یک سیستم چندعاملی به منظور تعیین برنامه‌های تعویض، تعمیر و بازرسی تجهیزات

عیسی نخعی کمال آبادی[1]، جعفر حیدری[2]

خلاصه:

این مقاله تشریح کننده یک سیستم چندعاملی به منظور تصمیم‌گیری در مورد تعویض، جایگزینی یا تعمیر تجهیزات می‌باشد. این سیستم شامل ۴ جزء مرتبط با یکدیگر است: یک جزء مدیریت‌کننده اطلاعات که در واقع همان سیستم اطلاعات نگهداری و تعمیرات است و سه جزء دیگر، عناصر تصمیم‌گیرنده در این سیستم می‌باشند. اولین جزء تصمیم‌گیرنده، تعیین‌کننده عمر اقتصادی هریک از تجهیزات موجود به منظور جایگزینی آنها با تجهیزات جدید است. دومین جزء تصمیم‌گیرنده، مشخص‌کننده فاصله زمانی بین جایگزین قطعات خاص در تجهیزات است و سومین جزء محاسبه‌کننده فاصله زمانی بهینه بین بازرسی‌هاست؛ سیستم محاسباتی و روابط ریاضی مورد استفاده در این سیستم چندعاملی در این مقاله تشریح می‌گردد.

واژه های کلیدی: عامل هوشمند- نگهداری و تعمیرات- تصمیم‌گیری

مقدمه:

سیستم‌های چندعاملی[3] در تحقیقات اخیر بسیار مورد توجه محققان قرار گرفته‌اند، این سیستم‌ها با استفاده از تعامل بین اجزاء هوشمند و خودمختار خود که عامل نامیده می‌شوند، در جهت هدف کلی سیستم حرکت کرده و تصمیمات مناسب را با توجه به تکنیک‌های یادگیری که در آنها وجود دارد اتخاذ می‌نمایند *(Lhotska and Stepankova, 1998)* , *(Wang, Xia, Tao and Zhang,2002)*. سه خصوصیت مشترک کلیه عامل‌ها عبارتست از خودمختاری، یادگیری و توانایی برقراری ارتباط با محیط و سایر عامل‌ها *(Agent Working Group,2000)* .

استفاده از خصوصیات عامل‌ها به منظور ایجاد سیستمی تصمیم‌گیرنده در مورد نگهداری و تعمیرات از اهداف این مقاله است. ما در این مقاله بیشتر به بررسی روابط و تکنیک‌های ریاضی مورد استفاده در سیستم چندعاملی پیشنهادی به منظور ایجاد یک سیستم نگهداری و تعمیرات اثربخش و کارا خواهیم پرداخت.

---

[1] استادیار بخش مهندسي صنايع، دانشگاه تربيت مدرس و دانشگاه کردستان

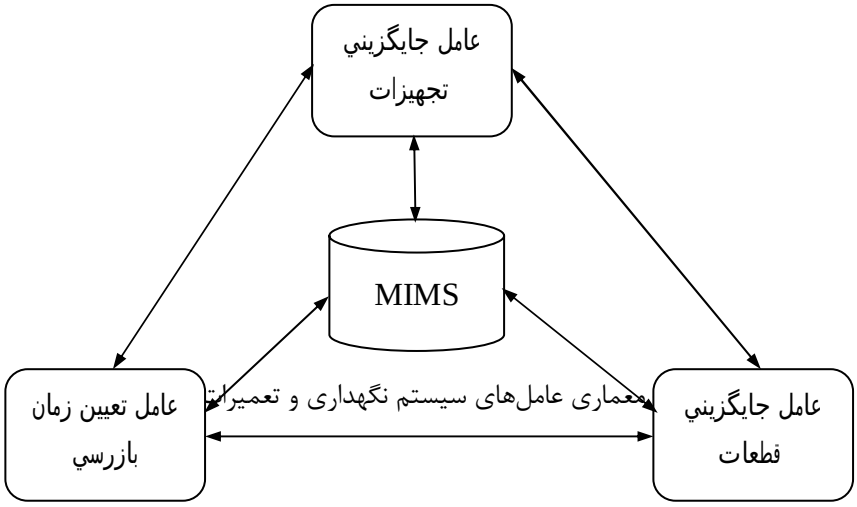
[2] دانشجوي کارشناسي ارشد مهندسي صنايع، دانشگاه تربيت مدرس

[3] *Multi-agent*

معماری سیستم پیشنهادی در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که از شکل نیز مشخص است، سه عامل تصمیم‌گیرنده در این سیستم عبارتند از:

- عامل تصمیم‌گیرنده در مورد جایگزینی تجهیزات
- عامل تصمیم‌گیرنده در مورد جایگزینی قطعات
- عامل تصمیم‌گیرنده در مورد زمان‌های بازرسی

چگونگی ارتباط این عامل‌ها با یکدیگر در شکل ۱ نشان داده شده است.



سیستم اطلاعاتی نگهداری تعمیرات[1] برای مدتهای طولانی به منظور ثبت هزینه‌های نگهداری تعمیرات، استفاده گردیده است. کلیه اطلاعات مربوط به جزئیات کارکرد دستگاه‌ها، برنامه زمانبندی نگهداری و تعمیرات، تعمیرات اضطراری و زمانبندی شده و کلیه اطلاعات مربوط به پرسنل نگهداری و تعمیرات در این سیستم نگهداری شده و به سرعت قابل بازیابی است *(CP-6 ARES reference manual,1985)*. از طرف دیگر ادبیات تحقیق در عملیات با استفاده از روش‌های ریاضی درصدد تعیین سیاست جایگزینی و نگهداری تعمیرات بهینه برآمدند. از این دسته تحقیقات می‌توان به تحقیقات انجام شده توسط(Park-Bette, 1990) و همچنین*(Sasieni, Yaspan and Fricdman,1959)* اشاره نمود. اهمیت ثبت اطلاعات از آنجا مشخص می‌شود که چنانچه اطلاعات به صورت نامناسب تهیه شده باشند، استفاده از آنها به منظور بکارگیری در این مدل‌ها بسیار دشوار خواهد بود. این مشکل نیز توسط سیستم‌های اطلاعات نگهداری تعمیرات پیشرفته که اطلاعات مورد نیاز را به صورتی مناسب ثبت می‌نمایند، حل شده است.

در این مقاله یک سیستم چندعاملی به منظور انجام فرآیندهای تصمیم‌گیری در مورد تعویض، تعمیر و بازرسی تجهیزات و قطعات ارایه شده است. طرح ارایه شده به اندازه‌ای جامع و کلی می‌باشد که قابلیت بکارگیری در سیستم‌های گوناگون را دارا می‌باشد.

این سیستم چندعاملی بر اساس ۴ جزء طراحی شده است، سه عامل تصمیم‌گیرنده و یک واحد مدیریت اطلاعات نگهداری و تعمیرات. واحد جمع‌آوری اطلاعات و داده‌ها که در ارتباط مستقیم با سیستم اطلاعات مدیریت نگهداری و تعمیرات است و سه عامل تصمیم‌گیری. اولین جزء تصمیم‌گیرنده در ارتباط با تعیین عمر اقتصادی تجهیزات است. دومین جزء در ارتباط با

[1] *Maintenance management information system (MIMS)*

تصمیم‌گیری در مورد فاصله زمانی تعویض قطعات تجهیزات می‌باشد در حالی‌که سومین جزء تصمیم‌گیرنده، محاسبه کننده فاصله زمانی بهینه برای بازرسی تجهیزات است. در ادامه فرآیند کلی این ۴ جزء و روابط ریاضی مورد استفاده در آنها تشریح می‌گردد:

فرآیند جمع‌آوری داده

جمع‌آوری داده‌ها و ثبت رویدادهای رخ داده در سیستم نگهداری و تعمیرات با توجه به نوع داده و یا رویداد رخ داده توسط هریک از عامل‌ها انجام می‌گردد. به عنوان مثال اطلاعات مربوط به طول عمر تجهیزات توسط عامل جایگزینی تجهیزات جمع‌آوری شده و در نهایت به منظور ایجاد یک پایگاه داده منسجم و تکمیل سیستم مدیریت اطلاعات نگهداری و تعمیرات به این پایگاه ارسال می‌گردد. این اطلاعات جمع‌آوری شده که حاصل تعامل عامل‌ها با یکدیگر و محیط است به منظور غنی‌سازی پایگاه دانش عامل‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. توجه گردد که اطلاعات ثبت شده در MIMS نه‌تنها توسط عامل‌های ذکر شده بلکه توسط سایر اجزای حتی خارج از سیستم نگهداری و تعمیرات تامین می‌گردند.

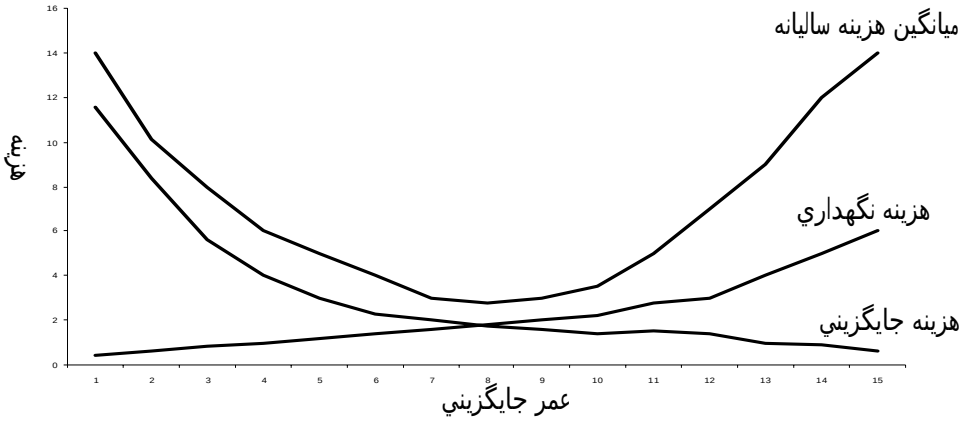
سیستم مدیریت اطلاعات نگهداری و تعمیرات (MIMS) ثبت‌کننده اطلاعات در زمینه‌های فعالیت‌های نت انجام گرفته، پرسنل نگهداری و تعمیرات، موجودی قطعات لازم و سفارشات خرید صورت گرفته در زمینه نگهداری تعمیرات است.

هریک از عامل‌های سیستم چندعاملی پیشنهادی تنها اطلاعات محدودی از کل داده‌های سیستم MIMS را نیاز دارد که اکثرا مربوط به اطلاعات ثبت شده در زمینه تعمیر یا تعویض قطعات و تجهیزات است. خصوصا در مدل ارایه شده اطلاعات مورد نیاز شامل تاریخ، هزینه و ماهیت تعمیرات اضطراری و زمانبندی شده در مورد هریک از تجهیزات می‌باشد. هربار که عامل‌ها اطلاعات لازم را برای خود جمع‌آوری می‌کنند پایگاه دانش آنها غنی سازی شده و همچنین اطلاعات به منظور ثبت به سیستم مدیریت اطلاعات نگهداری و تعمیرات ارسال می‌گردند.

ساختار MIMS یک ساختار استاندارد بوده که با توجه به خصوصیات سیستم به نحوی تعیین می‌گردد که اطلاعات به سرعت قابل بازیابی باشند.

عامل تصمیم‌گیرنده در مورد جایگزینی تجهیزات

برخی از انواع تجهیزات مانند تراک‌ها، قطعات اصلی مانند دیزل‌ها، موتورها و ... می‌بایست متناوبا با تجهیزات و قطعات جدید جایگزین گردند. در اینجا بین هزینه‌های سرمایه‌گذاری بر روی تجهیزات جدید و داشتن هزینه‌های نت پایین با نگه داشتن تجهیزات قدیمی و داشتن هزینه‌های نت بالا می‌بایست با یک تحلیل اقتصادی تعادل برقرار نمود (نمودار ۱)



بهترین طول زمانی برای نگهداری تجهیزات قبل از تعویض آنها را می‌توان به عنوان یک مساله عمر اقتصادی فرموله نمود *(Riggs,1982)*. در حقیقت مدل عمر اقتصادی حداقل‌کننده هزینه خرید و هزینه تجمعی نگهداری و تعمیرات و عملیاتی است که کل این هزینه‌ها بر روی زمان مرکب می‌شوند. نقش عامل تصمیم‌گیرنده استفاده از مدل‌های اقتصادی در تعیین طول عمر اقتصادی تجهیزات و تصمیم‌گیری در مورد جایگزینی آنهاست. این فرآیند با استفاده از روابط مدل عمر اقتصادی قابل انجام است که در ادامه به اختصار روابط ریاضی و مدل مورد استفاده توسط عامل هوشمند پیشنهادی به منظور تعیین عمر اقتصادی هر تجهیز تشریح می‌گردد.

در صورتی که تجهیزات برای یک فاصله زمانی n ساله نگهداری شوند، آنگاه مجموع هزینه‌های خرید منهای ارزش فروش مجدد و هزینه‌های نگهداری و تعمیرات تجمعی که به صورت سالانه مرکب شده است، به صورت زیر می‌باشد:

$$c(n) = p - (1+d)^{-n} s(n) + \sum_{j=1}^{n} w_j (1+d)^{-j}$$

که در آن:

d: نرخ بهره

P: هزینه خرید

s(n): ارزش فروش مجدد پس از n سال

w_j: هزینه نگهداری در سال j

در صورتی‌که هزینه‌های عملیاتی ثابت نباشند آنگاه w_j می‌تواند شامل هزینه‌های عملیاتی در هر سال باشد.

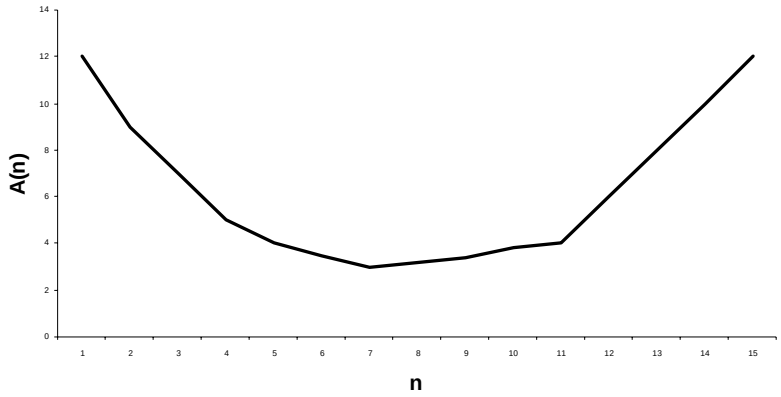
با تبدیل هزینه کل n سال به هزینه معادل سالیانه خواهیم داشت:

$$A(n) = c(n) \times \frac{d(1+d)^n}{(1+d)^n - 1}$$

این رابطه هسته اصلی واحد محاسباتی عامل تصمیم‌گیرنده در مورد جایگزینی تجهیزات است. در واقع این رابطه به اضافه اطلاعات ذخیره شده در پایگاه دانش عامل و همچنین سیگنال‌های دریافتی از محیط منجر به اتخاذ تصمیم مناسب توسط عامل خواهد شد. پس از اتخاذ تصمیم پایگاه دانش عامل مجددا به روز شده و نتایج حاصل از تصمیم اتخاذ شده در آن ثبت می‌گردد.

توجه شود که محاسبه حداقل A(n) نیازمند داشتن اطلاعاتی در مورد قیمت خرید، نرخ بهره، هزینه‌های نگهداری و تعمیرات و قیمت فروش مجدد در هر سال از افق برنامه‌ریزی است. با داشتن این اطلاعات می‌توان A(n) را به ازای n های مختلف محاسبه نمود. مقدار بهینه n عبارتست از مقداری که در آن A(n) کمینه گردد.

این احتمال وجود دارد که مقدار A(n) در آخرین دوره به حداقل خود برسد، در اینصورت می‌بایست داده‌هایی را برای سال‌های بعدی (به صورت پیش‌بینی) با استفاده از یک مکانیزم پیش‌بینی روندی (عموما روش‌های هموارسازی نمایی) محاسبه نمود تا از کمینه شدن A(n) قبل از شروع روند افزایشی اطمینان حاصل گردد. در نهایت نمودار A(n) به صورت زیر خواهد بود.



نمودار ۲ – هزینه سالیانه جایگزینی تجهیزات بر حسب عمر تجهیزات

عامل تصمیم‌گیرنده در مورد جایگزینی قطعات

برخی قطعات حساس که خرابی آنها موجب از کارافتادگی کل یا بخشی از سیستم می‌گردد می‌بایست به صورت زمانبندی شده تعویض گردند. دراینگونه موارد نگهداری و تعمیرات پیشگیرانه از اهمیت بالایی برخوردار است و زمانبندی تعویض می‌بایست به نحوی صورت گیرد تا هیچگونه از کارافتادگی در سیستم مشاهده نشود. اغلب در صورت عدم تعویض به موقع اینگونه قطعات، سیستم با هزینه‌هایی مانند هزینه‌های تعویض بالاتر، هزینه خرابی سایر قطعات و هزینه اوقات تلف شده به دلیل از کارافتادگی تجهیز مواجه خواهد شد. عامل هوشمند مورد بحث در این قسمت وظیفه تعیین زمان مناسب برای جایگزینی قطعات به صورت بهینه را بر عهده دارد.

تفاوت این فسمت با مبحث بخش قبل که جایگزینی تجهیزات را با یک مثال تشریح می‌کنیم؛ فرض کنید مساله مورد بررسی یک ناوگان اتوبوس‌های شهری باشند در این صورت جایگزینی تجهیزات در ارتباط با تعویض اقتصادی اتوبوس‌ها و در حقیقت یک نوع مدل عمر اقتصادی است در صورتیکه جایگزینی تجهیزات در ارتباط با تعویض قطعات این اتوبوس‌ها مانند موتور، لاستیک‌ها و ... است در ادامه با تشریح روابط ریاضی مورد استفاده در این بخش مطلب روشن‌تر خواهد شد.

توجه شود که این عامل زمانی فعال می‌شود که یکی از شروط زیر وجود داشته باشد:

- تعویض یک قطعه در زمان خرابی، هزینه‌های بیشتری در قیاس با تعویض پیشگیرانه آن داشته باشد.
- احتمال خرابی قطعات با افزایش عمر آنها رابطه مستقیم داشته باشد.

قطعاتی که خرابی آنها دارای توزیع نمایی (بدون حافظه) است یا تعویض آنها در زمان خرابی دارای هزینه‌های چندان بیشتری در قیاس با تعویض آنها به صورت پیشگیرانه نیست نمی‌توانند این عامل را فعال نمایند. به منظور تعیین سیاست جایگزینی بهینه می‌بایست اطلاعاتی در مورد هزینه جایگزینی پیشگیرانه، هزینه‌های جایگزینی قطعه از کار افتاده در اختیار سیستم محاسبه عامل قرار گیرد این اطلاعات توسط مکانیزم‌های ارتباطی عامل با محیط جمع‌آوری می‌گردد.

معمولا زمان جایگزینی بهینه بر اساس سیاست ثابتی انجام می‌گیرد *(Anderson and Jardine,1984)*. اطلاعات لازم برای محاسبه چنین سیاستی بر اساس تخمین‌های صورت گرفته بر روی اطلاعات جمع‌آوری شده از محیط می‌باشد. در چنین سیاست جایگزینی ثابت قطعات در یک فاصله زمانی ثابت تعویض می‌گردند. هزینه کل به ازای هر واحد زمان عبارتست از:

$$c(t_p) = [c_p + c_f H(t_p)]/t_p$$

که در آن t فاصله زمانی بین جایگزینی پیشگیرانه قطعات است.

$H(t_p)$:تعداد خرابی‌های مورد انتظار در بازه $(0,t_p)$ است که با تخمین و بر اساس آمار و اطلاعات گذشته بدست می‌آید.

c_p: هزینه جایگزینی پیشگیرانه است.

c_f: هزینه جایگزینی قطعه خراب شده است.

بیان $H(t_p)$ بر حسب توزیع احتمال $f(t)$ در صورتی‌که مقیاس زمانی به صورت گسسته در نظر گرفته شود (مانند روز، هفته، ماه) به صورت زیر خواهد بود:

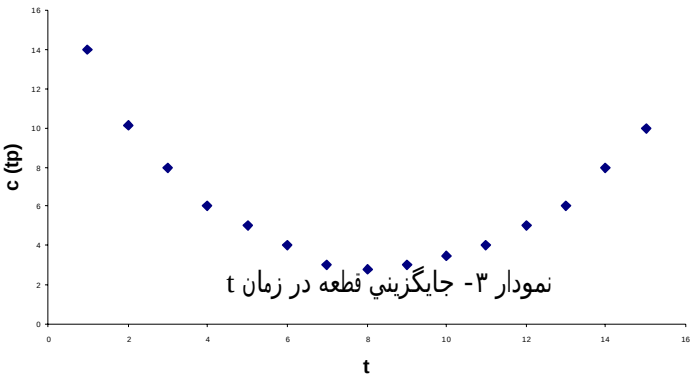
$$H(T)=\sum_{i=0}^{T-1}[1+H(T-i-1)]\times\int_{i}^{i+1}f(t)dt$$

که در آن $H(0)=0$ است.

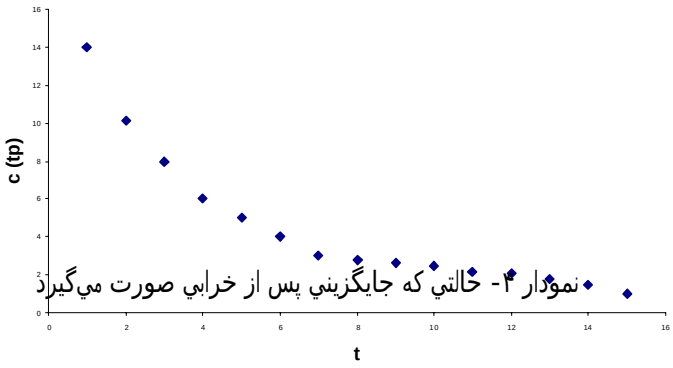
با استفاده از این فرمول هزینه کل $c(t_p)$ برای عمرهای جایگزینی مختلف قابل محاسبه است. هنگامی که هدف پیدا کردن مقدار t است‌که $c(t_p)$ را کمینه نماید، مقدار $c(t_p)$ به ازای t های مختلف محاسبه شده و t معادل با مینیمم مقدار آن، جواب این قسمت از سیستم خواهد بود.

از لحاظ محاسباتی توجه شود در صورتی که c_f به طرز قابل توجهی از c_p بزرگتر نباشد، مقدار t_p که منجر به کمینه شدن $c(t_p)$ می‌گردد، بی‌نهایت خواهد بود یعنی تا زمانی که قطعه از کار نیفتاده است آنرا تعویض نکنید.

به منظور توقف محاسبه مقدار $c(t_p)$ در چنین حالاتی می‌توان از قانون توقف زیر در الگوریتم مورد استفاده توسط عامل سود جست. در صورتی که مقدار $c(t_p)$ در فاصله زمانی به اندازه میانگین+ دو برابر انحراف استاندارد توزیع خرابی افزایشی نشان نداد روند محاسبه را متوقف شود و سیاست جایگزینی بر مبنای خراب شدن قطعات قرار گیرد یعنی تا زمانی‌که قطعه خراب نشده است تعویض نگردد. نمودار ۳ و۴ نشان‌دهنده حالات مختلف مورد بحث در محاسبه زمان جایگزینی قطعات است.



نمودار ۳- جایگزینی قطعه در زمان t



نمودار ۴- حالتی که جایگزینی پس از خرابی صورت می‌گیرد

عامل تعیین‌کننده زمان بازرسی قطعات و تجهیزات

قطعات اصلی تجهیزات معمولا در فواصل زمانی مشخص مورد بازرسی قرار می‌گیرند خصوصا در مواردی که امکان ساییدگی یا پوسیدگی قطعات وجود داشته باشد. در این حالت امکان تعویض پیشگیرانه قطعات ساییده شده با هزینه کمتری نسبت به تعویض قطعه خراب شده قابل انجام است.

عامل هدایت‌کننده این بخش از سیستم از لحاظ رفتاری مشابه با سایر عامل‌های هوشمند تشریح شده در قسمت قبل می‌باشد.

رابطه اصلی مورد استفاده در این بخش عبارتست از هزینه کلی بازرسی به ازای واحد زمان (معمولا سالیانه) که به صورت زیر قابل محاسبه است:

$$c = le + \sum_{i=1}^{n} x_i p_i + \sum_{i=1}^{n} y_i r_i$$

که در آن:

e: هزینه یک بازرسی

p_i: هزینه جایگزینی پیشگیرانه قطعه i

r_i: هزینه جایگزینی قطعه خراب i

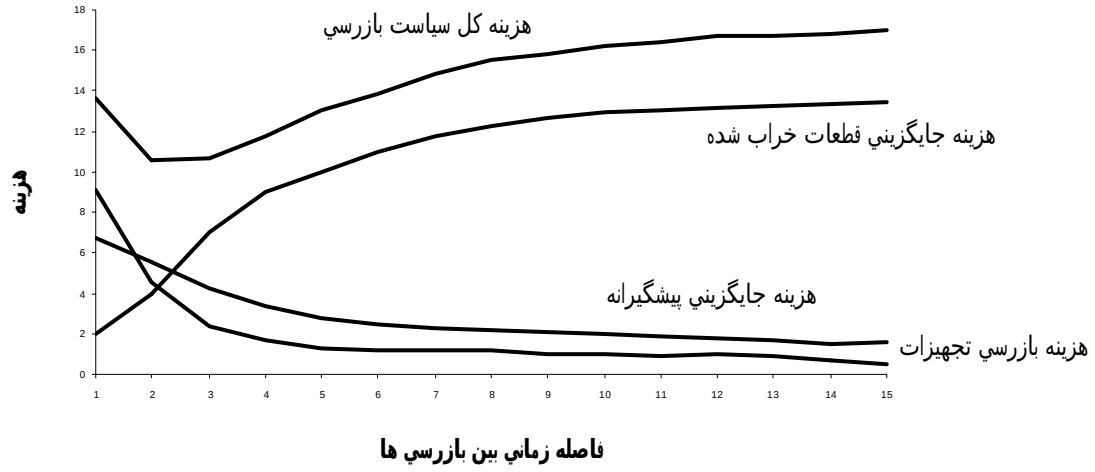
l: تعداد بازرسی‌ها در سال

x_i: تعداد جایگزینی‌های پیش‌گیرانه قطعه i در سال

y_i: تعداد جایگزینی‌های قطعه خراب i در سال

n: تعداد قطعات

به منظور محاسبه این تابع هزینه، نیاز به دانستن اطلاعاتی در مورد هزینه جایگزینی پیشگیرانه قطعه i و هزینه جایگزینی قطعه خراب i است.



آنچنانکه در نمودار ۵ ای جایگزینی قطعات خراب شده برابر با هزینه کل سیاست بازرسی است که با استفاده از شبیه‌سازی می‌توان نقطه بهینه را که نشان‌دهنده فاصله زمانی بین بازرسی‌ها به منظور کمینه کردن هزینه کل سیاست بازرسی است را تعیین نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

در این مقاله معماری یک سیستم چندعاملی به منظور کاربرد در سیستم‌های نگهداری و تعمیرات معرفی گردید. این معماری مشتمل بر ۴ جزء می‌باشد: عامل تصمیم‌گیرنده درباره جایگزینی تجهیزات و تعیین کننده عمر اقتصادی، عامل تصمیم‌گیرنده در

مورد زمان جایگزینی قطعات و عامل تعیین‌کننده زمان بازرسی‌ها. جزء چهارم نیز سیستم نگهداری سوابق نگهداری و تعمیرات می‌باشد. علاوه بر این روابط مورد استفاده هریک از عامل‌ها و چگونگی ارتباط بین آنها به منظور انجام صحیح وظایفشان تشریح گردید. توجه به مکانیزم‌های ارتباطی، یادگیری و همچنین جزئیات اطلاعات می‌تواند ادامه این تحقیق باشد.

مراجع و منابع

Anderson, P M and Jardine, A K S (1984). Weibull User's Manual. *Department of engineering Management , Royal Miitary College: Kingston,Ontario*

C S, G P Sharp-Bette(1990). Advanced Engineering Economics. John Wiley & Sons: New York.

Honeywell Information systems Inc., CP-6 ARES reference manual(1985). *Honeywell information systems Inc., Waltham, Ma.*

L, J Klema, O (1998). Problems of Learning in Multi-agent Systems. *Proceeding of the BASYS'98-3rd IEEE/IFIP International Conference on Information Technology for BALANCED AUTOMATION SYSTEMS in Manufacturing.*

Object Management Group. Agent Working Group(2000). Agent Technology Green Paper.

Riggs, J L (1982). Essentials of engineering Economics. *McGraw-Hill:New York*

Sasieni, M , Yaspan, A and Fricdman, L (1959). Operations research : Methods and problems. *wiley: New York*

S L Wang, H, F Liu, G B and Z (2002), Agent-based modeling and mapping of a manufacturing system. *Journal of Materials Processing Technology* 129: 518–523.