‌های نت پیشگیرانه متناوب (Tango, 1978)، PM متوالی (Nakagawa, 1986)، حد تعمیر (Nonant, 1963 & Gardent) و سیاست شمارش تعداد تعمیر و زمان مرجع (Pereira, 2000 & ,Lapa, Mol) نیز اشاره نمود.

به خاطر ماهیت پویا و متغیر نت پیشگیرانه و مبتنی بر پارامتر مستقلی چون زمان، زمینه‌ها و فرصت‌های تحقیقاتی بسیاری در حل مساله برنامه‌ریزی نت پیشگیرانه وجود دارد. تحقیقات انجام شده در زمینه نت پیشگیرانه را می‌توان به مدل‌های بهینه سازی نت پیشگیرانه (با معیارهای متفاوت) و روش‌های حل مدل‌های نت پیشگیرانه تقسیم نمود (Esmaeilian, Jafarnejad, & Jabali, 2012).

مدل‌های بهینه سازی نت پیشگیرانه شامل مدل‌های تخصیص منابع، کنترل موجودی، سیستم پشتیبان تصمیم و سیستم‌های اطلاعاتی و ... نت هستند. در مدل‌های بهینه سازی PM از روش‌های برنامه‌ریزی خطی/غیر خطی، برنامه‌ریزی عدد صحیح، برنامه‌ریزی پویا، تئوری تصمیم، فرآیندهای مارکوفی، شبیه‌سازی و ... استفاده شده است (Guo, Lim, Rodrigues, & YU, ۲۰۰۷).

از روش‌های مدیریت نت با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی نت پیشگیرانه می‌توان به مدلسازی خطی/غیرخطی (Chattopadlyay, 1999)، برنامه‌ریزی عددصحیح/مختلط (Budai, Huisman, & Dekker, 2005)، برنامه‌ریزی پویا (Smith, 1981 & Sheriff)

(Husband, 1982 & ,Bansal, Basker)، تئوری تصمیم (Dekker, 1996)، تصمیم مارکوف (Asgarpoor, 2006 & Chan)، شبیه‌سازی (Rezy, Chelbi, & Xie, 2005) و نهایتا تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (M.C.D.M) (Quan, Greenwood, Liu, & Hu, 2006) اشاره نمود. با توجه به پیچیدگی مسایل نت پیشگیرانه و اندازه آن‌ها، جواب بهینه را نمی توان با استفاده از روش‌های محاسباتی معمول و فعلی به راحتی به دست آورد. به منظور رسیدن به یک جواب نزدیک به بهینه، متدولوژی حل را می‌توان به دو گروه الگوریتم‌های فرا ابتکاری و روش‌های جستجو بر مبنای هوش مصنوعی تقسیم بندی کرد (Esmaeilian, Jafarnejad, & Jabali, 2012). برای مثال می‌توان به تحقیقات (Ahire, Greenwood, Gupta, & Terwilliger, 2000) و (Bris, Chatelet, & Yalaoui, ۲۰۰۳) نیز اشاره کرد.

بیان مساله پژوهش

برای ارزیابی عملکرد تجهیزات و پیش بینی نرخ خرابی‌های آن و همچنین اثرات نت پیشگیرانه و سازماندهی صحیح و موثر آن می‌توان از شاخص‌های کلیدی (عملیاتی) قابلیت دسترسی و قابلیت اطمینان سیستم استفاده نمود (Doostparast, Kolahan, & Doostparast, 2014). جهت ایجاد درک صحیحی از برنامه‌های پیشگیرانه و مراقبت‌های ضروری و بررسی وضعیت فنی در سیستم، بایستی این برنامه‌ها بر پایه نتایج جلوگیری از ایجاد شکست و خرابی بنا شوند. از طرفی انجام فعالیت‌های سه گانه نت (بازرسی (سرویس جزیی)[1]، تعمیر[2] و تعویض[3] (عین نوع قبلی) همه‌ی اجزاء سیستم به طور یکسان، نمی‌تواند باعث به وجود آمدن شرایط صفر درصد خرابی شود (Haj Shirmohamadi, 2011). در ارایه برنامه نت از دو روش نت ادواری و غیر ادواری استفاده می‌شود. در برنامه‌ریزی نت

1 .Minor Service

2 .Repair

3 .Replacement

ادواری، نوع فعالیت نت برای هر جز از سیستم از قبل مشخص است و تنها بازه زمانی سرویس دهی تعیین می‌شود. در این رویکرد بهترین بازه زمانی ثابت برای هر یک از فعالیت‌های نت با توجه به محدودیت‌ها و اهداف مورد نظر تعیین می‌گردد. در سیاست نت غیر ادواری سیستم در بازه‌های زمانی مشخص و ثابت مورد بازرسی قرار می‌گیرد (Lapa C. M., Pereira, A., & Frutuoso, 2003). از منظر دیگر، سیاست (برنامه‌ریزی) نت را براساس جزئی از سیستم که برای انجام نت انتخاب می‌شود، به دو دسته نت تک جزئی و چند جزئی می توان تقسیم نمود (Wang, 2002). در روش برنامه‌ریزی تک جزئی، برنامه نت برای هر جزء سیستم بصورت مستقل ارائه می شود (Hunter, 1960 & Barlow). برای سیستم‌های دارای اجزای مرتبط (از لحاظ عملکردی و ساختاری)، روش‌های نت چند جزئی، کاربرد و دقت بیشتری دارند (Yalaoui, 2003 & ,Bris, Chatelet). یکی از ایراداتی که بر PM سنتی (مبتنی بر زمان ثابت) گرفته می‌شود زاید و هزینه زا بودن فعالیت‌های نت پیشگیرانه است ولی بسیاری از این مدل‌ها دارای نقایص و کاستی‌هایی هستند. در این مقاله جهت ارایه یک مدل بهینه زمانبندی نت پیشگیرانه غیر ادواری برای سیستم‌های چند جزیی، ابتدا حداکثر قابلیت دسترسی اجزای سیستم را مدنظر قرار می‌دهیم که دوره‌های بهینه بازرسی را برای هر جزء تعیین کرده و در ادامه برنامه نت پیشگیرانه را در هر مرحله با توجه به محدودیت‌های سیستم (سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز، مقدار منابع در دسترس و ...) به دست آورده به‌طوریکه کل هزینه‌های نت (پیشگیرانه، اتفاقی و خواب سیستم) کمینه شده و یکی از اقدامات سرویس، تعمیر و تعویض برای اجزاء آن صورت می‌گیرد. یکی از مصادیق نوآوری تحقیق حاضر عبارت از جامعیت لازم مدل و لحاظ برخی از پارامترهای مهم (از جمله قابلیت دسترسی اجزاء، قابلیت اطمینان سیستم و ...) در زمانبندی نت است. همچنین در تحقیق حاضر، مدل ارائه شده در عین جامعیت محتوا و عملیاتی بودن، بسیار ملموس برای متخصصان نت می‌باشد بطوریکه تفسیر متفاوتی را برای هر فرد متخصص نت باقی نمی‌گذارد. در صورتیکه در برخی تحقیق‌های گذشته مدل‌های ارائه شده آنقدر پیچیده و بزرگ هستند که حل آنها در زمان‌های معقول و قابل قبول محاسباتی برای سیستم‌های واقعی مقدور نیست. در تحقیق

پیشنهادی، هدف ارائه مدلی از برنامه ریزی نت پیشگیرانه با در نظر گرفتن هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم نت و سایر ویژگی‌های مهم و عملیاتی یک سیستم واقعی است و در برخی تحقیقات گذشته مانند (Tsai, 2004 & ,Tsai, Wang) فقط هزینه‌های مستقیم نت در نظر گرفته شده و هزینه‌های غیر مستقیم نت مد نظر قرار نگرفته است. مدل و روش حل پیشنهادی، حتی الامکان هوشمندانه و انعطاف پذیر طراحی شده بطوریکه رویکرد هوشمندانه در تابع هدف، محدودیت‌ها و نتایج نموده داشته و برای اغلب سیستم‌های دیگر (حتی غیر از سیستم سری - موازی) قابل انعطاف پذیر و پیاده‌سازی در دنیای واقعی می‌باشد، بطوریکه ایراد خاص و موردی بودن تحقیقات گذشته مانند (Yalaoui, & ,Bris, Chatelet 2003) و (Pereira, 2000 & ,Lapa, Mol) که کاربرد این مدل‌ها را تا حد زیادی محدود می‌نماید را تا حدود زیادی پوشش می‌دهد. از مصادیق نوآوری تحقیق حاضر، بهینه‌سازی صورت گرفته در تحقیق منطبق با جنبه‌های هدف اصلی تحقیق (تعیین زمان بهینه و نوع فعالیت نت پیشگیرانه) بوده و این بهینه‌سازی در دو جنبه مذکور لحاظ شده است که در تحقیقات گذشته مانند (Doostparast, 2014 & ,Doostparast, Kolahan) این جامعیت بصورت همزمان در زمان و نوع فعالیت نت، به چشم نمی خورد. در نظر گرفتن هر سه نوع فعالیت نت (سرویس، تعمیر و تعویض) در مدل برنامه‌ریزی نت پیشگیرانه و تطابق این مورد با دنیای واقعیت در این پژوهش لحاظ شده است. در برخی تحقیقات گذشته مانند (Ji, 2002 & Jiang) از برخی فعالیت‌های نت به دلایل مختلف (مانند شرایط سیستم، هزینه ناچیز و ...) در مدل ارایه شده چشم پوشی شده که خود به نوعی ناقض تطابق با دنیای واقعی است. این پژوهش از لحاظ وابستگی عملکرد اجزا و محدودیت منابع مشترک به درستی و شفافیت هر چه بیشتر انجام شده و شاخص‌های عملکردی مناسبی برای بهینه سازی انتخاب شده است که در برخی تحقیقات گذشته کمرنگ می‌باشد. همچنین ارتباط تنگاتنگ تولید و نت در مدل ارایه شده که اثر خود را هم در تابع هدف و هم در محدودیت‌های مدل نشان می‌دهد لحاظ شده است. با توجه به الگوریتم فراابتکاری به‌کار گرفته شده در حل مدل پیشنهادی، حل آن در زمان معقول و قابل قبول محاسباتی برای سیستم‌های واقعی مقدور بوده

که می‌تواند بسته به نوع نگرش، سطح استفاده از مدل، برای افراد درگیر نت، در نوع خود بسیار پرکاربرد و بی نظیر باشد. ذکر این نکته قابل توجه است که مزیت مدل تحقیق حاضر ناشی از عمق وسعت دید تجربی و واقعی آن و در نظر گرفتن ابعاد گوناگون و درگیر در مسئله زمانبندی نت پیشگیرانه است. لذا چشمگیرترین نوآوری تحقیق حاضر را می‌توان در لزوم نوع نگرش و برخورد با مسئله زمانبندی و برنامه‌ریزی نت به صورت چند بعدی، فراگیر و بسیار نزدیک و منطبق بر دنیای واقعی دانست.

روش شناسی پژوهش

هدفی که از ارائه مدل‌های ریاضی در مباحث نت دنبال می‌شود، بررسی پیامدهای سیاست‌های مختلف نت قبل از اجرای آنها در عمل می‌باشد. این مدل‌سازی ریاضی مستلزم فرض‌هایی مشخص جهت به تصویر کشیدن شرایط سیستم بوده که در ادامه جهت طراحی مدل به ذکر فروض مهم مدل پیشنهادی پرداخته می‌شود:

- این نوع مدل‌ها در صورتی قابل قبولند که هزینه‌های ناشی از ایجاد خرابی به مراتب بیشتر از هزینه‌های مربوط به اجرای نت پیشگیرانه باشد.
- در این مقاله بدلیل انعطاف پذیری و قابلیت تطبیق عملیاتی تر آن با سیستم‌های واقعی از روش برنامه ریزی نت غیر ادواری استفاده می‌شود.
- مجموعه گزینه‌های زمانی فعالیت‌های نت (سرویس، تعمیر و تعویض (عین قبلی)، یک مجموعه متناهی از اعداد صحیح است.
- زمان خرابی و کارکرد اجزای سیستم را با توزیع احتمال (وایبال و ...)، مدل‌سازی و پارامترهای آن را می‌توان از دانش متخصصان استخراج کرد.
- میزان ضرایب بهبود قابلیت اطمینان در اثر فعالیت‌های نت قبل از برنامه ریزی، تعیین شده و در محاسبات لحاظ می شود.

طراحی و ارایه مدل- مرحله اول: بدست آوردن t^*_{ps} (دوره بهینه نت پیشگیرانه) بر مبنای حداکثر قابلیت دسترسی اجزا

یکی از مسائل مهمی که در مبحث نت مطرح است، تعیین مطلوب ترین دوره ی فعالیت‌های نت پیشگیرانه است. از جمله رویکردهایی که در عمل در این خصوص استفاده می‌شود بهره‌گیری از شاخص متوسط زمان بین دو خرابی (MTBF)[1] است (Palarchio, 2003). با عنایت به اینکه، راهبرد نت پیشگیرانه بر پایه زمان استوار بوده و رویکرد پیش بینی زمان عمر مفید (کارکرد و خرابی) اجزای سیستم در واقع در حداکثر کردن شاخص قابلیت دسترسی اجزاء، نمود پیدا می‌کند، لذا می‌توان گفت بهترین شاخص علمی و دقیق کمی جهت برآورد t^*_{ps} در عمل نیز رویکرد پیش بینی زمان عمرمفید (کارکرد و خرابی) اجزاء سیستم، بوده که با نصب و کارکرد سیستم، احتمال شکست اجزاء و رفتار کارکرد و خرابی یک سیستم در طول زمان (بر اساس توزیع احتمالی دوره عمر مفید آنها) تعیین می‌شود (Tsai, Wang, & Tsai, 2004). با توجه به اینکه قابلیت دسترسی یکی از شاخص‌های زمانی در نت محسوب می‌شده لذا در این تحقیق ابتدا حداکثر قابلیت دسترسی اجزای سیستم را با توزیع احتمالی وایبال مد نظر قرار می‌دهیم که برای این منظور دوره‌های بهینه بازرسی را برای هر جزء تعیین و برنامه نت پیشگیرانه را در هر مرحله با توجه به محدودیت‌های سیستم (سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز، مقدار منابع در دسترس و ...) فرض کرده بطوریکه مجموع کل هزینه‌های نت کمینه شود. در ادامه نشان گذاری استفاده شده شرح داده می‌شود:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1 . Mean Time Between Failure

جدول ۱. تعریف پارامترهای مرحله اول مدل

t_{aij} : میانگین زمان لازم برای PM (تحت پیشگیرانه) جزء j ام زیر سیستم i ام	F(t): تابع توزیع تجمعی احتمال
t_{bij} : میانگین زمان لازم برای CM (نت اصلاحی یا بدون PM)جزء j ام زیر سیستم i ام	h(t: تابع ریسک (شکست)
f : ضریب فاکتور که در واقع نرخ افزایش زمان نت اصلاحی نسبت به نت پیشگیرانه بوده که در این تحقیق f = ۳ (فاکتور ضریب) در نظر گرفته شده است.	R(t) یا $\bar{F}(t)$: تابع قابلیت اطمینان
t_{pij} : فاصله زمانی بین بازرسی‌های پیشگیرانه (سرویس دهی، تعمیر، تعویض)جزء j ام زیر سیستم i ام	n: مرحله (بازه) انجام PM
t^*_{ps} : فاصله زمانی بهینه بین بازرسی‌های پیشگیرانه (سرویس، تعمیر، تعویض) سیستم	N: تعداد بازه‌های برنامه‌ریزی نت
A_{ij} : قابلیت دسترسی جزء j ام زیر سیستم i ام	T: کل دوره برنامه‌ریزی نت پیشگیرانه
MUT_{ij} : میانگین زمان بالا بودن (کارکرد) جزء j ام زیر سیستم i ام	i=I ،۲،۱،...,
MDT_{ij} : میانگین زمان پایین بودن (توقف) جزء j ام زیر سیستم i ام	j=Li ،۲،۱،...
f(t): تابع چگالی احتمال	n=N ،۲،۱،...

در نتیجه داریم:

$$t_{bij} = f \times t_{aij} \qquad (۱)$$

$$MUT_{ij} = t_{pij} - t_{bij} \int_{0}^{t_{pij}} h_{ij}(t)dt \qquad (۲)$$

$$MDT_{ij} = t_{aij} + t_{bij} \int_{0}^{t_{pij}} h_{ij}(t)dt \qquad (۳)$$

(۴) بر اساس توزیع احتمالی وایبال $f(t) = \frac{\beta}{\theta}\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}}$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \qquad (۵)$$

$$R(t) = \bar{F}(t) = 1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{\theta}\right)^{\beta}} \qquad (۶)$$

$$\frac{\beta_{ij}}{\theta_{ij}})(\frac{t}{\theta_{ij}})^{\beta_{ij}-1})h_{ij}(t) = \frac{f(t)}{\bar{F}(t)} = \qquad (۷)$$

$$A_{ij} = \frac{MUT_{ij}}{MUT_{ij}+MDT_{ij}} \qquad (۸)$$

$$A_{ij} = \frac{t_{pij}-t_{bij}\int_{0}^{t_{pij}} h_{ij}(t)dt}{t_{pij}+t_{aij}} \qquad (۹)$$

$$\frac{dA_{ij}}{dt_{pij}} = 0 \rightarrow (t_{pij}+t_{aij})h(t_{pij}) - \int_{0}^{t_{pij}} h_{ij}(t)dt = \frac{t_{aij}}{t_{bij}} \qquad (۱۰)$$

$$t_{pij} = \{t_{p11}, t_{p12}, \dots, t_{\mathbf{pILI}}\} \qquad (۱۱)$$

$$\rightarrow t^{*}_{ps} = Min\{t_{pij}\} \qquad (۱۲)$$

$$N = [\frac{T}{t^{*}_{ps}}] \qquad (۱۳)$$

طراحی و ارایه مدل- مرحله دوم: بدست آوردن تابع قابلیت اطمینان سیستم($R_{s,n}$) با استفاده از توزیع احتمالی وایبال

قبل از زمانبندی PM، ابتدا باید میزان بهبود حاصل (اثرات) از فعالیت‌های مختلف PM در قابلیت اطمینان سیستم مشخص شود. در این مقاله تابع توزیع وایبال برای نمایش نرخ خرابی اجزاء بکار گرفته شده است. این توزیع (انعطاف پذیر) دارای دو (و در بعضی موارد سه) پارامتر تنظیمی است که با تغییر مقادیر آنها می‌توان بسیاری از توزیع‌های آماری را مدل نمود. در ادامه قابلیت اطمینان هر جزء از سیستم را از معادلات مربوط به توزیع وایبال به دست آورده و (با توجه به اینکه در مطالعه موردی این پژوهش، یک سیستم چند (۱۰) جزیی از نوع سیستم سری - موازی که از پرکاربردترین چیدمان‌های رایج در صنایع مختلف است (شکل ۱)، سپس توسط روابط قابلیت اطمینان در سیستم‌های سری - موازی، قابلیت اطمینان کل سیستم در هر مرحله n محاسبه می‌شود.

در ادامه داریم:

$$R_{ij,0,n} = R_{ij,f,n-1} + m_{2}(R_{ij,0} - R_{ij,f,n-1}) \qquad \forall_{n,i,j} \qquad (۱۴)$$

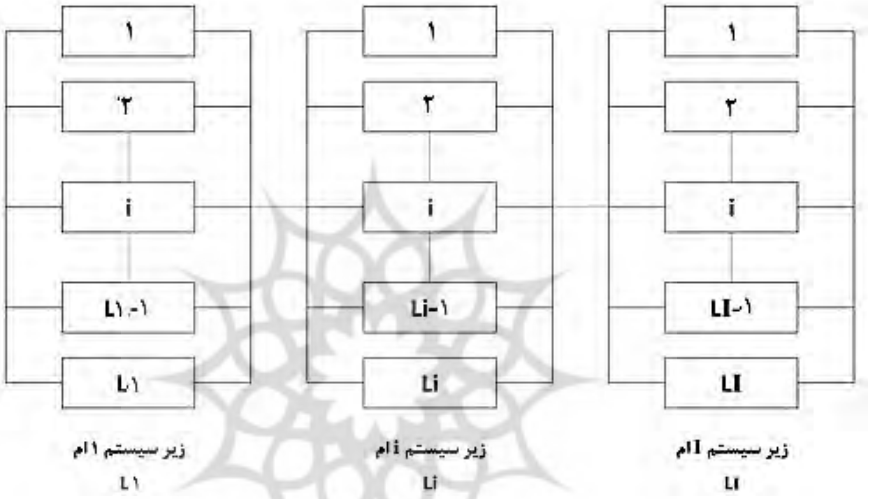
$$(n-1)t_{ps}^{*} \le , R_{ij,n}(t) = R_{ij,0,n}\,Exp(-\left[\frac{(t-(n-1)t_{ps}^{*})}{m_{۱}\theta ij}\right]^{\beta ij}) \forall_{n,i,j} \quad (۱۵)$$

$$t \le nt_{ps}^{*}$$

(۱۶) برای سیستم سری - موازی (مطالعه موردی)

$$R_{s,n} = \prod_{i=1}^{I}[\prod_{j=1}^{Li}\left(۱ - R_{ij,n}(t)\right)]$$

(قابلیت انعطاف پذیری مدل برای هر چیدمان اجزاء سیستم)



شکل ۱. شکل عمومی سیستم سری - موازی

حداقل کردن هزینه کل نت سیستم توسط توابع زیر انجام می‌پذیرد:

$$Min\,Z = \sum_{n=1}^{N}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{Li} X_{ijn}C_{ij}^{۱} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{Li} Y_{ijn}C_{ij}^{۲} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{Li} Z_{ijn}C_{ij}^{۳} + \sum_{n=1}^{N}\left(۱ - R_{s,n}\right)C^{f} + \sum_{n=1}^{N} S_{n}C^{d} \quad (۱۷)$$

:Subject to

$$R_{S,n} \ge R_{s,min} \quad (۱۸)$$

$$\sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{Li} X_{ijn}P_{ij}^{۱} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{Li} Y_{ijn}P_{ij}^{۲} + \sum_{i=1}^{I}\sum_{j=1}^{Li} Z_{ijn}P_{ij}^{۳} \le P \; ; \forall_{n} n=1,2,\ldots,N$$

$$X_{ijn} + Y_{ijn} + Z_{ijn} \leq ۱ \; ; \; \forall_{n,i,j} i=1,2,\ldots,I \quad (۱۹)$$

$$j\ldots,۱،۲=Li \quad n = 1,2,\ldots,N \quad (۲۰)$$

در مدل پیشنهادی تابع هدف شامل پنج مولفه هزینه است که در رابطه (۱۷) نشان داده شده است. بخش اول، دوم و سوم مربوط به فعالیت‌های هزینه بر سرویس، تعمیر و تعویض (که متفاوت بوده و جداگانه لحاظ شده) می‌باشد. مولفه چهارم تابع هدف مربوط به ریسک ناشی از خرابیهای اتفاقی که باعث خواب سیستم می‌شوند، می‌باشد. اگرچه با افزایش قابلیت اطمینان سیستم ($R_{s,n}$)، احتمالی خرابی اتفاقی سیستم ($R_{s,n} - ۱$) کاهش می‌یابد، ولی این احتمال در هر حالتی وجود خواهد داشت و به دلیل پیش‌بینی نشدن تجهیزات و پرسنل موردنیاز برای نت، هزینه‌های بیشتری به سیستم تحمیل می‌شود. در مولفه پنجم تابع هدف نیز اگر اجرای نت برنامه‌ریزی شده در بازه n باعث خواب سیستم شود، متغیر S_n مقدار یک اختیار می‌کند (رابطه (۲۱)) و هزینه خواب سیستم به دلیل نت برنامه‌ریزی شده، محاسبه می‌گردد. محدودیت‌های مدل نیز شامل حداقل قابلیت اطمینان موردنیاز و منابع در دسترس برای انجام نت و تخصیص حداکثر یک نوع فعالیت نت در هر بازه زمانی n به هر جزء ij سیستم می‌باشد (روابط (۱۸)، (۱۹) و (۲۰)).

تعریف پارامترهای مرحله سوم مدل در زیر انجام شده است:

X_{ijn} اگر فعالیت نت نوع ۱ (سرویس دهی) روی جزء j ام زیرسیستم i ام شودانجام ۱

در غیر این صورت ۰

Y_{ijn} اگر فعالیت نت نوع ۲ (تعمیر) روی جزء j ام زیرسیستم i ام شودانجام ۱

در غیر این صورت ۰

Z_{ijn} اگر فعالیت نت نوع ۳ (تعویض) روی جزء j ام زیرسیستم i ام شودانجام ۱

در غیر این صورت ۰

$S_n \begin{cases} ۱ & \text{اگر سیستم در بازه } n \text{ ام به دلیل فعالیت‌نت‌های نوع ۲ و ۳ (وتعمیر تعویض) متوقف شود} \\ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$

اگر در هر مرحله n، اگر برای یک (یا بیش از یک) زیر سیستم (i)، شرط روبرو برقرار باشد:(۲۱) $\forall_{n,i,j} i=1,2 \quad I,\ldots,\sum_{j=1}^{L_i}(Y_{ijn}+Z_{ijn})=L_i; \quad j=1,2,\ldots Li$

$n = 1,2,\ldots,N$ مقدار Sn برابر یک می گردد و در غیر اینصورت صفر لحاظ می‌شود.

: $C_{ij}^{۱}$ هزینه فعالیت نت نوع ۱ جزء j ام زیر سیستم i ام

: $C_{ij}^{۲}$ هزینه فعالیت نت نوع ۲ جزء j ام زیر سیستم i ام

: $C_{ij}^{۳}$ هزینه فعالیت نت نوع ۳ جزء j ام زیر سیستم i ام

: C^{f} هزینه ناشی از خرابی‌های اتفاقی سیستم

: C^{d} هزینه ناشی از توقف (خواب) سیستم به دلیل انجام فعالیت‌های نوع ۲ و ۳ نت (تعمیر و تعویض)

: $P_{ij}^{۱}$ مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۱ برای جزء j ام زیر سیستم i ام

: $P_{ij}^{۲}$ مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۲ برای جزء j ام زیر سیستم i ام

: $P_{ij}^{۳}$ مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۳ برای جزء j ام زیر سیستم i ام

: P تعداد کل منابع در دسترس در کل دوره برنامه‌ریزی (N)

: $R_{S,min}$ حداقل قابلیت اطمینان موردنیاز برای کل سیستم در دوره برنامه‌ریزی

روش حل مدل

حل این مدل شامل تصمیم‌گیری در مورد دو مسئله موثر از یکدیگر می باشد: ۱- زمان انجام فعالیت‌های نت پیشگیرانه (لایه داخلی مدل و متاثر از لایه خارجی) و ۲- نوع فعالیت‌های نت پیشگیرانه (لایه خارجی مدل) که عمدتاً با زمان‌های انجام نت، تابع توزیع شکست و ... تعیین

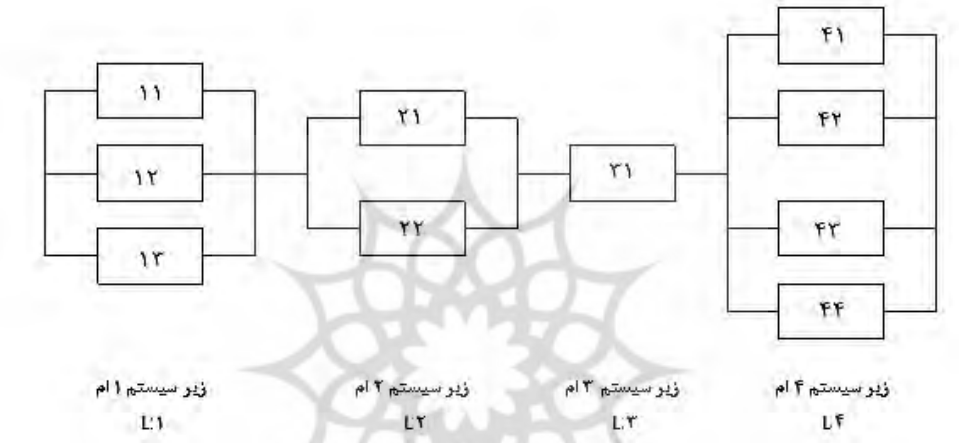
می‌شود. روش‌های حل سنتی و استاندارد در مسایل بهینه سازی صنعتی واقعی، به دلیل تعدد متغیرها و بزرگی فضای جواب‌ها، غالبا کارایی لازم را نداشته و مستلزم صرف زمان‌های محاسباتی طولانی هستند (Tamiz, 2002 & ,Jones, Mirrazavi). از آنجا که مدل ارائه شده دارای ساختاری مشکل و پیچیده بوده و به منظور بیان گویاتر گزینه‌های زمانی مورد نظر، نتایج بدست آمده توسط مدل ارائه شده و به تصویر کشیدن شرایط مسئله و تطابق با واقعیت، در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک(G.A)[1]، بهره برده و به منظور حل سریع این الگوریتم از کد نویسی در نرم افزار Matlab استفاده شده است بطوریکه قابلیت جایگزینی سایر توابع توزیع احتمال (از جمله توزیع نمایی، نرمال و ...) برای توابع (F(t ، f(t)) ، R(t) و h(t) را داراست. الگوریتم ژنتیک با شکل کد گذاری شده پارامترهای مساله سروکار دارد. رشته یا دنباله ای از بیتها که شکل کد گذاری شده جواب ممکن (مناسب یا نامناسب) مساله مورد نظر است را اصطلاحاً ژنوتیپ (کروموزوم) می نامند. مقدار هر بیت، متغیری گسسته است که از یک مجموعه n عضوی انتخاب می شود. هر ژنوتیپ به صورت منحصر به فرد در قلمرو متغیر تصمیم گیری طرح می شود و کدگشایی ژنوتیپ است که به شکل نمایشی معنی می‌دهد (Fleming, 1997 & Zalala). در خلال فاز تولید مثل، به هر شخص عدد تطبیقی (Fitness) بر اساس تابع هدف تعلق می گیرد که برای جهت دادن فرآیند انتخاب به سمت اشخاص مناسب تر استفاده می‌شود. عملگرهای بازترکیبی برای تغییر اطلاعات ژنتیک بین جفت‌ها استفاده می‌شوند و ساده‌ترین آنها عملگر جابجایی تک نقطه‌ای است که محل i به طور تصادفی از دامنه {L-1,۱}، (که L طول رشته زنوتیپ بوده) انتخاب می‌شود. دو شخص جدید با جابجایی اطلاعات موقعیت i+1 تا L بین دو ژنوتیپ والدین ایجاد می‌شوند. عملگر بعدی، عملگر جهش است که با احتمال Pm بر روی رشته‌ها کار می کند. پس از بازترکیب و جهش، رشته‌های اشخاص جمعیت (ژنوتیپ‌ها) کدگشایی شده، تابع هدف ارزیابی می‌شود و اشخاص با توجه به مقدار تطبیق شان برای جفت گیری انتخاب می‌شوند و فرایند به همین ترتیب تا تولید نسل بعد ادامه می‌یابد (Finn, 1998). با توجه به اینکه مساله مورد نظر

1 .Genetic Algorithm

برنامه‌ریزی و طراحی برنامه نت برای بازه طولانی مدت بوده و برای تهیه برنامه نت تنها یکبار اجرای الگوریتم کفایت می‌کند.

یافته‌های تحقیق

برای نشان دادن کارایی مدل و روش حل ارایه شده، یک سیستم سری - موازی (نزدیک به واقعیت و مانند شکل ۲) در نظر گرفته شده است. لازم به تاکید و تذکر است که هر چیدمان دیگری نیز توسط مدل و روش حل ارایه شده قابل تحلیل است.



شکل ۲. شکل سیستم سری - موازی مطالعه موردی

مقادیر پارامترهای ورودی مطالعه موردی به شرح جداول شماره ۲ و ۳ است:

جدول ۲. پارامترهای ورودی مطالعه موردی

علامت	شرح (توضیحات)	مقدار
I	تعداد زیر سیستم‌ها	٤
Li	تعداد اجزای زیر سیستم i ام که در مثال عددی مورد نظر به قرار زیر است:	L ,۲=۱L ,۲=۲L ,۱=۳L٤=٤
L	تعداد کل اجزای سیستم	L=L+۱L+…+۲LI=L+۱L+۲L +۳ L۱۰=٤
i	اندیس تعداد زیر سیستم‌ها	i,...,۱،۲=I

علامت	شرح (توضیحات)	مقدار
j	اندیس اجزای زیر سیستم‌ها	j,...,۱،۲=Li
T	کل دوره برنامه‌ریزی نت پیشگیرانه (PM)	یک سال معادل ۸۷۶۰ ساعت
f	ضریب فاکتور که در واقع نرخ افزایش زمان نت اصلاحی نسبت به نت پیشگیرانه	۳
$R_{s,min}$	حداقل قابلیت اطمینان سیستم	٪۹۰
$R_{ij,0}$	قابلیت اطمینان اولیه جزء j ام زیر سیستم i ام در شروع برنامه‌ریزی نت (در این مثال عددی برای تمامی اجزاء، یکسان و برابر ۱۰۰٪ در نظر گرفته شده است)	٪۱۰۰
C_f	هزینه ناشی از خرابی‌های اتفاقی سیستم	۵۰۰
C_d	هزینه ناشی از توقف (خواب) سیستم به دلیل انجام فعالیت‌های نت (تعمیر و سرویس)	۲۰۰
m1 و m2 برای فعالیت نت نوع ۱ (سرویس)	ضرایب بهبود قابلیت اطمینان در اثر اجرای فعالیت نت نوع ۱ (۱a) : زمانی که X_{ijn} مقدار یک می‌گیرد	m و ۰/۵=۱m۰=۲
m1 و m2 برای فعالیت نت نوع ۲ (تعمیر)	ضرایب بهبود قابلیت اطمینان در اثر اجرای فعالیت نت نوع ۲ (۱b) : زمانی که Y_{ijn} مقدار یک می‌گیرد	m و ۰/۵=۱m۰/۵=۲
m1 و m2 برای فعالیت نت نوع ۳	ضرایب بهبود قابلیت اطمینان در اثر اجرای فعالیت نت نوع ۳ (۲P) : زمانی که Z_{ijn} مقدار یک می‌گیرد	m و ۱=۱m۱=۲

علامت	شرح (توضیحات)	مقدار
(تعویض)		
P	مقدار کل منابع در دسترس	۱۰
$P1_{ij}$	مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۱ برای جزء j ام زیر سیستم i ام	۰/۵
$P2_{ij}$	مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۲ برای جزء j ام زیر سیستم i ام	۱
$P3_{ij}$	مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۳ برای جزء j ام زیر سیستم i ام	۲

جدول ۳. پارامترهای ورودی مطالعه موردی در اجزای سیستم

شماره اجزای سیستم ij	θ_{ij}	β_{ij}	ta_{ij}	tb_{ij}	$P1_{ij}$	$P2_{ij}$	$P3_{ij}$	$C1_{ij}$	$C2_{ij}$	$C3_{ij}$
۱۱	۲۵۰۰	۲/۵	۳۰	۹۰	۰/۱	۱	۲	۳	۴۵	۹۰
۱۲	۲۵۰۰	۲/۵	۴۰	۱۲۰	۰/۱	۱	۲	۱/۳	۲۰	۴۰
۱۳	۲۵۰۰	۲/۵	۴۰	۱۲۰	۰/۱	۱	۲	۱/۳	۲۰	۴۰
۲۱	۲۴۰۰	۲/۶	۶۰	۱۸۰	۰/۱	۱	۲	۲/۵	۳۵	۷۰
۲۲	۲۴۰۰	۲/۶	۶۰	۱۸۰	۰/۱	۱	۲	۲/۳	۳۰	۶۰
۳۱	۳۵۰۰	۲	۸۰	۲۴۰	۰/۱	۱	۲	۲/۸	۴۰	۸۰
۴۱	۳۰۰۰	۲	۴۵	۱۳۵	۰/۱	۱	۲	۲	۳۰	۶۰
۴۲	۳۰۰۰	۲	۵۰	۱۵۰	۰/۱	۱	۲	۱/۳	۲۰	۴۰
۴۳	۳۰۰۰	۲	۵۰	۱۵۰	۰/۱	۱	۲	۱/۸	۲۵	۵۰
۴۴	۳۰۰۰	۲	۴۰	۱۲۰	۰/۱	۱	۲	۱	۱۵	۳۰

خروجی‌های مدل، به شرح جداول زیر (۴ و ۵) می‌باشند :

جدول ٤. تعیین tps* و n در مطالعه موردی

شماره اجزای سیستم ij	۱۱	۱۲	۱۳	۲۱	۲۲	۳۱	۴۱	۴۲	۴۳	۴۴
tp_{ij}	۹۳۱	۹۷۱	۱۰۰۱	۸۵۱	۸۶۷	۸۸۹	۸۵۷	۸۶۴	۸۶۹	۸۸۱
$t_{ps} = *\min \{tp_{ij}\{$	۸۵۱ (بر حسب ساعت)									
$*tps = [N/۸۷۶۰]$	۱۰=[۱۰/۲۹]									

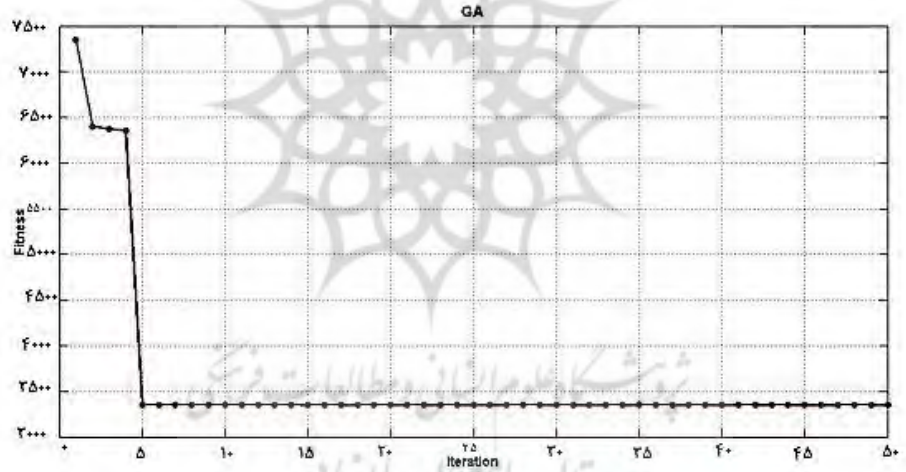
برنامه نت مطالعه موردی، برای یک سال به همراه قابلیت اطمینان سیستم و منابع مورد نیاز در هر دوره بازرسی n در جدول شماره ۴ ارایه شده است. بر این اساس برنامه کارکرد اجزای سیستم که اندیس‌های i و j در روابط به آنها اختصاص یافته است در برنامه زمانی (n) دوره نشان داده شده است:

جدول ۵. برنامه نت پیشگیرانه مطالعه موردی

شماره اجزای سیستم ij	Period (n(									
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱۱	۰	۰	۰	۰	۳	۲	۰	۰	۰	۳
۱۲	۱	۱	۲	۰	۳	۰	۲	۰	۰	۳
۱۳	۰	۱	۰	۰	۰	۰	۳	۰	۰	۲
۲۱	۱	۰	۱	۳	۰	۰	۰	۰	۰	۰
۲۲	۰	۰	۲	۰	۲	۰	۱	۱	۱	۱
۳۱	۲	۰	۲	۰	۰	۰	۱	۲	۳	۰
۴۱	۲	۰	۰	۰	۰	۱	۰	۲	۰	۲
۴۲	۰	۱	۰	۰	۳	۰	۳	۰	۲	۰
۴۳	۱	۰	۰	۱	۰	۳	۰	۰	۰	۰
۴۴	۱	۱	۰	۰	۳	۲	۰	۰	۰	۰

شماره اجزای سیستم ij	Period (n(									
	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
Rs,n	۰/۹۱	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۶	۰/۹۴	۰/۹	۰/۹	۰/۹۷	۰/۹۳	۰/۹۱
$P_n=P_{+1}P_{+2}P_3$	۲/۴	۰/۴	۳/۱	۲/۱	۹	۴/۱	۵/۲	۲/۱	۳/۱	۶/۱

در جدول فوق برای هر یک از اجزای (ij) سیستم در هر مرحله n، اگرX_{ijn}=۱باشد، با عدد ۱ و اگرY_{ijn}=۱باشد، باعدد ۲ و اگرZ_{ijn}=۱ باشد، با عدد ۳ و اگر مقدار برابر ۰ بود هر ۳ متغیر ۰ خواهد بود. از طرف دیگر تمامی Rs,n بزرگتر مساوی Rs,min=0.9 میباشد. در پایان کل منابع مورد نیاز کوچکتر مساوی P=10 (مقدار کل منابع در دسترس) میباشند که به صورت خودکار تمام محدودیتهای مدل ارضا می‌شوند. نمودار همگرایی (تغییرات) تابع هدف بدست آمده از الگوریتم ژنتیک برای مطالعه موردی در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودار همگرایی بدست آمده از الگوریتم ژنتیک برای مطالعه موردی

همانطور که از شکل فوق پیداست، تقریباً پس از ۵ تکرار، تغییری در کیفیت جواب ایجاد نشده و الگوریتم ژنتیک بهترین جواب را با سرعت همگرایی بسیار خوبی بدست آورده و دقیقا به حل دقیق رسیده است. دلیل نوسانات اولیه الگوریتم مذکور، تشکیل و ارزیابی

همسایگی‌ها و تطبیق با شرایط مساله در گرایش به جواب بهینه است. طبق نتایج محاسباتی کل هزینه‌های نت از ۷۳۵۰ واحد در ابتدای برنامه، به ۳۳۴۹ واحد در برنامه نهایی کاهش یافته است.

نتیجه‌گیری

این مقاله در پی بدست آوردن یک مدل بهینه زمانبندی نت بوده که جهت طراحی آن، دوره برنامه‌ریزی کل بر مبنای ماکزیمم کردن قابلیت دسترسی اجزای سیستم و تعیین بازه زمانی بهینه برای هر یک از فعالیت‌های سه‌گانه به تعدادی بازه بازرسی تقسیم شده و در ابتدای هر بازه، با در نظر گرفتن محدودیت‌های سیستمی، فعالیت‌های سه گانه مذکور برای هر جزء پیشنهاد می‌شود. هر یک از این فعالیت‌ها منابع مختلفی مصرف نموده و با عنایت به موقعیت جزء مورد نت، تاثیر متفاوتی بر قابلیت اطمینان سیستم می‌گذارد. هزینه‌های در نظر گرفته شده در تابع هدف این تحقیق، شامل هزینه‌های سرویس ساده، تعمیر، تعویض، خرابی‌های اتفاقی و توقف (خواب) سیستم می‌باشد.این هزینه‌ها که بصورت غیرمستقیم در نت درنظر گرفته شده‌اند در تحقیقات مورد مطالعه مورد توجه قرار نگرفته است. به منظور حل سریع مدل پیشنهادی، از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده شده و نتایج محاسباتی ارایه گردید نکات قابل توجه و مهم در این بررسی به شرح ذیل می‌باشد:

- برای بازه زمانی بهینه بازرسی بدست آمده در مدل (t^*_{ps})، نوع فعالیت نت برای اجزاء مختلف در هر مرحله می‌تواند کاملاً متفاوت باشد.
- نتایج نشان می‌دهد که در نظر گرفتن سه پارامتر سرویس، تعمیر و تعویض به طور همزمان باعث کاهش هزینه نت و افزایش قابلیت دسترسی سیستم می‌شود و این برنامه‌ریزی سودمندتر از حالتی‌ست که تنها پارامتر تعویض و یا فقط دو پارامتر تعمیر و تعویض را در نظر می‌گیرد.
- چگونگی طراحی مدل و روش حل پیشنهادی، کاملا انعطاف پذیربوده وبا تغییرات جزئی برای هرنوع سیستمی قابل انطباق وپیاده سازی می‌باشد.

- معمولاً قابلیت دسترسی یک سیستم به تدریج باعث کاهش زمان نت پیشگیرانه شده و در نتیجه محاسبه پارامتر مهم مذکور در ادوار مختلف، طرح و اطلاعات جامع و دقیقی به دست می‌آید که می‌تواند به عنوان مکمل برنامه نت پیشگیرانه موجود استفاده گردد.
- برنامه نت پیشگیرانه ارایه شده برای یک سیستم واقعی کاملاً مناسب بوده زیرا محتویات مدل برنامه ارایه شده بر اساس خصوصیات فیزیکی و تابع عمر سیستم بوده و در نهایت باعث افزایش عمر سیستم و کاهش هزینه نت می گردد.
- با استفاده از روش‌های جامع سیستمی(پرسنل مجرب، بهینه سازی زمان نت و ...)، می‌توان میانگین زمان تعمیر تجهیزات را تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش داد و در نتیجه قابلیت دسترسی سیستم را افزایش داد.
- نتایج تجزیه و تحلیل‌های قابلیت دسترسی، قابلیت اطمینانی و هزینه ای، اطلاعات بسیار مفیدی را در مورد توانایی واحد نت در مقابله با خرابی‌های ناگهانی و وضعیت تجهیزات نشان می‌دهند.

در این بخش پیشنهادهایی برای مطالعات آتی در راستای تحقیقات این تحقیق آورده شده است که از جمله آن می‌توان به در نظر گرفتن فعالیت‌های چند حالته، احتمالی‌سازی فعالیت‌های مدل و لحاظ نشدن تاثیر برخی از واحدهای مرتبط بخصوص برنامه‌ریزی تولید منابع انسانی و ... و اثر ملاحظات فصلی و زمانی در برنامه نت، در مدلسازی سیستم اشاره نمود. از دیگر مسائلی که می‌تواند کاربردی کردن این مدل و سایر مدل‌های بهینه‌سازی را با چالش مواجه نماید، عدم وجود پارامترهای ورودی و داده‌های مستند و دقیق برای بهینه‌سازی است.

در پایان، یادآور می‌شود، اساسا نت، تنها حوزه نت پیشگیرانه را شامل نمی‌شود و با وجود برنامه‌ریزی‌های اینچنین، مدیران، سرپرستان و کارشناسان و مسئولان نت از نقش پر رنگ‌تری نسبت به سایر پارامترهای دیگر حتی «ماهیت خرابی» برخوردار خواهند بود.

منابع

Ahire, S., Greenwood, G., Gupta ,A & ,.Terwilliger, M. (2000). Workforce-constrained Preventive Maintenance Scheduling Using Evolution Strategies *Decision Science*.۸۵۹-۸۳۳ ،(۴)۳۱ ,

Bahrami Ghagr chami, K., Price, J .W & ,.Mathew, J. (2000). The constant – interval replacement model for preventive Maintenance : *A new perspective. International jonrnal of Quality&Reliability management*.۸۳۸ – ۸۲۲ ,(۸)۱۷ ,

Bansal, R., Basker, B & ,.Husband ,T. (1982). Optimization Methods for Electric Power Systems :*An Overview .The Berkeley Electronic Press*.

Barlow, R. E & ,.Hunter, L. C .(۱۹۶۰) .Optimum preventive maintenance policies .*Operation Research* ,Vol. 8 , 90-100.

Block, H. W., Langberg, N. A & ,.Savits, T. H. (1993). Repair Replacement policies .*Journal of Applied probability*.۲۰۶ – ۱۹۴ ,۱/۳۰

Bris, R., Chatelet, E & ,.Yalaoui, F. (2003). New method to minimize the preventive maintenance cost of series-parallel systems . . *Reliability Engineering and System Safety* ,Vol. 82, 247-255.

British Standard Institute. (2001 .(BS EN 13306 :*Maintenance Terminology* .

Budai, G., Huisman, D & ,.Dekker, R. (2005). Scheduling preventive Railway Maintenance activities .*Journal of the operational research society*.۱۰۴۴ – ۱۰۳۵ ,(۹)۳۷ ,

Chan, G. K & ,.Asgarpoor, S .(۲۰۰۶) .Optimum Maintenance policy with mark.V processes .*Electric power systems research*.۴۵۶ – ۴۵۲ ,۷۶ ,

Chattopadlyay, G. (1999). Modelling and Analysis of warranty costs for second hand products .*The university of Queen sland, bris bane , Australia*.

Dekker, R. (1996). Applications of Maintenance optimization models :A review and Analysis .*Reliability Engineering and system safety*.۲۴۰ – ۲۲۹ ,۵۱ ,

Doostparast, M., Kolahan, F & ,.Doostparast, M. A. (2014).

Reliability-based Approach to Optimize Preventive Maintenance Scheduling for Coherent Systems .*Reliability Engineering and System Safety* ,Vol. 126, 98-106.

Esmaeilian, M., Jafarnejad, A & ,.Jabali, E. (2012). Innovative Techniques for Scheduling Preventive Maintenance .*Journal of Production and Operations Management* ,Vol. 4(1), 1-20.

Finn, F. (1998). Pavement Management System-past, Present and Future .*National Work Shop on Pavement Management in New Orleone, Federal Highway Administration* ,Vol. 62, 1"۳۲-۱٦ ,

Gardent, R & ,.Nonant, L .(۱۹٦۳) .Entretien et renouvellement d'un parc de machines .*Revue Francause de Recherche Operationelle*–٥ ,٧ , .١٩

Guo, Y., Lim, A., Rodrigues, B & ,.YU, S. (2007). Machine scheduling performance with maintenance and failure .*Mathematival and Computer Modeling* ,Volume 45, Issues 9–10.۸۰۸۰ – ۱۰٦۷ ,

H. Wang .(۲۰۰۲) .A survey of maintenance policies of deteriorating systems .*European Journal of Operational Research* ,Vol. 139–٤٦٩ ، .٤٨٩

Haj Shirmohamadi, A. (2011). Total Productive Maintenance (JIPM .(*Arkane Danesh Publication*.

Jiang, R & ,.Ji, P. (2002 .(Age replacement policy : A multi-inttribute value model ,*Reliab. Eng .Syst. Saf*.۳۸۸ – ۳۱۱ , ۷٦ ,.

Jones, D. F., Mirrazavi, S. K & ,.Tamiz, M. (2002). Multi-objective meta-heuristic: An overview of the current state-of-the-art .*European Journal of Operational Research* ,Vol. 137, 1-9.

Lapa, C. F., Mol, A. C & ,.Pereira, C. M. (2000). Maximization of a nuclear system availability through maintenance scheduling optimization using a genetic algorithm .*Nuclear Engineering and Design* ,Vol. 196, 219-231.

Lapa, C. M., Pereira, A., C. M & ,.Frutuoso, P. F. (2003). Surveillance test policy optimization through genetic algorithms using non periodic intervention frequencies and considering seasonal constraints .*Reliability Engineering System Safety* , ,Vol. 81.

Lie, C. H & ,.Chun, Y. H .(۱۹۸٦) .An algorithm for preventive maintenance policy .*IEEE Trans Reliab* ,.Vol. 35, No. 1, 5-71.

Mona, A., Zuo, M. J & ,.R., T .(۱۹۹۷) .Reliability based design systems considering – preventive Maintenance and minimal pair , International journal of Reliability .*Quality and safety engineering* ۱٤, ۷۱۱۹۹۷ – ۵۵.

Nakagawa, T. (1986). Periodic and sequential preventive maintenance policies .*Journal of Applied Probability*.۵٤۲ –۵۳٦ ,(۲)۲۳ ,

Palarchio, G. (2003). Using MTBF to Determine Maintenance Interval Frequency is Wrong .*http://www.mt-online.com/articles/1003viewpoint.cfm*.

Pham, H & ,.Wang, H. (1996 .(Imperfect Maintenance *European journal of aperational research*.٤۳۱ – ٤۲۵ ,۹٤ ,

Quan, G., Greenwood, G. W., Liu ,D & ,.Hu, S. (2006). Searching for multiobjective preventive maintenance schedules: Combining preferences with evolutionary algorithms .*European Journal of Operational Research*.۱۹۸٤–۱۹٦۹ ,۱۷۷ ,

Rezy, N., Chelbi, A & ,.Xie, X .(۲۰۰۵) .Modeling and optimizing a joint inventory control and preventive Maintenance strategy for a randomly failing production unit :analytical and simulation approaches . *International journal of computer integrated manufacturing* ,(۳-۲)۸۸ , ۲۳۵ – ۲۲۵.

Sheriff, Y. S & ,.Smith, M. L .(۱۹۱۱) .Optimal Maintenance models for system subject to failute – A review .*NAVRES Logist* ,Q 28, 47 – 71.

Tango, T. (1978). Extended Block replacement policy with usediters .*Journal of Applied probability* ,vol.15, no.3, 560–572.

Tsai, Y. T., Wang, K. S & ,.Tsai, L. (2004). A study of availability-centered preventive maintenance for multicomponent systems . . *Reliability Engineering and System Safety*.۲۷۰–۲٦۱ ,۸٤ ,

Zalala, A. M & ,.Fleming, P. J .(۱۹۹۷) .Genetic Algorithms in Engineering Systems. London :*The Institution of Electrical Engineers*.