

مدلی برای بهینه سازی زمانبندی نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه برای سیستم‌های چند جزئی 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 جزئی (سری - موازی)، بر مبنای حداکثر قابلیت دسترسی اجزای سیستم (که تعیین بازه بازرسی بهینه را به همراه دارد) ارائه 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 ارائه گردیده است. در پایان، کارایی و استفاده از این مدل، در قالب یک مطالعه موردی، برای یک سیستم ۱۰ جزئی سری - موازی (نزدیک به واقعیت) نشان داده شده است.

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

* 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^۱ و پیشگیرانه^۲ 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 جزئی 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 می‌گردد بطوریکه T یک عدد ثابت است (Hunter, 1960 & Barlow). در سیاست حد خرابی، PM تنها زمانی انجام می‌گیرد 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 می گردند. مطالعات دیگری در زمینه این سیاست را می توان در تحقیقات Wang, & Pham) و (R., 1997 & Mona, Zuo) (Chun, 1986 & Lie) (1996) یافت. در سیاست های 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 می شوند (Bahrami Ghagr) (Mathew, 2000 & chami, Price). سیاست (برنامه ریزی) 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 (Yalaoui & Bris, Chatelet, ۲۰۰۳). به غیر از سیاست های فوق می توان به سیاست های 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، زمینه ها و فرصت های تحقیقاتی بسیاری در حل مساله برنامه ریزی نت پیشگیرانه وجود دارد. تحقیقات انجام شده در زمینه نت پیشگیرانه را می توان به مدل های بهینه سازی نت پیشگیرانه (با معیارهای متفاوت) و روش های حل مدل های نت پیشگیرانه تقسیم نمود (Esmailian,) (Jabali, 2012 & Jafarnejad).

مدل های بهینه سازی نت پیشگیرانه شامل مدل های تخصیص منابع، کنترل موجودی، سیستم پشتیبان تصمیم و سیستم های اطلاعاتی و ... نت هستند. در مدل های بهینه سازی PM از روش های برنامه ریزی خطی/غیر خطی، برنامه ریزی عدد صحیح، برنامه ریزی پویا، تئوری تصمیم، فرآیندهای مارکوفی، شبیه سازی و ... استفاده شده است (Guo, Lim,) (YU & Rodrigues, ۲۰۰۷).

از روش های مدیریت نت با استفاده از مدل های بهینه سازی نت پیشگیرانه می توان به مدلسازی خطی/غیر خطی (Chattopadlyay, 1999)، برنامه ریزی عدد صحیح/مختلط (Budai,) (Dekker, 2005 & Huisman), برنامه ریزی پویا (Smith, 1981 & Sheriff)

(Dekker, 1996)، تئوری تصمیم (Husband, 1982 & Bansal, Basker)، تصمیم مارکوف (Asgarpoor, 2006 & Chan)، شبیه‌سازی (Rezy, Chelbi & Xie, 2005) و نهایتاً 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 نمی‌توان 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 (Jabali, 2012 & Esmailian, Jafarnejad). برای مثال می‌توان به تحقیقات (Terwilliger, 2000 & Ahire, Greenwood, Gupta) و (Bris, Yalaoui & Chatelet, 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 (Kolahan, Doostparast & 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 جزئی)،^۱ تعمیر^۲ و تعویض^۳ (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 می شود. در این رویکرد بهترین بازه زمانی ثابت برای هر یک از فعالیت های نت با توجه به محدودیت ها و اهداف مورد نظر تعیین می گردد. در سیاست نت غیر ادواری سیستم در بازه های زمانی مشخص و ثابت مورد بازرسی قرار می گیرد (Lapa C. M., Pereira, A., Frutuoso, 2003 & Wang, 2002). از منظر دیگر، سیاست (برنامه ریزی) نت را براساس جزئی از سیستم که برای انجام نت انتخاب می شود، به دو دسته نت تک جزئی و چند جزئی می توان تقسیم نمود (Wang, 2002). در روش برنامه ریزی تک جزئی، برنامه نت برای هر جزء سیستم بصورت مستقل ارائه می شود (Hunter, 1960 & Barlow). برای سیستم های دارای اجزای مرتبط (از لحاظ عملکردی و ساختاری)، روش های نت چند جزئی، کاربرد و دقت بیشتری دارند (Yalaoui, 2003 & Bris, Chatelet). یکی از ایراداتی که بر PM سنتی (مبتنی بر زمان ثابت) گرفته می شود زاید و هزینه زا بودن فعالیت های نت پیشگیرانه است ولی بسیاری از این مدل ها دارای نقایص و کاستی هایی هستند. در این مقاله جهت ارائه یک مدل بهینه زمانبندی نت پیشگیرانه غیر ادواری برای سیستم های چند جزئی، ابتدا حداکثر قابلیت دسترسی اجزای سیستم را مدنظر قرار می دهیم که دوره های بهینه بازرسی را برای هر جزء تعیین کرده و در ادامه برنامه نت پیشگیرانه را در هر مرحله با توجه به محدودیت های سیستم (سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز، مقدار منابع در دسترس و ...) به دست آورده به طوریکه کل هزینه های نت (پیشگیرانه، اتفاقی و خواب سیستم) کمینه شده و یکی از اقدامات سرویس، تعمیر و تعویض برای اجزاء آن صورت می گیرد. 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 می باشد بطوریکه تفسیر متفاوتی را برای هر فرد متخصص نت باقی نمی گذارد. در صورتیکه در برخی تحقیق های گذشته مدل های ارائه شده آنقدر پیچیده و بزرگ هستند که حل آنها در زمان های معقول و قابل قبول محاسباتی برای سیستم های 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 نمی‌خورد. 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 ارائه شده چشم پوشی شده که خود به نوعی ناقص 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 بهینه‌سازی انتخاب شده است که در برخی تحقیقات گذشته کمرنگ می‌باشد. همچنین ارتباط تنگاتنگ تولید و نت در مدل ارائه شده که اثر خود را هم در تابع هدف و هم در محدودیت‌های مدل نشان می‌دهد لحاظ شده است. با توجه به الگوریتم فراابتکاری به کار گرفته شده در حل مدل پیشنهادی، حل آن در زمان معقول و قابل قبول محاسباتی برای سیستم‌های واقعی مقدور بوده

که می تواند بسته به نوع نگرش، سطح استفاده از مدل، برای افراد درگیر نت، در نوع خود بسیار پر کاربرد 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 می توان در لزوم نوع نگرش و برخورد با مسئله زمانبندی و برنامه ریزی نت به صورت چند بعدی، فراگیر و بسیار نزدیک و منطبق بر دنیای واقعی دانست.

روش شناسی پژوهش

هدفی که از ارائه مدل های ریاضی در مباحث نت دنبال می شود، بررسی پیامدهای سیاست های مختلف نت قبل از اجرای آنها در عمل می باشد. این مدل سازی ریاضی مستلزم فرض هایی مشخص جهت به تصویر کشیدن شرایط سیستم بوده که در ادامه جهت طراحی مدل به ذکر فروض مهم مدل پیشنهادی پرداخته می شود:

- این نوع مدل ها در صورتی قابل قبولند که هزینه های ناشی از ایجاد خرابی به مراتب بیشتر از هزینه های مربوط به اجرای نت پیشگیرانه باشد.
- در این مقاله بدلیل انعطاف پذیری و قابلیت تطبیق عملیاتی تر آن با سیستم های واقعی از روش برنامه ریزی نت غیر ادواری استفاده می شود.
- مجموعه گزینه های زمانی فعالیت های 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 ...)، مدل سازی و پارامترهای آن را می توان از دانش متخصصان استخراج کرد.
- میزان ضرایب بهبود قابلیت اطمینان در اثر فعالیت های 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 فعالیت های نت پیشگیرانه است. از جمله رویکردهایی که در عمل در این خصوص استفاده می شود بهره گیری از شاخص متوسط زمان بین دو خرابی (MTBF)^۱ 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 می کند، لذا می توان گفت بهترین شاخص علمی و دقیق کمی جهت برآورد t_{ps}^* در عمل نیز رویکرد پیش بینی زمان عمر مفید (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 می شود (Tsai, Wang & Tsai, 2004). با توجه به اینکه قابلیت دسترسی یکی از شاخص های زمانی در نت محسوب می شده لذا در این تحقیق ابتدا حداکثر قابلیت دسترسی اجزای سیستم را با توزیع احتمالی وایبال مد نظر قرار می دهیم که برای این منظور دوره های بهینه بازرسی را برای هر جزء تعیین و برنامه نت پیشگیرانه را در هر مرحله با توجه به محدودیت های سیستم (سطح قابلیت اطمینان مورد نیاز، مقدار منابع در دسترس و ...) فرض کرده بطوریکه مجموع کل هزینه های نت کمینه شود. در ادامه نشان گذاری استفاده شده شرح داده می شود:

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 $f = 3$ (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	$i, \dots, 1, 2 = I$
MDT_{ij} : میانگین زمان پایین بودن (توقف) جزء j ام زیر سیستم i ام	$j, \dots, 1, 2 = Li$
$f(t)$: تابع چگالی احتمال	$n, \dots, 1, 2 = N$

در نتیجه داریم:

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

$$MUT_{ij} = t_{pij} - t_{bij} \int_0^{t_{pij}} h_{ij}(t) dt \quad (۲)$$

$$MDT_{ij} = t_{aij} + t_{bij} \int_0^{t_{pij}} h_{ij}(t) dt \quad (۳)$$

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

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

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

$$\frac{\beta_{ij}}{\theta_{ij}} \left(\frac{t}{\theta_{ij}}\right)^{\beta_{ij}-1} h_{ij}(t) = \frac{f(t)}{F(t)} = \quad (7)$$

$$A_{ij} = \frac{MUT_{ij}}{MUT_{ij} + MDT_{ij}} \quad (8)$$

$$A_{ij} = \frac{t_{pij} - t_{bij} \int_0^{t_{pij}} h_{ij}(t) dt}{t_{pij} + t_{aij}} \quad (9)$$

$$\frac{dA_{ij}}{dt_{pij}} = 0 \rightarrow (t_{pij} + t_{aij})h(t_{pij}) - \int_0^{t_{pij}} h_{ij}(t) dt = \frac{t_{aij}}{t_{bij}} \quad (10)$$

$$t_{pij} = \{t_{p11}, t_{p12}, \dots, t_{p1Li}\} \quad (11)$$

$$\rightarrow t_{ps}^* = \text{Min}\{t_{pij}\} \quad (12)$$

$$N = \left\lceil \frac{T}{t_{ps}^*} \right\rceil \quad (13)$$

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) جزئی 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:

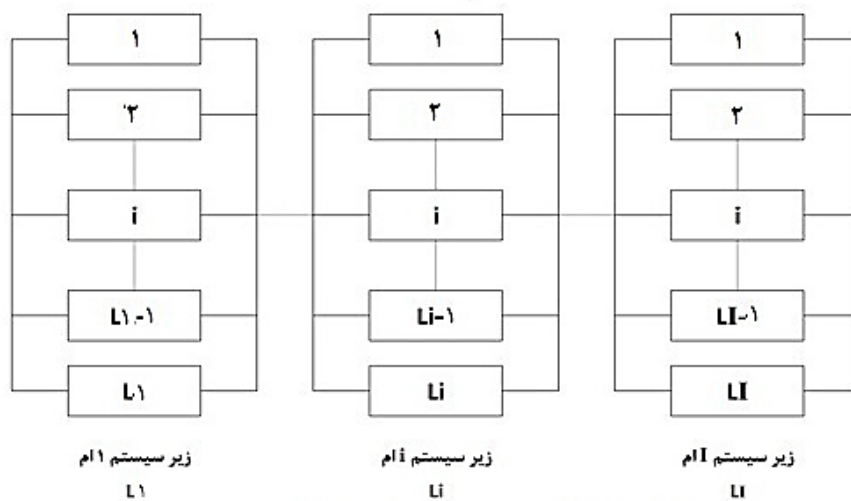
$$R_{ij,0,n} = R_{ij,f,n-1} + m_v (R_{ij,0} - R_{ij,f,n-1}) \quad \forall_{n,i,j} \quad (14)$$

$$(n-1)t_{ps}^* \leq t \leq nt_{ps}^*, R_{ij,n}(t) = R_{ij,0,n} \text{Exp}\left(-\left[\frac{(t-(n-1)t_{ps}^*)}{m_{\theta ij}}\right]^{\beta_{ij}}\right) \forall n,i,j \quad (15)$$

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

$$R_{S,n} = \prod_{i=1}^I \left[\prod_{j=1}^{L_i} \left(1 - R_{ij,n}(t) \right) \right] \quad (16)$$

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 می پذیرد:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z = & \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{L_i} X_{ijn} C_{ij}^1 + \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{L_i} Y_{ijn} C_{ij}^2 + \\ & \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{L_i} Z_{ijn} C_{ij}^3 + \sum_{n=1}^N (1 - R_{S,n}) C^f + \sum_{n=1}^N S_n C^d \quad (17) \end{aligned}$$

:Subject to

$$R_{S,n} \geq R_{S,\min} \quad (18)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{L_i} X_{ijn} P_{ij}^1 + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{L_i} Y_{ijn} P_{ij}^2 + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^{L_i} Z_{ijn} P_{ij}^3 \leq P ; \forall n=1,2,\dots,N$$

$$X_{ijn} + Y_{ijn} + Z_{ijn} \leq 1; \forall n, i, j=1, 2, \dots, I \quad (19)$$

$$j=1, \dots, L_i \quad n = 1, 2, \dots, N \quad (20)$$

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 ($1 - R_{s,n}$) 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:

$$X_{ijn} \begin{cases} 1 & \text{اگر فعالیت نت نوع ۱ (سرویس دهی) روی جزء } j \text{ ام زیرسیستم } i \text{ ام شود انجام} \\ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$Y_{ijn} \begin{cases} 1 & \text{اگر فعالیت نت نوع ۲ (تعمیر) روی جزء } j \text{ ام زیرسیستم } i \text{ ام شود انجام} \\ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

$$Z_{ijn} \begin{cases} 1 & \text{اگر فعالیت نت نوع ۳ (تعویض) روی جزء } j \text{ ام زیرسیستم } i \text{ ام شود انجام} \\ & \text{در غیر این صورت} \end{cases}$$

اگر سیستم در بازه n ام به دلیل فعالیت‌های نوع ۲ و ۳ (و تعمیر تعویض) متوقف شود S_n در غیر این صورت

اگر در هر مرحله n ، اگر برای یک (یا بیش از یک) زیر سیستم (i) ، شرط روبرو برقرار باشد: (۲۱) $I_1, \dots, \sum_{j=1}^{L_i} (Y_{ijn} + Z_{ijn}) = L_i; \quad \forall_{n,i,j} i=1,2$

$n = 1, 2, \dots, N$ مقدار S_n برابر یک می‌گردد و در غیر این صورت صفر لحاظ می‌شود.

C_{ij}^1 : هزینه فعالیت نت نوع ۱ جزء i ام زیر سیستم i ام

C_{ij}^2 : هزینه فعالیت نت نوع ۲ جزء i ام زیر سیستم i ام

C_{ij}^3 : هزینه فعالیت نت نوع ۳ جزء i 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 (تعمیر و تعویض)

P_{ij}^1 : مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۱ برای جزء i ام زیر سیستم i ام

P_{ij}^2 : مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۲ برای جزء i ام زیر سیستم i ام

P_{ij}^3 : مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۳ برای جزء i 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

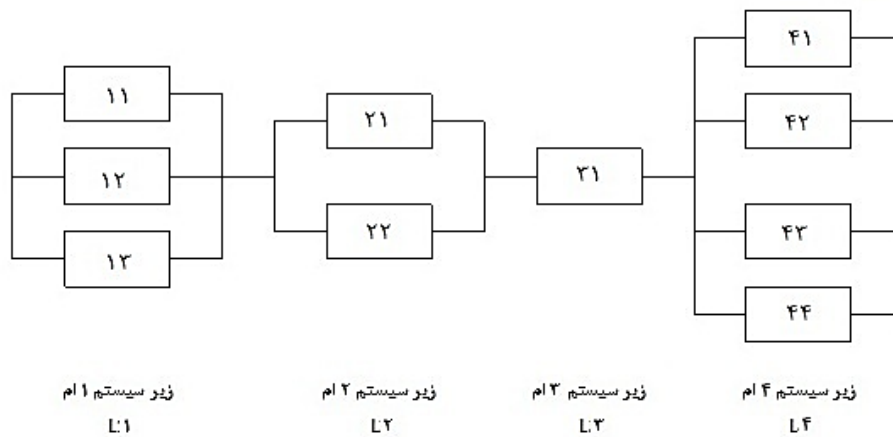
حل این مدل شامل تصمیم‌گیری در مورد دو مسئله موثر از یکدیگر می‌باشد: ۱- زمان انجام فعالیت‌های نت پیشگیرانه (لایه داخلی مدل و متاثر از لایه خارجی) و ۲- نوع فعالیت‌های نت پیشگیرانه (لایه خارجی مدل) که عمدتاً با زمان‌های انجام نت، تابع توزیع شکست و ... تعیین

می‌شود. روش‌های حل سنتی و استاندارد در مسایل بهینه‌سازی صنعتی واقعی، به دلیل تعدد متغیرها و بزرگی فضای جواب‌ها، غالباً کارایی لازم را نداشته و مستلزم صرف زمان‌های محاسباتی طولانی هستند (Jones, Mirrazavi, & Tamiz, 2002). 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.)^۱ 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) می‌نامند. مقدار هر بیت، متغیری گسسته است که از یک مجموعه n عضوی انتخاب می‌شود. هر ژنوتیپ به صورت منحصر به فرد در قلمرو متغیر تصمیم‌گیری طرح می‌شود 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 می‌گیرد که برای جهت دادن فرآیند انتخاب به سمت اشخاص مناسب‌تر 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 $\{1, L-1\}$ ، (که L طول رشته ژنوتیپ 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 P_m بر روی رشته‌ها کار می‌کند. پس از بازترکیب و جهش، رشته‌های اشخاص جمعیت (ژنوتیپ‌ها) کدگشایی شده، تابع هدف ارزیابی می‌شود و اشخاص با توجه به مقدار تطبیق شان برای جفت‌گیری انتخاب می‌شوند و فرآیند به همین ترتیب تا تولید نسل بعد ادامه می‌یابد (Finn, 1998). با توجه به اینکه مساله مورد نظر

برنامه ریزی و طراحی برنامه نت برای بازه طولانی مدت بوده و برای تهیه برنامه نت تنها یکبار اجرای الگوریتم کفایت می کند.

یافته های 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

مقدار	شرح (توضیحات)	علامت
۴	تعداد زیر سیستم ها	I
$L, 2=1L, 2=2L, 1=3L, 4=4L$	تعداد اجزای زیر سیستم i ام که در مثال عددی مورد نظر به قرار زیر است:	L_i
$L=L+1L+\dots+2L, L=L+1L+2L+3L$ $L \neq 0=4$	تعداد کل اجزای سیستم	L
$i, \dots, 1, 2=I$	اندیس تعداد زیر سیستم ها	i

علامت	شرح (توضیحات)	مقدار
j	اندیس اجزای زیر سیستم‌ها	$j=1,2,\dots,L$
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	$m=2$ و $m=1$ و ۰/۵
$m1$ 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	$m=2$ و $m=1$ و ۰/۵
$m1$ 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	$m=2$ و $m=1$ و ۱

مقدار	شرح (توضیحات)	علامت
		(تعویض)
۱۰	مقدار کل منابع در دسترس	P
۰/۵	مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۱ برای جزء λ ام زیر سیستم λ ام	P_{1ij}
۱	مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۲ برای جزء λ ام زیر سیستم λ ام	P_{2ij}
۲	مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت نت نوع ۳ برای جزء λ ام زیر سیستم λ ام	P_{3ij}

جدول ۳. پارامترهای ورودی مطالعه موردی در اجزای سیستم

C_{3ij}	C_{2ij}	C_{1ij}	P_{3ij}	P_{2ij}	P_{1ij}	tb_{ij}	ta_{ij}	β_{ij}	θ_{ij}	شماره اجزای سیستم ij
۹۰	۴۵	۳	۲	۱	۰/۱	۹۰	۳۰	۲/۵	۲۵۰۰	۱۱
۴۰	۲۰	۱/۳	۲	۱	۰/۱	۱۲۰	۴۰	۲/۵	۲۵۰۰	۱۲
۴۰	۲۰	۱/۳	۲	۱	۰/۱	۱۲۰	۴۰	۲/۵	۲۵۰۰	۱۳
۷۰	۳۵	۲/۵	۲	۱	۰/۱	۱۸۰	۶۰	۲/۶	۲۴۰۰	۲۱
۶۰	۳۰	۲/۳	۲	۱	۰/۱	۱۸۰	۶۰	۲/۶	۲۴۰۰	۲۲
۸۰	۴۰	۲/۸	۲	۱	۰/۱	۲۴۰	۸۰	۲	۳۵۰۰	۳۱
۶۰	۳۰	۲	۲	۱	۰/۱	۱۳۵	۴۵	۲	۳۰۰۰	۴۱
۴۰	۲۰	۱/۳	۲	۱	۰/۱	۱۵۰	۵۰	۲	۳۰۰۰	۴۲
۵۰	۲۵	۱/۸	۲	۱	۰/۱	۱۵۰	۵۰	۲	۳۰۰۰	۴۳
۳۰	۱۵	۱	۲	۱	۰/۱	۱۲۰	۴۰	۲	۳۰۰۰	۴۴

خروجی های مدل، به شرح جداول زیر (۴ و ۵) می باشند :

جدول ۴. 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)									
$N / tps^* = []$	۱۰ = [۱۰/۲۹]									

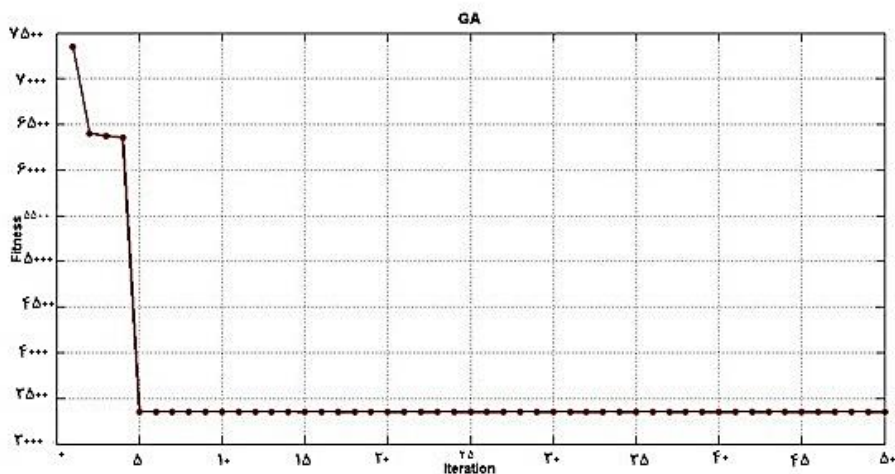
برنامه نت مطالعه موردی، برای یک سال به همراه قابلیت اطمینان سیستم و منابع مورد نیاز در هر دوره بازرسی n در جدول شماره ۴ ارائه شده است. بر این اساس برنامه کارکرد اجزای سیستم که اندیس های i و j در روابط به آنها اختصاص یافته است در برنامه زمانی (n) دوره نشان داده شده است:

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	۲	۳	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	۱	۰	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

Period (n(شماره اجزای
۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	سیستم ij
۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۷	۰/۹	۰/۹	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۹۹	۰/۹۵	۰/۹۱	Rs,n
۶/۱	۳/۱	۲/۱	۵/۲	۴/۱	۹	۲/۱	۳/۱	۰/۴	۲/۴	$P_n=P_{+1}P_{+2}P_{+3}$

در جدول فوق برای هر یک از اجزای (ij) سیستم در هر مرحله n، اگر $X_{ijn}=1$ باشد، با عدد ۱ و اگر $Y_{ijn}=1$ باشد، با عدد ۲ و اگر $Z_{ijn}=1$ 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) میباشد که به صورت خودکار تمام محدودیتهای مدل ارضا می شوند. 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 دقیقاً 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 سه‌گانه 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 در نظر 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 $(ps*t)$ ، 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 حالتی است که تنها پارامتر تعویض و یا فقط دو پارامتر تعمیر و تعویض را در نظر می‌گیرد.
- چگونگی طراحی مدل و روش حل پیشنهادی، کاملاً انعطاف پذیر بوده و با تغییرات جزئی برای هر نوع سیستمی قابل انطباق و پیاده 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 می آید که می تواند 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 روش های جامع سیستمی (پرسنل مجرب، بهینه سازی زمان نت و ...)، می توان میانگین زمان تعمیر تجهیزات را تا حد قابل ملاحظه ای کاهش داد و در نتیجه قابلیت دسترسی سیستم را افزایش داد.
 - نتایج تجزیه و تحلیل های قابلیت دسترسی، قابلیت اطمینانی و هزینه ای، اطلاعات بسیار مفیدی را در مورد توانایی واحد نت در مقابله با خرابی های ناگهانی و وضعیت تجهیزات نشان می دهند.
- در این بخش پیشنهادهایی برای مطالعات آتی در راستای تحقیقات این تحقیق آورده شده است که از جمله آن می توان به در نظر گرفتن فعالیت های چند حالتی، احتمالی سازی فعالیت های مدل و لحاظ نشدن تاثیر برخی از واحدهای مرتبط بخصوص برنامه ریزی تولید منابع انسانی و ... و اثر ملاحظات فصلی و زمانی در برنامه نت، در مدلسازی سیستم اشاره نمود. از دیگر مسائلی که می تواند کاربردی کردن این مدل و سایر مدل های بهینه سازی را با چالش مواجه نماید، عدم وجود پارامترهای ورودی و داده های مستند و دقیق برای بهینه سازی است.
- در پایان، یادآور می شود، اساساً نت، تنها حوزه نت پیشگیرانه را شامل نمی شود و با وجود برنامه ریزی های اینچنینی، مدیران، سرپرستان و کارشناسان و مسئولان نت از نقش پررنگ تری 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*, ۳۱(۴), ۸۳۳-۸۵۹.
- Bahrami Ghagr chami, K., Price, J. W & Mathew, J. (2000). The constant - interval replacement model for preventive Maintenance : A new perspective. *International journal of Quality & Reliability management*, ۱۷(۸), ۸۲۲ - ۸۳۸.
- 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*, ۳۰(۱), ۱۹۴ - ۲۰۶.
- 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*, ۳۷(۹), ۱۰۳۵ - ۱۰۴۴.
- Chan, G. K & Asgarpoor, S. (۲۰۰۶). Optimum Maintenance policy with mark.V processes. *Electric power systems research*, ۷۶, ۴۵۲ - ۴۵۶.
- Chattopadlyay, G. (1999). Modelling and Analysis of warranty costs for second hand products. *The university of Queen sland, brisbane, Australia*.
- Dekker, R. (1996). Applications of Maintenance optimization models :A review and Analysis. *Reliability Engineering and system safety*, ۵۱, ۲۲۹ - ۲۴۰.
- 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 Orleans, Federal Highway Administration* ,Vol. 62, 1.۲۲-۱۶ ,

Gardent, R & ,Nonant, L .(۱۹۶۳) .Entretien et renouvellement d'un parc de machines .*Revue Francaise de Recherche Operationelle*—۵ ,۷ , ۱۹ .

Guo, Y., Lim, A., Rodrigues, B & ,YU, S. (2007). Machine scheduling performance with maintenance and failure .*Mathematical and Computer Modeling* ,Volume 45, Issues 9–10.۱۰۸۰ – ۱۰۶۷ ,

H. Wang .(۲۰۰۲) .A survey of maintenance policies of deteriorating systems .*European Journal of Operational Research* ,Vol. 139–۴۶۹ ، ۴۸۹ .

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

Jiang, R & ,Ji, P. (2002) .(Age replacement policy : A multi-intribute value model ,*Reliab. Eng .Syst. Saf.* ۳۱۸ – ۳۱۱ , ۷۶ , .

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 .(۱۹۸۶) .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* ,۱/۴ , ۷۱۱۹۹۷ – ۵۵

Nakagawa, T. (1986). Periodic and sequential preventive maintenance policies .*Journal of Applied Probability*. ۵۴۲ – ۵۳۶ , (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 operational research*. ۴۳۱ – ۴۲۵ , ۹۴ ,

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*. ۱۹۸۴ – ۱۹۶۹ , 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) ۱۸ , ۲۳۵ – ۲۲۵

Sheriff, Y. S & ,Smith, M. L .(۱۹۸۱) .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 – ۲۶۱ , ۸۴ ,

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