مدلی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در سیستم‌های خودتطبیق

ندا کریمی رزوه[1]،حسن حقیقی[2]

۱کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات، دانشگاه شهید بهشتی

۲استادیار دانشکده مهندسی و علوم کامپیوتر، دانشگاه شهید بهشتی، h_haghighi@sbu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۱۶

چکیده

سیستم نرم‌افزاری خودتطبیق با حذف دخالت انسانی و جایگزینی ساختارهای حلقه بسته با ساختارهای حلقه باز قادر است به صورت برخط، خود را با تغییرات زمان اجرا تطبیق دهد که در این راستا از یک فرآیند سه مرحله‌ای، شناسایی، تصمیم‌گیری و اجرا بهره می‌گیرد. با توجه به اهمیت مرحله‌ی تصمیم‌گیری در تطبیق مناسب سیستم نرم‌افزاری با تغییرات و با وجود ارائه مدل-هایی برای تصمیم‌گیری، هنوز توسعه سیستم‌های خودتطبیق با چالش‌هایی روبرو است و این مدل‌ها توانایی پشتیبانی کامل از محیط پویای کنونی را دارا نمی‌باشند. در این مقاله با بکارگیری مفاهیم بکار رفته در رهیافت مبتنی بر هدف، مدلی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در سیستم‌های خودتطبیق ارائه شده است که علاوه بر افزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری بعضی مفاهیم و چالش‌های حوزه خودتطبیقی را آدرس‌دهی می‌کند. برای ارزیابی مدل ارائه شده از یک مطالعه موردی استفاده می-شود که نتایج ارزیابی بر کاهش زمان پاسخ و افزایش بارکاری دلالت دارد.

کلیدواژه

خودتطبیقی، سیستم‌های خودتطبیق، تصمیم گیری، رهیافت مبتنی بر هدف

مقدمه

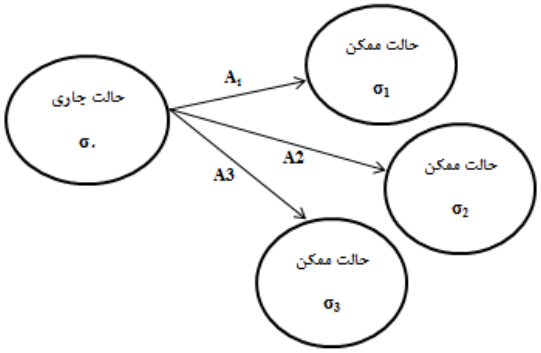
رشد فناوری اطلاعات و ارتباطات، عمومی شدن پارادایم سرویس‌گرایی[1] و حرکت به سوی سامانه‌های فوق مقیاس‌وسیع[2]، تغییر را به یک ویژگی ذاتی سیستم‌های نرم‌افزاری تبدیل نموده است [۱]، [۲]. نرم‌افزارهای اجرا شونده در چنین محیط‌هایی، برای پاسخگویی به نیازهای کاربران، باید به صورت مداوم خود را با تغییرات محیطی و سیستمی تطبیق دهند. روش‌های مدیریت تغییرات نرم‌افزار که به صورت برون‌خط[3] و با دخالت کاربر انسانی صورت می‌گیرد با وجود برخورداری از مزایایی از جمله توانایی برخورد با گستره زیادی از تغییرات، با مشکلاتی همچون زمانبر بودن، پرهزینه بودن، امکان خطای انسانی و وقفه در اجرای سیستم همراه است[۳]، [۴]. مشکلات روش‌های مبتنی بر دخالت انسانی، منجر به ایجاد مفهوم خودتطبیقی[4]، برای ساخت، اجرا و مدیریت سیستم‌های نرم‌افزاری شد. این چنین سیستمی باید خودش را نظارت کند و این به مفهوم شناسایی و کشف تغییرات مهم، تصمیم‌گیری در مورد چگونگی واکنش نشان‌دادن به تغییر و در نهایت انجام عملیات برای اجرای تصمیم مورد نظر می‌باشد. با توجه به اینکه مهمترین هدف ایجاد سیستم‌های نرم‌افزاری، پاسخگویی به نیازهای کاربران است، یک سیستم نرم‌افزاری خودتطبیق زمانی کارایی قابل قبول خواهد داشت که با بروز تغییرات در محتوا و محیط، خود را به گونه‌ای مناسب در راستای پاسخگویی به نیازهای جدید کاربران سازماندهی کند و این سازماندهی موثر و مناسب، که با در نظرگرفتن جنبه‌های مختلف از جمله نوع تغییرات، میزان اهمیت ویژگی‌های کیفی برای سیستم مورد نظر و اولویت ذینفعان، در بازه زمانی مشخص و بدون دخالت عامل انسانی صورت می‌گیرد، در گرو اتخاذ تصمیمات صحیح در فرآیند خودتطبیقی است. بنابراین مهمترین و پیچیده-ترین مرحله در طول فرآیند خودتطبیقی تصمیم‌گیری می‌باشد.

در منابع تحقیقاتی رهیافت‌های متفاوتی برای تصمیم‌گیری و گزینش اعمال تطبیق ارائه شده است، اما هنوز ایجاد سیستم‌های خودتطبیق با چالش‌های زیادی روبرو است [۵]. بر این اساس، در این مقاله ارائه مدلی برای تصمیم‌گیری در سیستم‌های خودتطبیق مورد هدف قرار گرفته است. ساختار ادامه این مقاله به صورت زیر است: ابتدا برخی از کارهای مرتبط با زمینه مورد بحث معرفی خواهد شد. سپس مدل پیشنهادی شرح داده می‌شود. در ادامه مدل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. در پایان نتیجه-گیری انجام شده است.

1 Service oriented
2 Ultra large scale system
3 Offline
4 Self-adaptation

کارهای مرتبط

یک سیستم خودتطبیق، در صورت بروز تغییرات و با انتخاب عملی صحیح باید خود را به گونه‌ای مناسب در راستای پاسخگویی به نیازهای جدید کاربران سازماندهی کند و در نتیجه تصمیم‌گیری و انتخاب عمل، اساسی‌ترین مرحله در فرآیند سه مرحله‌ای خودتطبیقی (شناسایی، تصمیم‌گیری و اجرا) می‌باشد. همانطور که در شکل ۱ قابل مشاهده است انجام هر عمل تطبیق منجر به قرارگیری سیستم در حالت متفاوتی خواهد شد و در نتیجه انتخاب عمل تطبیق مناسب، حالت مناسبی از سیستم را در پی خواهد داشت و بر عکس انتخاب عمل نامناسب، حالت سیستم را به وضعیت نامناسب تغییر خواهد داد و منجر به افت کارای سیستم در طولانی مدت خواهد شد [۶].



شکل ۱.ارتباط حالات سیستم-اعمال تطبیق [۶]

در منابع تحقیقاتی، سه رویکرد اصلی برای تصمیم‌گیری شامل مبتنی بر سیاست، مبتنی بر معماری و مبتنی بر هدف ارائه شده است. در روش‌های مبتنی بر سیاست، سیاست‌ها به عنوان رهنمودهایی برای تصمیم‌گیری و انتخاب عملیات مناسب، جهت برآورده‌سازی نیازمندی‌ها در سیستم‌های خودتطبیق درنظر گرفته می‌شوند که می‌توانند به عنوان ورودی سیستم درنظر گرفته شوند و یا اینکه به عنوان دانش درونی در سیستم‌ها تعبیه شوند [۶]، [۷]. تصمیم‌گیری مبتنی بر سیاست، برای برآورده‌سازی نیازمندی‌های حتمی[5] مناسب می‌باشند، اما از نیازمندی‌های غیر-حتمی[6] پشتیبانی نمی‌کنند. همچنین شناسایی و تفکیک ناسازگاری[7] در این مدل‌ها به خوبی آدرس‌دهی نشده است. در رویکردهای مبتنی بر معماری از مدل‌های معماری نرم‌افزار داخلی، به عنوان هسته مرکزی برای تصمیم‌گیری و انتخاب عمل استفاده می‌کند. از آنجا که این مدل‌ها مختص کاربرد هستند، برای سیستم‌های جدید یا موجود بدون یک مهندسی مجدد قابل کاربرد نیستند [۸]. علاوه بر این، این مدل‌ها از تغییرات زمان اجرایی که در زمان توسعه آنها پیش‌بینی نشده‌اند، پشتیبانی نمی‌کنند و بنابراین نمی‌توانند تصمیمات درستی را تحت شرایط احتمالی و غیرقطعی که یک ویژگی ذاتی نرم‌افزار است، اتخاذ کنند. عملکرد مدل GAAM[8] ، بر مبنای رفتار عامل‌های BDI[9] می‌باشد. در این مدل، فضای مساله خودتطبیقی متشکل از سه جز اهداف، اعمال و خصیصه می‌باشد. اهداف، ویژگی‌های کیفی نرم‌افزار هستند، که به عنوان اهداف خودتطبیقی در نظر گرفته می‌شوند و با توجه به ترجیحات کاربران به هر هدف اولویتی نسبت داده می‌شود. اعمال، مجموعه عملیات تطبیق می‌باشند، که قابل انجام در زمان اجرا هستند. با توجه به اینکه در این مدل تفاوتی بین اهداف حتمی و غیرحتمی وجود ندارد، این رهیافت برای سیستم‌هایی با نیازمندی غیرحتمی مناسب می‌باشد اما از سیستم‌هایی با نیازمندی حتمی پشتیبانی نمی‌کند. همچنین این مدل تنها یک اقدام اصلاحی در یک زمان انجام می‌دهد و امکان برآورده‌شدن اهداف قابل برآورده-سازی در یک زمان در این مدل امکان‌پذیر نیست [۹]. در این مدل، مدیر تطبیق به صورت یک ماشین خارجی، توسعه داده می-شود و بدلیل جداسازی دغدغه خودتطبیقی از منطق کاربرد که یکی از اصول طراحی نرم‌افزار[10] است، منجر به کاهش پیچیدگی به میزان زیادی شده است. با مقایسه بین رهیافت‌های ارائه شده برای تصمیم‌گیری در سیستم‌های خودتطبیق و بر اساس مزایا و معایب هر یک می‌توان نتیجه گرفت که رهیافت مبتنی بر هدف، مدلی مناسب برای توسعه سیستم‌های خودتطبیق در محیط‌های متغیر کنونی می‌باشد.

مدل پیشنهادی

مدل پیشنهادی که بر اساس مفاهیم مدل GAAM توسعه داده شده است، از یک فضای سه بعدی اهداف، اعمال و خصیصه‌ها برای تصمیم‌گیری و انتخاب عمل استفاده می‌کند و شامل ویژگی‌هایی می‌شود که در ابتدا این ویژگی‌ها بیان می‌شوند و سپس مدل کلان و طریقه عملکرد آن شرح داده خواهد شد. در نظر گرفتن میزان تخطی از هدف به عنوان معیاری دخیل در تصمیم‌گیری به عنوان اولین ویژگی مدل پیشنهادی می‌باشد. در مدل GAAM فقط میزان اولویت هدف به عنوان معیاری برای انتخاب عمل در نظر گرفته شده است. در مدل پیشنهادی میزان تخطی از هدف نیز به عنوان معیاری دخیل در انتخاب عمل محاسبه می‌شود، که منجر به رفع بعضی نواقص مدل GAAM خواهد شد. با توجه به اینکه در GAAM فقط یک عمل اصلاحی در نهایت انتخاب می‌شود و از سوی دیگر احتمال اینکه دو عمل رای یکسانی کسب کنند بالا می‌باشد، بنابراین در هنگام بروز چنین شرایطی (دو عمل با میزان رای یکسان) به نحوی با بن‌بست مواجه خواهیم شد [۱۰]. علاوه بر این در بعضی از حوزه‌ها میزان تخطی از هدف برای کاربران اهمیت

5 Mandatory
6 Negotiable
7 Conflict

8 Goal-attribute-action model
9 Belief-desire-intention
10 Separation of concerns

دارد و باید به عنوان معیاری دخیل در تصمیم‌گیری محاسبه شود. در راستای آدرس‌دهی موارد ذکر شده و افزایش انعطاف‌پذیری، در مدل پیشنهادی برای هر هدف فعال میزان تخطی از هدف محاسبه و به عنوان معیاری دخیل در تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود. نکته‌ای که باید در نظر داشت این است که میزان تخطی از هدف فقط برای اهدافی محاسبه می‌شود که به عنوان اهداف فعال شناخته شده‌اند و اهداف فعال، اهدافی هستند که مقدار جاری و مقدار مورد انتظارشان با هم تفاوت دارد. بنابراین برای اهداف فعال، میزان تخطی از هدف هیچگاه برابر صفر نخواهد شد. برای محاسبه میزان تخطی هر هدف از مقدار مورد انتظار رابطه ۱ پیشنهاد می‌شود. در این رابطه vs، میزان تخطی هر هدف از مقدار مورد انتظار و y نشان دهنده مقدار بیشینه بین مقدار جاری و مقدار مورد انتظار هر هدف فعال می‌باشد.

(۱)

$$vs = \left| \frac{\text{مقدار مورد انتظار} - \text{مقدار جاری}}{y} \right| \qquad 0 < vs \leq 1$$

یکی دیگر از ویژگی‌های مدل پیشنهادی، محاسبه میزان سودمندی اعمال بر اساس زمان و منابع مصرفی و کاربرد آنها به عنوان معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری می‌باشد. در [۱۱] ذکر شده است که تصمیمات و اعمال خودتطبیقی باید از نظر زمانی کارآمد[11] باشند. چرا که تاخیر در واکنش به تغییرات، گاها منجر به شکست سیستم بخصوص در مورد اهداف حتمی و همچنین عدم‌قطعیت و در نتیجه کاهش کارایی سیستم خواهد شد. کاربرد مدل‌های تحلیلی با میزان پیچیدگی کمتر در فرآیند تطبیق و انتخاب اعمالی با زمان اجرای کمتر از راه‌های کاهش زمان عکس-العمل به تغییرات می‌باشند. علاوه بر این در سیستم‌های با محدودیت منابع، در صورتی‌که تنها بر اساس سودمندی لحظه‌ای و بدون توجه به میزان منابع مورد نیاز اعمال تطبیق، تصمیم-گیری صورت گیرد، در طولانی مدت به دلیل محدودیت منابع موجود، کارایی سیستم کاهش خواهد یافت. انتخاب اعمالی با میزان منابع مصرفی مورد نیاز کمتر منجر به عدم‌کاهش کارایی سیستم در طولانی مدت خواهد شد [۶]. بر این اساس در مدل پیشنهادی، مقدار سودمندی اعمال بر اساس منابع[12] و مقدار سودمندی اعمال بر اساس زمان[13]، به عنوان معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری بکار برده شده‌اند. برای محاسبه مقدار سودمندی اعمال بر اساس منابع و مقدار سودمندی اعمال بر اساس زمان دو رابطه ۲ و ۳ پیشنهاد می‌شود، که با استفاده از مفاهیم مدل‌سازی تحلیلی و توابع پاداش[14] می‌توان میزان پاداش کلی هر عمل بر سیستم را پیش‌بینی نمود. در دو رابطه ۲ و ۳، T میزان سودمندی عمل بر اساس زمان و R میزان سودمندی عمل بر اساس منابع مصرفی می‌باشد.

$$T = \frac{\text{پاداش بدست آمده از انجام عمل}}{\text{زمان مورد نیاز}} \qquad (۲)$$

$$R = \frac{\text{پاداش بدست آمده از انجام عمل}}{\text{منابع مورد نیاز}} \qquad (۳)$$

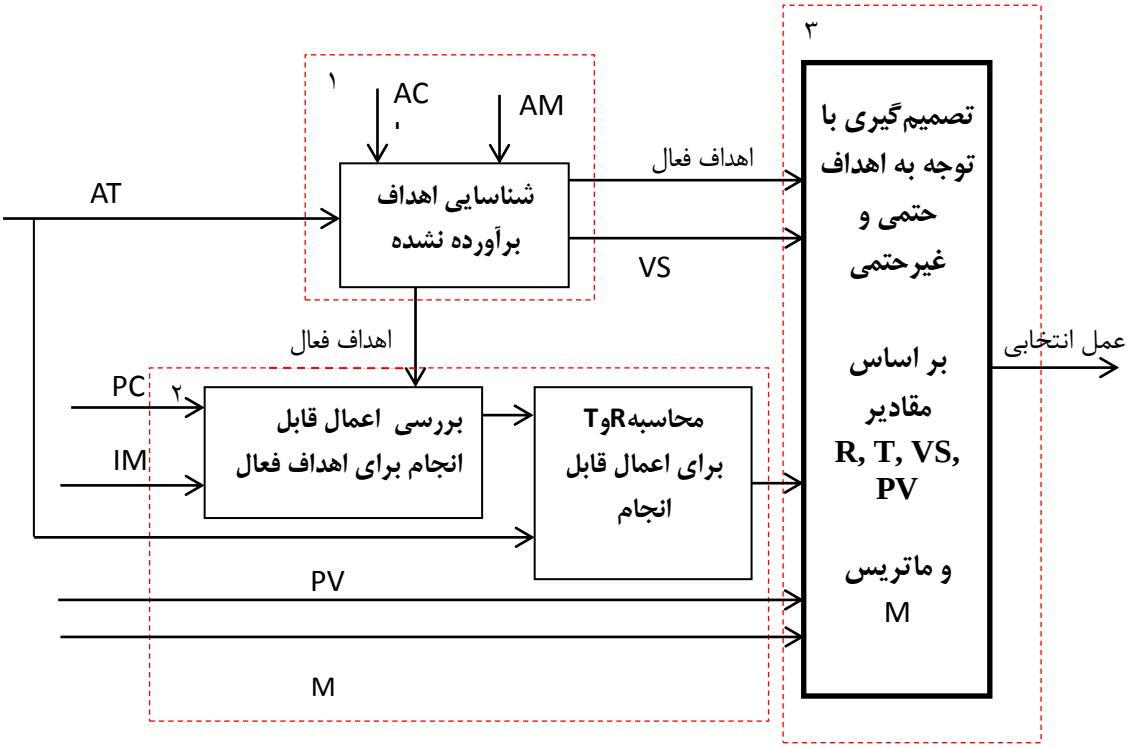
معیار T باعث کاهش زمان فرآیند تطبیق و در نتیجه جلوگیری از شکست احتمالی سیستم و کاهش میزان عدم قطعیت تصمیمات خواهد شد. معیار R باعث جلوگیری از کاهش کارایی سیستم در طولانی مدت بخصوص در سیستم‌هایی با محدودیت منابع خواهد شد. چرا که این معیار منجر به انتخاب اعمالی با میزان منابع مورد نیاز کمتر، در هر مرحله تطبیق خواهد شد و در نتیجه منابع بیشتری برای انجام اعمال تطبیق بعدی در دسترس خواهند بود. از دیگر ویژگی‌های مدل پیشنهادی امکان انجام چند عمل اصلاحی به صورت همزمان با کاربرد ماتریس همبستگی اعمال می‌باشد. با توجه به اینکه مدت زمان چشمگیری صرف شناسایی اهداف برآورده نشده می‌شود، برای افزایش کارایی، بهتر است در صورت امکان، به جای انتخاب یک عمل اصلاحی، چند عمل اصلاحی انتخاب شود که منجر به برآورده‌سازی اهداف بیشتری خواهد شد. با توجه به اینکه همبستگی منفی بین اهداف کیفی، نشان‌دهنده ناسازگاری بین اهداف و عدم امکان برآورده‌سازی همزمان آنها است و همبستگی مثبت یا صفر بین اهداف نشان‌دهنده سازگاری بین اهداف و امکان برآورده‌سازی همزمان آنها می‌باشد و در واقع اعمال هستند که باعث برآورده‌سازی اهداف خواهند شد، با استفاده از تعریف ماتریس همبستگی بین اعمال می‌توان امکان انتخاب چند عمل تطبیق به صورت همزمان را آدرس‌دهی نمود. در مدل پیشنهادی، با استفاده از ماتریس همبستگی، می‌توان به جای انجام یک عمل اصلاحی در یک زمان، چند عمل اصلاحی همزمان را انجام داد. ماتریس همبستگی یک ماتریس بالامثلثی M*M می‌باشدکه M تعداد اعمال پیشنهادی خودتطبیقی و مقادیر آن می‌توانند منفی، مثبت و صفر باشند. مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم امکان اجرای همزمان اعمال متناظر و مقادیر مثبت یا صفر نشان‌دهنده امکان اجرای همزمان اعمال متناظر می‌باشند. در شکل ۲ نمونه‌ای از ماتریس همبستگی بین اعمال قابل مشاهده است.

$$M = \begin{bmatrix} 100\% & 0 & -\varepsilon & 0 & _\sigma \\ \lambda & \Psi & 0 & 0 & +\xi \\ 0 & 100\% & \Omega & _\Phi & 0 \\ 0 & \pi & 0 & 0 & +\Theta \\ 0 & 0 & 0 & +\tau & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 100\% & \vdots \\ \ldots 0 & 0 & 0 & \ldots & 100\% \end{bmatrix}$$

شکل۲: ماتریس همبستگی بین اعمال

11 time efficiency
12 Resource utility
13 Time utility
14 reward function

تعیین میزان همبستگی اعمال، در ابتدا با استفاده از مفاهیم مدل-سازی و پیش‌بینی که در مهندسی نرم‌افزار مرسوم است، صورت می‌گیرد اما به مرور اجرای سیستم و با استفاده از مفهوم یادگیری میزان همبستگی اعمال به صورت دقیق‌تر تعیین خواهد شد. در نهایت تمایز بین اهداف حتمی و غیرحتمی به عنوان ویژگی دیگر مدل پیشنهادی می‌باشد. اهداف حتمی، اهدافی هستند که تحت هر شرایطی باید برآورده شوند و در صورت عدم برآورده‌سازی یا تاخیر در برآورده‌سازی منجر به نتایج غیرقابل جبران و گاها شکست سیستم خواهند شد، بنابراین بهتر است که اهداف حتمی و غیرحتمی به صورت صریح مشخص و در صورت تشخیص همزمان اهداف حتمی و غیرحتمی برآورده‌نشده در سیستم، در راستای کاهش زمان عکس‌العمل و جلوگیری از شکست سیستم، قبل از پرداختن به اهداف غیرحتمی و درگیری با محاسبات مربوط به آنها، ابتدا اهداف حتمی برآورده شوند. سپس بعد از برآورده-سازی اهداف حتمی باید شرایط سیستم مجدد بررسی شود و در صورت وجود اهداف برآورده نشده فرآیند تطبیق اعمال شود. در شکل ۳ مدل کلان پیشنهادی قابل مشاهده است.



شکل ۳: مدل پیشنهادی

در قسمت ۱، با مقایسه ماتریس‌های AM که نشان دهنده ارتباط بین اهداف و خصیصه است و بردار ACL که نشان دهنده سطح فعال سازی هر هدف می‌باشد، اهداف برآورده نشده (اهداف فعال) شناسایی می‌شوند. با توجه به تمایز بین اهداف حتمی و غیرحتمی در مدل پیشنهادی، فرآیند تطبیق نیز بر اساس نوع اهداف برآورده نشده متفاوت خواهد بود. در صورت شناسایی اهداف حتمی، با استفاده از PC که نشان‌دهنده پیش‌شرط‌های اعمال و ماتریس IM که نشان‌دهنده ارتباط بین اهداف و اعمال پیشنهادی است، اعمال قابل انجام برای برآورده‌سازی اهداف حتمی در شرایط جاری و مقدار T متناظر با هر یک تعیین می‌شوند. با توجه به اهمیت زمان در مورد اهداف حتمی، در قسمت ۳، از لیست اعمال قابل انجام برای برآورده‌سازی اهداف حتمی، عملی (اعمالی) با مقدار T کمتر انتخاب خواهد شد. با شناسایی اهداف غیرحتمی در قسمت ۱، مقدار VS متناظر با هر هدف غیرحتمی برآورده نشده تعیین می-شود. همچنین در قسمت ۲ با استفاده از PC و IM، لیست اعمال قابل انجام برای هر هدف غیرحتمی برآورده نشده، فیلتر و سپس مقدار T و R برای اعمال قابل‌انجام محاسبه می‌شود. بنابراین تاکنون لیستی از اهداف غیرحتمی برآورده نشده با PV و VS متناظر و لیستی از اعمال قابل انجام با T و R متناظر تولید شده است. در قسمت ۳ برای انتخاب عمل (اعمال) مناسب رابطه‌های ۴ و ۵ پیشنهاد می‌شود. با توجه به مطالب ذکر شده، محاسبات زیر فقط برای اهداف غیرحتمی برآورده نشده و اعمال قابل انجام برای آنها، صورت می‌گیرد .اگر تعداد کل اهداف، h باشد، تعداد اهداف برآورده نشده، n باشد و تعداد اعمال قابل انجام، m باشد، همچنین

$UG_i \approx$ ارزش رای هدف i ام

$VS_i \approx$ میزان تخطی هدف i ام

$PV_i \approx$ اولویت هدف i ام از دید کاربر

$UAC_i \approx$ سودمندی کلی متناسب با عمل j ام بر اساس زمان و منابع مصرفی

$T_i \approx$ میزان سودمندی عمل j ام بر اساس زمان

$R_j \approx$ میزان سودمندی عمل j ام بر اساس منابع مصرفی

آنگاه خواهیم داشت:

(۵)

$$\alpha PV_i + \beta VS_i = uG_i \quad (۴)$$

$$1 \le i \le n \qquad 0 < vs_i \le 1 \qquad \sum_{i=1}^{h} pv_i = 1$$

$$\theta R_j + \omega T_j = uAC_j \qquad 1 \le j \le m$$

بنابراین برای هر هدف غیرحتمی برآورده نشده (فعال) مقدار uG_i محاسبه می‌شود. همچنین برای هر عمل قابل انجام نیز مقدار uAC_j محاسبه می‌شود. با توجه به اینکه در هر سیستم pv ها و vs ها ارزش‌های متفاوتی خواهند داشت، با کاربرد ضریب‌ها این امکان وجود خواهد داشت که با توجه به سیستم، دو مقدار pv و vs با ارزش‌های متناسب با آن سیستم، در تصمیم‌گیری دخالت نمایند. برای مثال اگر میزان ارزش pv و vs در یک سیستم یکسان باشد ضرایب α و β یکسان با یکدیگر خواهند بودند و در صورتی که ارزش یکی از آنها برای مثال pv بیشتر باشد، ضریب متناظر با pv بیشتر خواهد بود.برای اعمال قابل انجام، که با استفاده از بررسی پیش‌شرط‌ها شناسایی می‌شوند، نیز با توجه به سیستم و اهمیت زمان و منابع ضرایب θ و ω مقداردهی می‌شوند. برای مثال اگر در سیستمی زمان و منابع مورد نیاز اعمال از نظر اهمیت یکسان باشند، مقادیر ضرایب یکسان خواهند بود. با توجه به اینکه مدل به صورت کلی است و سیستم خاص و ثابتی مدنظر نمی‌باشد نمی‌توان ضرایب را بصورت ثابت و عددی تعیین نمود. بنابراین با توجه به حوزه سیستم و نگرش مدیران سیستم باید ضرایب α، β، ω و Ω مقداردهی شوند و خواهیم داشت:

$$\sum(\alpha + \beta + \omega + \theta) = 100\% \quad (۶)$$

در نهایت برای انتخاب مناسب‌ترین عمل رابطه زیر پیشنهاد می‌شود. با توجه به رابطه زیر، اگر یک عمل، جزء لیست اعمال برآورده‌سازی چند هدف مختلف باشد، اهداف بیشتری به آن عمل رای می‌دهند و در نتیجه میزان رای کسب شده توسط آن عمل نیز بیشتر می‌باشد. میزان رای کسب شده توسط عمل j ام توسط رابطه ۷ بدست می‌آید.

$$AC_j \text{ میزان رای کسب شده توسط } = \sum_{1 \le i \le n} (uAC_j \times uG_i) \quad (۷)$$

با محاسبه میزان رای کسب شده توسط هر عمل، صفی از اعمال بر اساس میزان رای ایجاد می‌شود. عمل موجود در ابتدای صف دارای بیشترین رای بوده و اولین عملی خواهد بود که برای فرآیند تطبیق انتخاب خواهد شد. همانطور که پیش‌تر ذکر شد، در مدل پیشنهادی امکان اجرای چند عمل تطبیق به صورت همزمان، که منجر به افزایش کارایی سیستم خواهد شد، وجود دارد. برای پشتیبانی از این ویژگی، یک ماتریس همبستگی بین اعمال (M) در مدل پیشنهادی در نظرگرفته شده است. در ماتریس همبستگی مقادیر مثبت و صفر، نشان‌دهنده امکان اجرای همزمان اعمال و مقادیر منفی نشان‌دهنده عدم امکان اجرای همزمان اعمال می‌باشند. با انتخاب عمل موجود در اول صف، ابتدا دیگر اعمال قابل انجام برای هدف مرجع آن عمل، از صف اعمال حذف خواهند شد. همانطور که بیان شد برای برآورده‌سازی هر هدف لیستی از اعمال پیشنهاد می‌شود و امکان انتخاب دو عمل برای برآورده‌سازی یک هدف وجود دارد. بنابراین با حذف بقیه اعمال موجود در صف اعمال، که مربوط به هدف برآورده‌شده توسط عمل ابتدای صف هستند، از انتخاب اعمال یکسان برای یک هدف جلوگیری می‌شود. سپس در ادامه صف، اولین عمل با مقدار همبستگی صفر یا مثبت با عمل ابتدای صف، جستجو می‌شود. و به همین ترتیب اعمال مشترک حذف و اعمال بعدی در صورت وجود انتخاب می‌شوند. بدین ترتیب می‌توان چند عمل اصلاحی را به صورت همزمان اجرا نمود.

ارزیابی

سیستم‌های خبری تحت وب، در منابع مختلفی به عنوان مطالعه موردی، برای ارزیابی سازکارهای خودتطبیقی بکار برده شده‌اند که برای ارزیابی مدل پیشنهادی نیز این مطالعه موردی بکار برده شده است. با توجه به اینکه مدل پیشنهادی، از یک فضای سه بعدی، اهداف، اعمال و خصیصه‌ها برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کند، در ادامه ابتدا مجموعه اهداف، خصیصه‌ها و اعمال این سیستم توصیف خواهد شد و سپس نتایج بدست آمده مورد تحلیل قرار می‌گیرند. برای آگاهی از وضعیت سیستم و میزان برآورده‌سازی اهداف، از مجموعه خصیصه‌هایی که در جدول ۱ قابل مشاهده است، استفاده می‌شود.

جدول ۱. مجموعه خصیصه‌های سیستم خبری تحت وب

خصیصه‌ها
AT_1 =سطح سرویس (نوع داده (متن، تصویر، ویدئو)+ کیفیت داده (اندازه تصاویر، نرمال یا کوچک – و کیفیت ویدئو، بالا یا پایین))
AT_2 =زمان پاسخ
AT_3 =میزان بارکاری
AT_4 =آگاهی از وضعیت مولفه‌ها

لیست اعمال برای برآورده سازی اهداف در جدول ۲ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول۲. مجموعه اعمال خودتطبیقی سیستم خبری تحت وب

اعمال
AC_1 = افزایش تعداد سرور (تسهیم بار ترافیکی)
AC_2 =بارگذاری مجدد مولفه‌های مربوط به سرویس‌دهنده نرم‌افزار کاربردی
جابه‌جایی بین سطوح سرویس
AC_3= متن+ تصاویر نرمال+ ویدئو با کیفیت بالا
AC_4= متن+ تصاویر نرمال+ ویدئو با کیفیت پایین
AC_5= متن+ تصاویر نرمال
AC_6= متن+ تصاویر کوچک
AC_7= متن
AC_8 =غیرفعال کردن همه سرویس‌های جانبی

در جدول ۳، لیست اهداف قابل مشاهده می‌باشد.

جدول۳. مجموعه اهداف سیستم خبری تحت وب

اهداف	
اهداف حتمی	G_1 = در حال اجرا بودن مداوم سیستم
اهداف غیرحتمی	g_1 =کاهش متوسط زمان ترمیم (MTTR) g_2 =افزایش بارکاری g_3 =کاهش زمان پاسخ g_4 =فراهم کردن کیفیت داده موردنظر کاربران g_5 = فراهم کردن نوع داده مورد نظر کاربران

در جدول ۴ سطوح سرویس نشان داده شده است.

جدول۴. سطوح سرویس

متن+ تصاویر نرمال+ ویدئو با کیفیت بالا	TNH
متن+ تصاویر نرمال+ ویدئو با کیفیت پایین	TNL
متن+ تصاویر نرمال	TN
متن+ تصاویر کوچک	TS
متن	T

مجموعه ویژگی‌های قابل تعریف برای اهداف در این مطالعه موردی، در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵. خصوصیات اهداف

اهداف	اولویت	سطح فعال‌سازی	اعمال پیشنهادی
G_1	∞	Response time ≥ **5*s***	AC_8
g_1	0.24	Component state ≠ active	AC_2
g_2	0.23	Throughput ≤ 100000	AC_1 AC_4 AC_5 AC_6 AC_7
g_3	0.22	Response time ≥ 2s	AC_1 AC_4 AC_5 AC_6 AC_7
g_4	0.16	Service level ≠ TNH OR Service level ≠ TN	AC_3 AC_5
g_5	0.15	Service level ≠ TNH OR Service level ≠ TNL	AC_3 AC_4

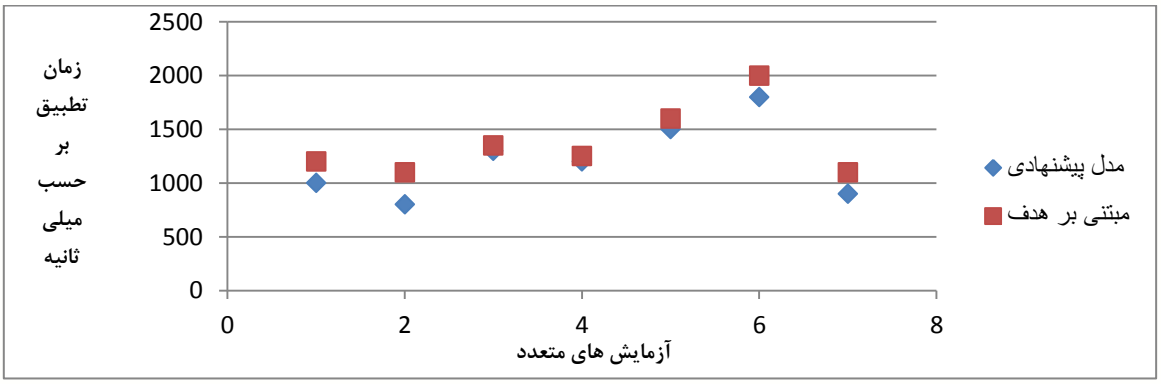
همچنین در مدل پیشنهادی، برای پالایش اعمال قابل انجام، نیاز به بررسی پیش شرط‌ها خواهیم داشت که در این مطالعه موردی فقط عمل AC_1 نیاز به بررسی پیش شرط دارد. در ادامه با استفاده از داده‌های واقعی و مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با مدل مبتنی بر هدف، مدل پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

حالت اول: یکی از ویژگی‌های مدل پیشنهادی، تمایز بین اهداف حتمی و غیرحتمی است. برای نشان دادن نتایج مثبت این ویژگی، اهداف G_1، g_1 و g_2 به عنوان اهداف فعال شناسایی می‌شوند. برای هدف G_1، عمل AC_8، برای هدف g_1، عمل AC_2 و برای هدف g_2، اعمال AC_1، AC_4، AC_5، AC_6 و AC_7 پیشنهاد می‌شود. در مدل مبتنی بر هدف، اهداف حتمی و غیرحتمی به صورت صریح مشخص نمی‌شوند و تنها از طریق مقدار اولویت، سطح برآورده-سازی آنها تغییر می‌نماید. اما در مدل پیشنهادی، در ابتدا اهداف حتمی و غیرحتمی به صورت صریح مشخص می‌شوند و در صورت تشخیص اهداف برآورده نشده حتمی و غیرحتمی همزمان، بدون درگیری با فرآیند انتخاب مناسب‌ترین عمل از بین اعمال پیشنهادی، ابتدا اهداف حتمی برآورده می‌شوند و در نتیجه زمان فرآیند تطبیق بهبود خواهد یافت. همچنین با تمایز بین اهداف حتمی و غیرحتمی،

تضمین برآورده‌سازی اهداف حتمی برخلاف مدل مبتنی بر هدف وجود دارد. بنابراین در مدل پیشنهادی، عمل AC_8 که تنها عمل پیشنهادی برای برآورده‌سازی هدف حتمی G_1 می‌باشد، در زمان کمتر انتخاب می‌شود. این آزمایش چندین بار با ترکیب‌های

مختلفی از اهداف حتمی و غیرحتمی برآورده نشده، اجرا شد که نتایج در شکل ۴ قابل مشاهده است.

با توجه به نتایج نشان داده در شکل ۴، میانگین زمان تطبیق در هفت آزمایش انجام شده در مدل پیشنهادی ۱۲۱۴ میلی‌ثانیه و در مدل مبتنی بر هدف برابر با ۱۳۷۱ میلی‌ثانیه است. بنابراین با توجه به این آزمایش‌ها، در روش پیشنهادی، میانگین زمان فرآیند تطبیق نسبت به مدل مبتنی بر هدف کمتر می‌باشد.



شکل ۴: نمودار زمان فرآیند تطبیق در مدل پیشنهادی و مدل مبتنی بر هدف برای اهداف حتمی

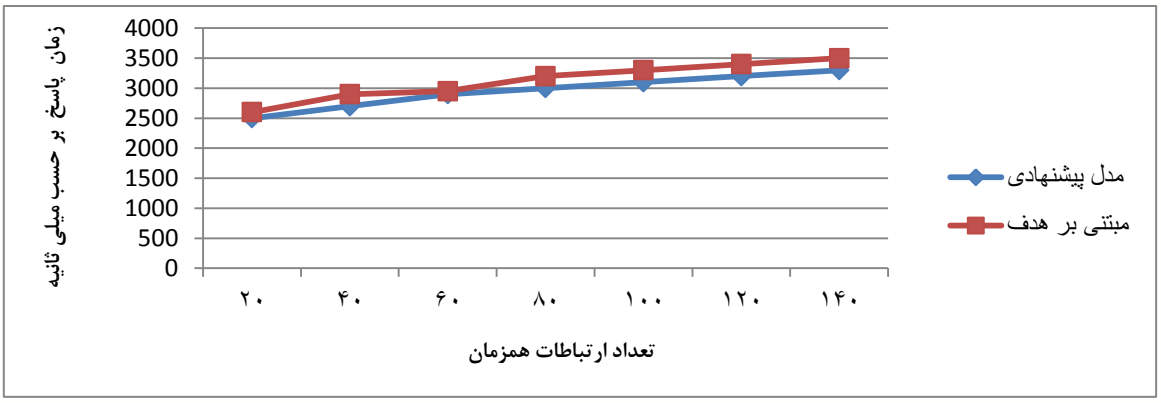
حالت دوم: یکی دیگر از ویژگی‌های مدل پیشنهادی، امکان انتخاب و اجرای همزمان اعمال غیر وابسته و سازگار می‌باشد. برای نشان دادن نتایج مثبت این ویژگی، در این حالت، فرض بر این است که اهداف برآورده نشده، تنها اهداف غیرحتمی g_1 و g_2 را شامل می‌شوند. عمل AC_2، به عنوان عمل پیشنهادی هدف g_1، و اعمال AC_1، AC_4، AC_5، AC_6 و AC_7 به عنوان اعمال پیشنهادی هدف g_2می‌باشند. در مدل مبتنی بر هدف، عمل AC_2، با میزان رای ۰/۲۵ به عنوان عمل اصلاحی انتخاب می‌شود و در نتیجه فقط هدف g_1 برآورده می‌شود. اما با توجه به اینکه عمل AC_2، با اعمال AC_1، AC_4، AC_5، AC_6 و AC_7 سازگار است، در مدل پیشنهادی امکان انتخاب عمل AC_2 و یکی از اعمال پیشنهادی هدف g_2 وجود دارد و بنابراین دو هدف g_1 و g_2 به صورت همزمان قابل برآورده‌سازی می‌باشند. در مورد اهداف برآورده‌نشده غیرحتمی g_1 و g_3 از یک سو و اهداف g_1، g_2 و g_3 از سوی دیگر، نتایج نشان می‌دهد که تعداد اهداف برآورده شده در مدل مبتنی بر هدف، کمتر از مدل پیشنهادی می‌باشد. به عبارت دیگر، عملکرد مدل پیشنهادی از نقطه‌نظر برآورده‌سازی اهداف بیشتر، نسبت به مدل مبتنی بر هدف مناسب‌تر می‌باشد.

حالت سوم: همانطور که ذکر شد، در مدل مبتنی بر هدف، اهداف رای دهنده و اعمال رای گیرنده می‌باشند و در نهایت تنها یک عمل که میزان رای بیشتری کسب کرده باشد، انتخاب می‌شود. اما در این مدل، احتمال اینکه دو عمل رای یکسانی کسب کنند، وجود دارد. برای مثال در این مطالعه موردی، همه اعمال پیشنهادی برای اهداف g_2 و g_3 به میزان ۰/۴۵ رای کسب می‌کنند و بنابراین انتخاب عمل با مشکل مواجه می‌شود. در مدل پیشنهادی، با افزودن VS، T و R به عنوان معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری، هیچگاه این مشکل بوجود نخواهد آمد. همچنین، یکی دیگر از ویژگی‌های مدل پیشنهادی، احتساب میزان تخطی از هدف به عنوان یکی از معیارهای دخیل در تصمیم‌گیری می‌باشد که مزیت این ویژگی، زمانی مشخص می‌شود که دو هدف دارای اولویت یکسان و یا نزدیک به هم باشند که آنگاه میزان تخطی از هدف تعیین کننده هدف برنده می‌باشد.

در ادامه یک سناریوی تکمیلی برای ارزیابی مدل پیشنهادی شرح داده می‌شود. ابتدا فرض کنید اهداف g_1، g_2 و g_4 به عنوان اهداف فعال شناخته شوند. در مدل مبتنی بر هدف، در نهایت عمل AC_5، با میزان رای ۰/۵۵ انتخاب خواهد شد. اما در مدل پیشنهادی، با توجه به ماتریس همبستگی و امکان انتخاب همزمان چند عمل اصلاحی همزمان، اعمال AC_5، AC_2 و AC_1 بطور همزمان قابل اجرا هستند و در نتیجه علاوه بر برآورده‌سازی سه هدف g_1، g_2 و g_4 به صورت همزمان، بار کاری نیز نسبت به مدل مبتنی بر هدف بهبود خواهد یافت، چرا که هر دو عمل AC_2 و AC_5 تاثیر مثبتی بر بارکاری خواهند داشت. این حالت در مورد سه هدف فعال g_1، g_2 و g_5 نیز صدق می‌کند. نکته قابل توجه این است که با احتساب میزان سودمندی اعمال به عنوان معیاری دخیل در تصمیم‌گیری، از انتخاب اعمالی که تاثیرات منفی بر دیگر اهداف سیستم دارند، جلوگیری می‌شود. در شکل ۵ نمودار میزان بارکاری با توجه به تعداد ارتباطات همزمان فعال، قابل مشاهده می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد میزان بار کاری در روش پیشنهادی نسبت به مدل مبتنی بر هدف به میزان ۵ درصد افزایش یافته است.

شکل ۵: نمودار میزان بارکاری نسبت به تعداد ارتباطات همزمان فعال

همچنین در مورد اهداف فعال g_1، g_3 و g_4 و یا اهداف فعال g_1، g_3 و g_5، علاوه بر برآورده‌سازی همزمان اعمال، *زمان پاسخ* نیز نسبت به مدل مبتنی بر هدف، بهبود خواهد یافت. در شکل ۶ نمودار زمان پاسخ، با توجه به تعداد ارتباطات همزمان فعال، قابل مشاهده می‌باشد. این نمودار نشان می‌دهد که میانگین زمان پاسخ نسبت به تعداد ارتباطات همزمان در روش پیشنهادی برابر ۵۱ میلی‌ثانیه و در مدل مبتنی بر هدف برابر ۵۳ میلی‌ثانیه می‌باشد.



شکل ۶: نمودار زمان پاسخ نسبت به تعداد ارتباطات همزمان فعال

نتایج ارزیابی در این بخش نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی، با احتساب میزان تخطی از هدف به عنوان معیاری دخیل در تصمیم‌گیری، پشتیبانی از امکان انجام چند عمل اصلاحی در هر فرآیند تطبیق، احتساب میزان سودمندی اعمال در انتخاب اعمال تطبیق و تمایز بین اهداف حتمی و غیرحتمی، علاوه بر افزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری (به دلیل دخالت معیارهای VS، T و R در تصمیم‌گیری) و رفع بعضی نواقص مدل مبتنی بر هدف (مانند عدم امکان انجام چند عمل اصلاحی در یک زمان، عدم تمایز بین اهداف حتمی و غیرحتمی و عدم احتساب معیارهایی همچون میزان تخطی از هدف)، زمان پاسخ و میزان بار کاری را نیز نسبت به مدل مبتنی بر هدف بهبود می‌بخشد.

نتیجه گیری

با توجه به اهمیت تصمیم‌گیری و با وجود ارائه مدل‌هایی برای تصمیم‌گیری در سیستم‌های خودتطبیق، این مدل‌ها توانایی پشتیبانی کامل از ویژگی‌های محیط پویای کنونی را دارا نمی‌باشند. مدل مبتنی بر هدف، از جمله مدل‌های ارائه شده برای تصمیم‌گیری در سیستم‌های خودتطبیق است که علی‌رغم بهره‌مندی از مزایایی از جمله، سهولت نگهداری و آزمایش، پشتیبانی از قابلیت مقیاس‌پذیری با هزینه و زمان کم، پشتیبانی از قابلیت استفاده مجدد، آدرس‌دهی ویژگی‌های SELF*- و میزان تلاش پایین برای پیاده‌سازی (که منجر به تبدیل این مدل، به مدلی مناسب برای توسعه سیستم‌های نرم‌افزاری خودتطبیق در محیط پویای کنونی شده است)، از نواقصی نیز برخوردار است.

به همین دلیل، در این مقاله، مدلی جدید برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در سیستم‌های خودتطبیق بر مبنای مفاهیم مدل مبتنی بر هدف توسعه یافت. نتایج بخش ارزیابی نشان داد که مدل پیشنهادی، علاوه بر افزایش انعطاف‌پذیری در تصمیم‌گیری و رفع بعضی نواقص مدل مبتنی بر هدف (مانند عدم امکان انجام چند عمل اصلاحی در یک زمان، عدم تمایز بین اهداف حتمی و غیرحتمی و عدم احتساب معیارهایی همچون میزان تخطی از هدف)، زمان پاسخ و میزان بار کاری را نیز نسبت به مدل مبتنی بر هدف بهبود می‌بخشد.

با توجه به حرکت به سمت توسعه پارادایم سیستم‌های مقیاس وسیع و افزایش کاربرد سیستم‌های فوق مقیاس‌وسیع، در تحقیقات آینده سعی بر این خواهد بود تا مدلی برای پشتیبانی از تصمیم‌گیری در سیستم‌های فوق مقیاس‌وسیع ارائه شود که علاوه بر پشتیبانی از ویژگی‌های این سیستم‌ها، میزان عدم قطعیت و عدم اطمینان نیز کاهش یابد.

مراجع

[1] S. Dustdar et al., "A roadmap towards sustainable self-aware service systems," *in 2010ICSE Workshop on Software Engineering for Adaptive and Self-Managing Systems*, 2010,pp. 10-19.

[2] M. P. Papazoglou, P. Traverso, S. Dustdar, and F. Leymann, "Service-oriented computing: a research roadmap," *International Journal of Cooperative Information Systems*, vol. 17,no. 2, pp. 223-255, 2008.

[3] M. Salehie and L. Tahvildari, "Self-adaptive software: Landscape and research challenges," *ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems*, vol. 4, no. 2, pp. 1-42, May2009.

[4] B. H. C. Cheng et al., "Software Engineering for Self-Adaptive Systems: A Research RoadMap," *Software Engineering for Self-Adaptive Systems*, vol. 5525/2009, pp. 1-26, 2009.

[5] E. P. Kasten, P. K. Mckinley, S. M. Sadjadi, and R. E. K. Stirewalt, "Separating introspection and Intercession to Support Metamorphic Distributed Systems," *Distributed Computing systems workshops, pp.465-472*, 2002.

[6] J. O. Kephart et al, "An Artificial Intelligence Perspective on Autonomic Computing Policies," *Proceedings of the Fifth IEEE International Workshop on Policies for Distributed Systems and Networks*, pp. 7-9, june 2004.

[7] R. M. Bahati, M. A. Bauer, E. M. Vieira, "Policy-driven Autonomic Management of Multi-component Systems," Proceedings of the 2007 conference of the center for advanced studies on Collaborative research , pp. 137-151, 2007.

[8] M. Kohli, "An Enhanced Goal-Oriented Decision-Making Model for Self-Adaptive Systems," *A Thesis for the degree of master university of waterloo*, 2011.

[9] M. Salehie, "A Quality-Driven Approach to Enable Decision-Making in Self-Adaptive Software," *A Thesis for the degree of Doctor of Philosophy*, 2009.

[10] L. Lymberopoulos, E. Lupu and M. Sloman, "An Adaptive Policy-Based Framework for Network Services Management," Journal of Network and Systems Management, Vol. 11, no. 3, September 2003.

[11] M. Amoui et al, "Adaptive Action Selection in Autonomic Software Using Reinforcement Learning," *in Fourth IEEE International Conference on Autonomic and Autonomous Systems*, pp. 175-181, march 2008.