نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات
Journal of Decisions and Operational Research
دوره ۳، شماره (۲)، تابستان ۱۳۹۷

ارائه رویکردی مبتنی بر الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی و فیلتر کالمن برای بهینه‌سازی چندهدفه مسئله زمان‌بندی پروژه و پیش‌بینی پیشرفت زمانی پروژه

احسان عقدایی، علی حسین زاده کاشان*

گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

چکیده

پیش‌بینی قابل‌اعتماد، عنصری حیاتی برای موفقیت در مدیریت یک پروژه می‌باشد. از دیرباز روش ارزش کسب‌شده (EVM) به‌منظور دنبال نمودن عملکرد زمانی و هزینه‌ای پروژه، مورداستفاده قرارگرفته است. بهره‌گیری از این روش جهت ارزیابی عملکرد زمانی پروژه با بهره‌گیری از شاخص عملکرد زمانی (SPI) توسط محققین و صنعتگران موردانتقاد جدی واقع‌شده است؛ ازاین‌رو، مطالعه حاضر، چارچوبی به‌منظور ارزیابی تصادفی و پیش‌بینی عملکرد زمانی در هر یک از فعالیت‌ها در مدیریت پروژه ارائه می‌نماید. در این چارچوب، با استفاده از الگوریتم چندهدفه فرا ابتکاری قهرمانی در لیگ‌های ورزشی (LCA)، برنامه‌ریزی اولیه پروژه با توجه به زمان و منابع فعالیت‌ها که فاکتورهایی غیرقطعی در نظر گرفته‌شده‌اند، بهینه‌سازی شده است؛ سپس با استفاده از روش پیش‌بینی فیلتر کالمن، برنامه‌ریزی اجرایی پروژه به صورتی انجام‌گرفته است که بتوان پروژه‌ها را در شرایط عدم قطعیت، پیش‌بینی و افق زمانی پیش روی آن‌ها را خیلی دقیق و با کمترین خطا برای مدیران پروژه ترسیم نمود و با کمترین تأخیر زمانی و هزینه‌ای، پروژه را به اتمام رساند. جهت اطمینان از کیفیت جواب، خروجی الگوریتم فرا ابتکاری قهرمانی در لیگ‌های ورزشی با الگوریتم ژنتیک (NSGAII) و الگوریتم چندهدفه بهینه‌سازی انبوه ذرات (PSO) مقایسه شده است که نتایج به‌دست‌آمده نشان از برتری الگوریتم معرفی‌شده در این مقاله دارد.

واژه‌های کلیدی: مدیریت پروژه، عدم قطعیت، الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی، فیلتر کالمن.

دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۰ اصلاح: ۱۳۹۷/۳/۱۷ پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۱۹

۱- مقدمه

امروزه، لزوم برنامه‌ریزی مناسب به‌منظور برآورد صحیح زمان و هزینه‌ی انجام پروژه و میزان منابع موردنیاز در یک پروژه که تأثیر مستقیم بر اجرا، اداره و بهره‌برداری مناسب از پروژه‌هایی مانند پروژه‌های ساختمانی، نرم‌افزاری، نفت و گاز و ...دارد، روشن است. درمجموع، مدیریت و برنامه‌ریزی فعالیت‌ها و منابع موردنیاز در یک پروژه، نیازمند انجام تحلیل‌های مختلفی است که یکی از آن‌ها، مدل‌سازی و پیش‌بینی صحیح هزینه و زمان انجام پروژه است. رسیدن به این هدف، کمک قابل‌توجهی به مدیریت بهینه پروژه و تصمیم‌گیری بهتر در شرایط غیرقطعی می‌کند. مسئله برنامه‌ریزی و پس‌ازآن کنترل زمان‌بندی پروژه‌ها، هرروز اهمیتی بیش از گذشته می‌یابد. در محیطی که رقابت شرکت‌ها هرروز به هم نزدیک‌تر می‌شود و تفاوت‌های کوچک در ارائه قیمت در مناقصه‌ها منجر به موفقیت یا شکست در مناقصه می‌شود، ارائه برنامه‌ای که منطبق بر واقعیات است و بتواند حاوی تمام واقعیات اقتصادی در مدل یک پروژه باشد حائز اهمیت زیادی است. یک برنامه جامع، این قابلیت را دارد که با استفاده از رابطه هزینه و زمان در یک پروژه، تغییرات لازم را در هزینه و زمان منابع در نظر بگیرد و راه‌حل‌های مناسب را پیش روی کاربران قرار دهد تا بتوانند قبل از اجرای پروژه، برآورد مناسبی از زمان، هزینه اجرایی و میزان منابع موردنیاز در پروژه داشته باشند. برای زمان‌بندی و کنترل پروژه، مراحل مختلفی ازجمله تحلیل پروژه، برآورد مدت، هزینه و منابع اجرایی و درنهایت زمان‌بندی پروژه صورت می‌گیرد. گاهی اوقات مدیر پروژه تصمیم می‌گیرد زمان پروژه را کاهش دهد که این امر تأثیر مستقیم بر هزینه تمام‌شده خواهد داشت. به‌منظور

* عهده‌دار مکاتبات: A.kashan@modares.ac.ir

www.journal-dmor.ir
Archive of SID
www.SID.ir

بهینه‌سازی زمان – هزینه، روش‌های مختلفی در دو حوزه آنالیز موازنه زمان – هزینه به کار گرفته‌شده‌اند. به همین منظور، روش‌های ریاضی و ابتکاری و فرا ابتکاری متنوعی به کار می‌روند. هدف از این تحقیق، آنالیز وضعیت زمان، هزینه و منابع پروژه در شرایط غیرقطعی، باهدف پیش‌بینی و کاهش تأثیرات نامطلوب بر اهداف عملکردی پروژه در مرحله اجرا و کنترل آن می‌باشد. به‌طورکلی در این تحقیق قصد داریم ابتدا با کمک روش‌های فرا ابتکاری، برنامه زمانی مبنا را با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع و زمان، استخراج کرده و سپس در فاز اجرایی، با توجه به روند پروژه، به کمک روش پیش‌بینی فیلتر کالمن، مقادیر زمان، هزینه و منابع را برای یک دوره آتی، پیش‌بینی کنیم.

۲- ادبیات تحقیق

در ابتدا، به معرفی مفاهیم اولیه و تعاریف می‌پردازیم. در ادامه، اجزای مسئله زمان‌بندی پروژه معرفی می‌شوند و مروری نیز بر روی ادبیات تحقیق و پیشینه زمان‌بندی پروژه با اهداف و معیارهای غیرقطعی انجام می‌گردد. در پایان، انواع روش‌های حل مسائل مزبور موردبررسی قرار می‌گیرد؛ همچنین، الگوریتم‌های فرا ابتکاری مورداستفاده در این تحقیق به‌تفصیل بحث می‌شوند.

۲-۱ تعریف مدیریت پروژه

در حالت کلی، می‌توان این تعریف را برای مدیریت پروژه بیان کرد که «مدیریت پروژه دانشی است که با استفاده با علم مدیریت، ابزارها، تکنیک‌ها و تخصص‌های گوناگون، سعی دررسیدن به اهداف پروژه و انتظارات کارفرما دارد و هدف نهایی آن بهبود نتایج و بهینه کردن تمامی عوامل، محدودیت‌ها و متغیرهای تأثیرگذار در پروژه می‌باشد» (لارسون و گری، ۲۰۱۸). با توجه به اینکه پروژه‌ها، گوناگونی و تنوع زیادی دارند، تدوین یک متدولوژی و برنامه جامع و کامل که بتواند برای همه پروژه‌ها قابل‌استفاده باشد، غیرممکن به نظر می‌رسد. راه‌حلی که در این راه به نظر می‌رسد این است که پروژه‌ها را به‌نوعی تقسیم‌بندی نماییم که بتوانیم در هر مورد، روال مشخصی را تدوین و بکار بگیریم. عامل مهم دیگر در تنوع پروژه‌ها، دیدگاه کارفرمایان و متولیان پروژه می‌باشد. در هر یک از تقسیم‌بندی‌های فوق، علاوه بر اینکه ساختاری متفاوت را جهت مدیریت پروژه می‌توان تدوین کرد، از طرف دیگر، اولویت‌بندی محدودیت‌های پروژه از دید کارفرما حائز اهمیت می‌باشد. به‌طور مثال، در پروژه ساخت یک فرودگاه ممکن است کارفرما کنترل زمانی را در اولویت اصلی خود جهت مدیریت قرار داده و به تیم مدیریت پروژه دیکته کند و در مراحل بعد، هزینه کمتر، کیفیت بالاتر، منابع مؤثرتر و محدودیت‌های دیگر قرار گیرند؛ بنابراین، توجه به محدودیت‌ها و عوامل کنترل، اصلی‌ترین وظیفه مدیریت پروژه می‌باشد تا خواسته‌های صاحبان پروژه را برآورده سازد. اولویت‌دهی و وزن دهی محدودیت‌ها می‌تواند به نحو مؤثری در این رابطه مورداستفاده قرار گیرد (سبزه پرور، ۱۳۸۹).

۲-۲ زمان‌بندی پروژه

زمان‌بندی پروژه عبارت است از تعیین زمان شروع هر یک از فعالیت‌های پروژه با توجه به محدودیت‌های موجود در آن و تعیین یک توالی زمانی جهت انجام یکسری فعالیت وابسته با توجه به تقدم و تأخر آن‌ها (هرولین و دمولمیستر، ۲۰۰۲)، بطوریکه بین زمان تکمیل پروژه و هزینه کل، موازنه باشد و به‌منظور رسیدن به یک یا چند هدف مشخص و برای رسیدن به این اهداف، گزینه‌های موجود موردبررسی قرارگرفته باشد و نهایتاً بهترین گزینه برای انجام فعالیت‌ها به‌منظور تکمیل پروژه، انتخاب‌شده باشد (کاظمی و توکلی مقدم، ۲۰۱۱). برای زمان‌بندی در تمام پروژه‌ها محدودیت‌های تقدمی بین فعالیت‌ها وجود دارد، اما علاوه بر آن، محدودیت‌های دیگری ازجمله محدودیت‌های منابع و هزینه هستند. یکی از مشکلات رایج در مدیریت پروژه، اختلال زمان‌بندی‌ها در اثر عوامل کنترل نشدنی حین اجرای پروژه است، بنابراین، مدیران پروژه اغلب در پایبندی به تعهداتشان دچار مشکل می‌شوند؛ بنابراین، زمان‌بندی پروژه علاوه بر زمان ختم کوتاه، باید حین اجرا دچار کمترین اختلال شود. زمان‌بندی، یکی از مسائل مهم در مرحله برنامه‌ریزی پروژه است (هرولین و دمولمیستر، ۲۰۰۲).

محققین معتقدند که مهم‌ترین عامل شکست پروژه‌ها را می‌توان پیچیدگی پروژه‌ها و نیز ضعف مدل‌های سنتی مدیریت پروژه دانست. به عقیده‌ی آن‌ها پروژه‌های قرن ۲۱ را باید با تفکر نو و روش‌های پیشرفته و جدید مدیریت نمود (هاس، ۲۰۰۹). مدیریت زمان در

Archive of SID

www.SID.ir

پروژه به دلیل ماهیت موقتی و غیرتکراری پروژه‌ها و با توجه به جوهره مدیریت پروژه که مدیریت ریسک و عدم قطعیت است و با در نظر گرفتن تفاوت‌های هر پروژه با پروژه‌های دیگر، به یک قاعده استانداردی نیازمند می‌باشد که بتواند تغییرات لازم با نیازهای هر پروژه را داشته باشد (ترنر، ۲۰۱۴). افزایش پیچیدگی‌های پروژه منجر به ظهور الگوهای غیرقطعی شده است (پادالکار و گوپیناس، ۲۰۱۶). در تحقیقات مدیریت پروژه، اذعان شده است که دو دیدگاه باید در مدیریت پروژه لحاظ گردد: بهره‌وری پروژه (خروجی کارآمد) و موفقیت پروژه (ارائه نتایج سودمند). اولین دیدگاه در شرایط قطعی کاربرد دارد درحالی‌که دیدگاه دوم، شرایط منطقی‌تری را در نظر می‌گیرد و در شرایط پروژه، فاکتورهای غیرقطعی را نیز لحاظ می‌کند (دنیل و دنیل، ۲۰۱۷). بررسی مقالات اخیر نشان می‌دهد که بحث پیچیدگی و عدم قطعیت، همچنان مبهم است (رامش و برونینگ، ۲۰۱۴؛ کورشی و کانگ، ۲۰۱۵؛ برونینگ، ۲۰۱۴؛ ساندرز و همکاران، ۲۰۱۵). درزمینه‌ی خاص مدیریت پروژه نیز تعاریف گوناگونی از عدم قطعیت وجود دارد. برخی از محققان با دیدگاه استراتژیک، عدم قطعیت و ریسک را بر مبنای تابع هدف پروژه بیان می‌کنند. عدم قطعیت در فازهای اولیه چرخه عمر پروژه، به‌منظور مشخص نمودن آنچه می‌تواند انجام شود، تصمیم‌گیری درباره آنچه باید انجام شود و اطمینان از اینکه چه مواردی انجام خواهند شد، وجود دارد.

۲-۲-۱ طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی پروژه ازنظر توابع هدف

در مسائل زمان‌بندی پروژه، توابع هدف مختلفی در نظر گرفته می‌شوند که از معمول‌ترین آن‌ها در اکثر تحقیقات، مسئله حداقل کردن زمان اجرای پروژه است. زمان شروع پروژه معمولاً در زمان $T=0$ در نظر گرفته می‌شود که بااین‌وجود، تابع هدف، حداقل کردن بیشترین زمان خاتمه فعالیت پروژه است (آنجلا و چاو چنگ، ۲۰۰۸).

$$\min Cmax = \min\left(\max\left(S_j + P_j\right)\right) \quad (۱)$$

که در آن S_j زمان شروع و P_j زمان عملیات فعالیت j می‌باشد.

تدوین برنامه‌ریزی کلاسیک پروژه، معمولاً معیار بهینگی مانند حداقل طول یا حداقل تأخیر را مشخص می‌کنند. چنین معیارهایی تمایل دارند به‌طور ضمنی، استفاده از تجهیزات در طول افق زمانی برنامه‌ریزی‌شده را به حداکثر برسانند. درحالی‌که، مدیریت به‌طورمعمول دنبال به حداقل رساندن هزینه‌ها و به حداکثر رساندن استفاده از تجهیزات و منابع می‌باشد (اورجی و وی، ۲۰۱۳). در مسائل با یک مد اجرایی، برای انجام هر فعالیت پروژه، یک روش منحصربه‌فرد وجود دارد که تعیین‌کننده زمان فعالیت و میزان مصرف منابع مختلف است و ثابت فرض می‌گردد. در مسائل با چند مد اجرایی، هر فعالیت می‌تواند در یکی از مدها انجام شود و هر مد اجرایی دارای هزینه، زمان و میزان مصرف منابع مربوط به خود می‌باشد (ژنگ وین و همکاران، ۲۰۱۲)؛ بنابراین در حالت چند مد اجرایی، موازنه ممکن است.

۲-۲-۲ مسئله تبادل هزینه-زمان با محدودیت منابع

مسئله موازنه بین ارکان مختلف محدوده پروژه به اشکال مختلفی موردبررسی قرار می‌گیرد. به‌عنوان نمونه، موازنه بین زمان-هزینه، زمان-هزینه-کیفیت، کیفیت-هزینه و ... می‌باشد. بهینه‌سازی زمان و هزینه در یک پروژه، یک فرآیند اجرای مناسب فعالیت‌ها جهت تسریع و تصمیم‌گیری در مورد دست یافتن به بهترین حالت ممکن زمان و هزینه می‌باشد. ازآنجایی‌که در یک رابطه، سازش پنهان میان زمان و هزینه پروژه برقرار می‌باشد، لذا پیش‌بینی اینکه نتیجه فشرده‌سازی زمان‌بندی یک پروژه منجر به افزایش یا کاهش هزینه پروژه شود، دشوار است. اگر هزینه‌های مستقیم پروژه افزایش یابد به دلیل کاهش زمان پروژه، هزینه‌های غیرمستقیم (بالاسری، هزینه‌های ثابت و غیره) ممکن است کاهش یابد (اشتهاردیان، ۱۳۸۵). تارک هگازی و کساب (۲۰۰۳) سه حالت اجرایی برای هر فعالیت با توجه به تخصیص منابع در نظر گرفتند، سپس در هر دو مرحله برنامه‌ریزی و اجرای پروژه به موازنه زمان-هزینه با الگوریتم ژنتیک پرداختند. بدین شکل که در مرحله برنامه‌ریزی، با توجه به محدودیت زمان تحویل و یا هزینه و محدودیت دسترسی به منابع کلیدی، روش اجرای بهینه هر فعالیت با زمان و هزینه مربوط به هر یک به دست می‌آید، سپس در مرحله اجرای پروژه با فاصله هشت‌روزه و ارزیابی پروژه با روش ارزش کسب‌شده (EVM) می‌پردازد؛ بنابراین اگر انحراف زمانی یا هزینه‌ای مشاهده شود، برای فعالیت‌های باقی‌مانده پروژه مجدداً برنامه بهینه‌سازی اجرا می‌شود.

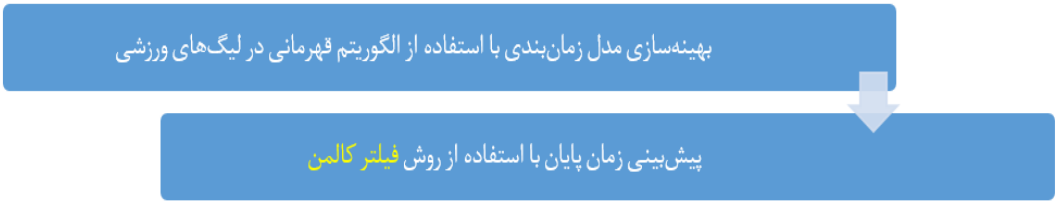
Archive of SID

www.SID.ir

روش‌های سنتی برای موازنه زمان-هزینه، زمان و هزینه را برای یک فعالیت به‌صورت یک‌حالته قطعی در نظر می‌گیرند؛ درحالی‌که ماهیت این دو شامل عدم قطعیت می‌باشد؛ بنابراین برای در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها و تجزیه‌وتحلیل اثرات احتمالی، از روش‌های شبیه‌سازی استفاده‌شده است (فنگ و همکاران، ۲۰۰۷)؛ همچنین یک الگوریتم نیز برای هدایت این آنالیز به سمت بهینگی نیاز می‌باشد که این تحقیق یک روش ترکیبی از الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی و روش‌های شبیه‌سازی برای حل مسئله موازنه زمان-هزینه در شرایط عدم قطعیت ارائه می‌دهد و نتیجه به‌دست‌آمده را با الگوریتم‌های انبوه ذرات و ژنتیک مقایسه می‌کند.

۳- مدل تحقیق

همانطور که در بخش قبل عنوان شد هدف این تحقیق، تدوین مدل بهینه‌ی زمان—هزینه با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری قهرمانی در لیگ‌های ورزشی است. در این تحقیق، هدف این است که تابع هدف به‌صورت، هم‌زمان حداقل کردن زمان و هزینه برآورده شود. در شکل ۱ مدل تحقیق را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱- مدل تحقیق.

۳-۱ مفروضات مدل پیشنهادی

- *تمامی مقادیر پارامترها به‌جز مدت‌زمان فعالیت‌ها و میزان منابع در دسترس، قطعی هستند.*
- *هر پروژه شامل دو فعالیت مجازی ابتدایی و انتهایی است با زمان فعالیت صفر و منابع موردنیاز صفر.*
- *منابع تجدید پذیر هستند بدین معنا که در هر واحد زمانی (روز) تعداد منابع مشخصی در اختیار است.*
- *نحوه استفاده از منابع در اجرای فعالیت‌ها، تک مدی است.*

۳-۲ معرفی مؤلفه‌های مدل پیشنهادی

در جدول ۱ به معرفی مؤلفه‌های مدل پیشنهادی می‌پردازیم:

جدول ۱- مؤلفه‌های مدل.

شماره	مؤلفه	تعریف
۱	n	تعداد کل فعالیت‌ها
۲	K	تعداد کل منابع
۳	T	تعداد کل روزها (افق زمانی)
۴	i	ایندکس فعالیت‌ها (1,2,…,n)
۵	j	ایندکس فعالیت‌ها (1,2,…,n)
۶	t	ایندکس روز (1,2,…,T)
۷	k	ایندکس منابع (1,2,…,K)

۳-۳ متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی

در جدول ۲ به معرفی متغیرهای تصمیم مدل پیشنهادی می‌پردازیم:

Archive of SID
www.SID.ir

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۳، شماره (۲)، تابستان ۱۳۹۷ ، صفحه: ۹۹-۱۱۳

جدول ۲- پارامترها و متغیرهای تصمیم مدل ریاضی مسئله تحقیق.

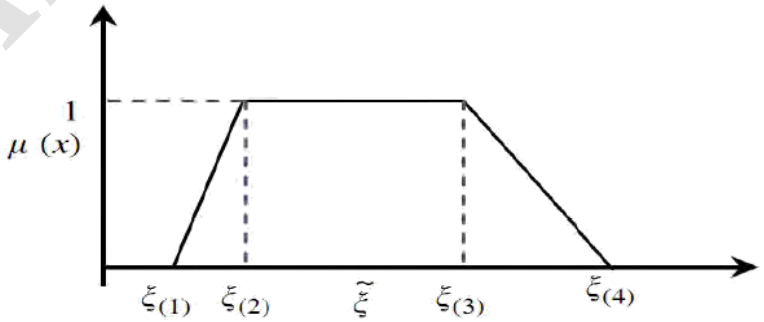
شماره	مؤلفه	تعریف
۱	s_j	خط مبنای شروع یا همان baseline duration است.
۲	S_j	شروع واقعی پروژه است.
۳	W_j	وزن فعالیت که به‌نوعی هزینه انحراف شروع واقعی فعالیت از شروع برنامه‌ای
۴	D_i	متغیر تصادفی که نشان‌دهنده مدت‌زمان تحقق فعالیت i است.
۵	WIP_t	مجموعه فعالیت‌هایی که در زمان t شروع می‌شوند.
۶	r_{ik}	میزان استفاده منبع k توسط فعالیت i
۷	A_{kt}	متغیر تصادفی که نشان‌دهنده تعداد منابع تجدید پذیر در زمان t است.
۸	τ	زمان نهایی پروژه است.
۹	V_{ij}	درجه بحرانی بودن
۱۰	b_i	میزان بافر به فعالیت i
۱۱	C_i	هزینه تخصیص یک واحد بافر به فعالیت i
۱۲	Budget	مقدار بودجه در دسترس به‌منظور تخصیص بافر
۱۳	δ	جریمه عدم برآورده سازی هر یک از محدودیت‌ها

۳-٤ معرفی مدل ریاضی

برنامه‌ریزی استوار جهت مقابله با عدم قطعیت در مسئله بهینه‌سازی برای تصمیم‌گیرندگان ریسک‌گریز توسعه داده‌شده است. در این حوزه، در ابتدا، سویستر (۱۹۷۳) به ارائه مدل بدترین حالت ممکن برای مسائل خطی پرداخت. قابل‌توجه است که رویکرد استوار توسط نویسندگان مختلفی برای شرایط واقعی نظیر زنجیره‌های تأمین مورد پیاده‌سازی قرار گرفت. روش حل در این مقاله بر اساس روش امکانی محدودیت شانس عنوان‌شده توسط پیشوایی و همکاران (۲۰۱۲)، بیان‌شده است.

یک جواب در مسئله بهینه‌سازی، استوار است، اگر و تنها اگر دارای خواص استوار شدنی و استواری بهینگی باشد. استواری شدنی به این معنا است که جواب تقریباً برای تمامی مقادیر پارامترهای غیرقطعی، شدنی باقی بماند و استواری بهینگی به این معنا است که مقدار تابع هدف برای پارامترهای مختلف، تغییرپذیری کمتری خواهد داشت.

مسئله بهینه‌سازی زیر را در نظر بگیرید:



شکل شماره ۲- توزیع امکان پارامتر فازی ذوزنقه‌ای.

$$\min z = cx$$

Subject to:

$$Ax \le b \qquad x \ge 0$$

Archive of SID

www.SID.ir

که در مدل بالا، C ماتریس مقادیر ضریب هزینه، A ضرایب مربوط به میزان مصرف منابع، b مقادیر مربوط به سمت راست و x متغیر مسئله می‌باشد. برای شکل دادن به مدل مسئله با محدودیت شانس که شامل پارامترهای غیرقطعی می‌باشد، از اپراتور ارزش انتظاری استفاده می‌شود. در این تحقیق، توزیع امکان ذوزنقه مورداستفاده قرارگرفته است که در شکل ۲ آمده است. شکل تابع، توسط چهار نقطه $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4)$ مشخص می‌شود. مشخص است زمانی که ε_2 با مقدار ε_3 برابر گردد $(\varepsilon_3 = \varepsilon_2)$ آنگاه تابع ذوزنقه‌ای به تابع مثلثی تبدیل می‌گردد. با توضیحات ارائه‌شده در بالا، مدل مرجع با محدودیت شانس به شکل زیر قابل‌بیان است:

$$\min E(z) = E(\tilde{c})x$$

Subject to:

$$Nec\{Ax \le \tilde{b}\} \ge \alpha$$

$$x \ge 0$$

در مسائل برنامه‌ریزی استوار با محدودیت شانس می‌توان به مدل کلی زیر اشاره نمود (پیشوایی و همکاران، ۲۰۱۲).

$$\min E(z) + \gamma(z_{max} - z_{min}) + \delta(b_{(1)} - \alpha \times b_{(1)} - (1-\alpha) \times b_{(2)})$$

Subject to:

$$Ax \le\ b_{(1)} - \alpha \times b_{(1)} - (1-\alpha) \times b_{(2)}$$

$$x \ge 0$$

که در مدل بالا

$$z_{max} = C_{(4)} \times x$$
$$z_{min} = C_{(1)} \times x$$

در نظر گرفته‌شده است$(b_{(1)} - \alpha \times b_{(1)} - (1-\alpha) \times b_{(2)})$. سطح اطمینان هر یک از محدودیت‌های شانس را بیان می‌کند که در آن، δ جریمه‌ی عدم برآورده سازی هر یک از محدودیت‌های است. δ پارامتر کنترل استوار شدنی بودن است که می‌تواند تحت عنوان ضرر ناشی از عدم برآورده سازی تقاضا در نظر گرفته شود. با توجه به مدل فوق، مدل نهایی ارائه‌شده به‌قرار زیر است:

(۲)

$$Min\ Z = \sum_{J=1}^{N} W_j(E(S_j) - s_j) + \gamma(z_{max} - z_{min}) + \delta_1 \sum_{i=1}^{n} \left(D_{i,(4)} - (1-\alpha_1)D_{i,(3)} - \alpha_1 D_{i,(4)}\right) + \delta_2 \sum_{k=1}^{m} \sum_{t=1}^{n} (A_{kt(1)} - \alpha_2 A_{kt(1)} - (1-\alpha_2)A_{kt(2)})$$

(۳)

$$\forall\ (i,j) \in R \qquad S_j - S_i \ge (1-\alpha_1)D_{i,(3)} + \alpha_1 D_{i,(4)}$$

(۴)

$$\forall\ t = 1,2,3,\dots\partial,\ \ k = 1,2,\dots,K \qquad \sum_{i \in WIP_t}^{N} r_{ik} \ge (1-\alpha_2)A_{kt(2)} + \alpha_2 A_{kt(1)}$$

(۵)

$$\forall\ j = 1,2,\dots,N \qquad s_j \le S_j$$

(۶)

$$s_N \le \tau$$

(۷)

$$0.5 \le \alpha_i \le 1$$

Archive of SID

www.SID.ir

در مدل فوق مقدار Z_{max} و Z_{min} برابر است با:

$$z_{max} = \sum_{i=1}^{n}(D_{i,(4)}) + \sum_{k=1}^{m}\sum_{t=1}^{n}(A_{kt(2)})$$
$$z_{min} = \sum_{i=1}^{n}(D_{i,(3)}) + \sum_{k=1}^{m}\sum_{t=1}^{n}(A_{kt(1)})$$

- *تابع هدف (۲) بیانگر کمینه‌سازی زمان اتمام کل پروژه است.*
- *محدودیت (۳) تضمین می‌کند هر فعالیت می‌تواند بعد از اتمام فعالیت‌های پیش‌نیازی خود، کار خود را آغاز نماید.*
- *محدودیت (۴) تضمین می‌کند که هر فعالیت زمانی می‌تواند انجام شود که به‌اندازه منابع موردنیازش، منبع در اختیار داشته باشد.*
- *محدودیت (۵) تضمین می‌کند که هر فعالیت زودتر از زمانی که برنامه‌ریزی‌شده است، شروع نشود.*
- *محدودیت (۶) تضمین می‌کند که کل فعالیت‌های پروژه تا زمان نهایی پروژه، انجام شوند.*

٤- حل مدل و نتایج حاصل از آن

در بخش تئوری این تحقیق، به‌کارگیری و ارائه الگوریتم‌های فرا ابتکاری از نوع تحقیقات توسعه‌ای می‌باشد؛ با زمان‌بندی یک پروژه واقعی با توجه به هدف مورد انتظار، این تحقیق به یک تحقیق کاربردی تبدیل می‌شود و از مباحث و نتایج به‌دست‌آمده در بخش اول تحقیق در یک پروژه نیروگاهی استفاده می‌شود. مسئله، با تمام محدودیت‌های آن در محیط Matlab توسط سه الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی، انبوه ذرات (PSO) (کومار و ویدیارتی، ۲۰۱۶) و ژنتیک (GA) (گونکالوز و همکاران، ۲۰۰۸) حل‌شده است. همان‌گونه که در شکل ۱ مدل مسئله به تصویر کشیده شده است، ما در این مقاله با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری قهرمانی در لیگ‌های ورزشی، برنامه‌ی زمان‌بندی اولیه پروژه را با در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی، استخراج می‌کنیم، سپس برنامه زمان‌بندی به‌عنوان ورودی به الگوریتم بازگشتی فیلتر کالمن داده می‌شود. این الگوریتم با توجه به روند اجرایی پروژه ، روند پیشرفت پروژه را برای یک دوره آتی پیش‌بینی می‌کند و این چرخه در صورت نیاز تا انتهای پروژه تکرار می‌گردد.

٤-١ معرفی الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی

الگوریتم فرا ابتکاری قهرمانی در لیگ‌های ورزشی که در سال ۲۰۰۹ معرفی‌شده است، الگوریتمی مبتنی بر جمعیت می‌باشد. این الگوریتم تلاش می‌کند محیطی را مدل کند که در این محیط، تیم‌ها در یک لیگ برای چند هفته (تکرار) بازی کنند. این الگوریتم با در نظر گرفتن مقدار تابع هدف به‌عنوان قدرت تیم‌هایی که مقابل یکدیگر بازی می‌کنند و نیز با در نظر گرفتن راه‌حل‌ها به‌عنوان سیستم تیم‌هایی که در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند، نوعی مسابقه را شبیه‌سازی می‌نماید. این الگوریتم با استفاده از استراتژی SWOT برای آنالیز تیم‌ها، می‌تواند آرایش تیمی را برای مسابقات شبیه‌سازی‌شده به دست آورد. این روش، بر اساس نقاط قوت ، ضعف ، فرصت‌ها و تهدیدها عمل می‌نماید. SWOT چهار نوع تطبیق در الگوریتم لیگ قهرمانان انجام می‌دهد.

- *تطبیق* S/T *که نقاط قوت را در مقابل تهدیدات رقبا نشان می‌دهد.*
- *تطبیق* S/O *که نقاط قوت و فرصت‌ها را همزمان نشان می‌دهد.*
- *تطبیق* W/T *که نقاط ضعف را در برابر تهدیدات رقبا نشان می‌دهد.*
- *تطبیق* W/O *که نقاط ضعف را در برابر فرصت‌های پیش رو نشان می‌دهد.*

همچنین با در نظر گرفتن شش قانون ایده آل، این الگوریتم به بهترین نحو عمل می‌نماید. تعداد فصل‌ها (S) و تعداد تیم‌ها (L)، پارامترهایی قابل تنظیم هستند که تغییر آن‌ها در پاسخ نهایی الگوریتم تأثیر مستقیم دارد.

فرضیاتی که در LCA مبنا قرار می‌گیرند عبارت‌اند از:

Archive of SID

www.SID.ir

فرض ۱: تیم قوی‌تر احتمال برد بیشتری نسبت به تیم ضعیف‌تر دارد، اما تیم ضعیف‌تر، همچنان شانس بردن تیم قوی‌تر را دارد.

فرض ۲: احتمال برد یک تیم یا باخت تیم مقابل ازنقطه‌نظر هر دو تیم یکسان است.

فرض ۳: نتیجه بازی‌ها تنها به‌صورت برد یا باخت بوده و امکان تساوی وجود ندارد.

فرض ۴: تمرکز تیم‌ها بر بازی هفته آتی خود بوده و تمامی تغییرات در آرایش تیمی بر مبنای وقایع رخ‌داده در هفته قبل است. آرایش اتخاذ شونده بر مبنای بهترین آرایش تیمی یافت شده تا آن لحظه صورت می‌پذیرد (حسین زاده کاشان، ۲۰۰۹).

٤-۱-۱ ایجاد برنامه بازی‌های لیگ

جهت تولید یک برنامه زمانی برای مسابقات لیگ، ابتدا فرض می‌شود هر دو تیم در طول فصل، فقط یک بازی (تک رفتی) با یکدیگر انجام دهند. در پایان فصل، هر یک از L تیم حاضر $L-1$ مسابقه انجام خواهد داد که این یعنی آنکه درمجموع $\frac{L(L-1)}{2}$ بازی در طول هر فصل انجام می‌پذیرد.

٤-۱-۲ تعیین تیم برنده در یک بازی

برنده یک بازی بر اساس مقایسه یک عدد تصادفی تولیدشده با مقدار تابعی به دست می‌آید که با میزان قدرت آن تیم رابطه مستقیم دارد، یعنی شانس برد تیم قوی‌تر بیشتر است ولی درعین‌حال، شانس برنده شدن در بازی با یک تیم قوی‌تر همچنان باقی است (فرض ۱). آرایش تیمی و میزان قدرت تیم i در هفته t را به ترتیب با x_i^t و $f(x_i^t)$ نشان می‌دهند. فرض کنید، تیم‌های i و j در هفته t با یکدیگر مسابقه می‌دهند در این صورت احتمال برد تیم i در هفته t که با p_i^t نشان داده می‌شود از فرمول (۸) به دست می‌آید (به شکلی مشابه p_j^t قابل‌تعریف می‌باشد). بدیهی است که $p_i^t + p_j^t = 1$. عدد حاصل از آن تابع، مرزی را در بازه $[0,1]$ ایجاد می‌نماید. اکنون عددی تصادفی تولید می‌گردد؛ درصورتی‌که کوچک‌تر از p_i^t (مرز تعیین‌شده) باشد، تیم موردنظر برنده آن مسابقه تعیین می‌گردد و در غیر این صورت، بازنده است. اگر $\hat{f}$ بهترین مقدار تابع هدف تا آن لحظه باشد (یک کران پایین برای تابع هدف مسئله باشد) مقدار p_i^t از فرمول (۸) به دست می‌آید (حسین زاده کاشان، ۲۰۰۹).

$$p_i^t = \frac{f(x_j^t) - \hat{f}}{f(x_j^t) - f(x_i^t) - 2\hat{f}} \qquad (۸)$$

چون مقدار $\hat{f}$ از قبل مشخص نمی‌باشد، باید از فرمول $\hat{f}^t = \min_{i=1,2,\dots,L}\{f(B_i^t)\}$ استفاده شود که در آن B_i^t بهترین آرایش یافت شده تاکنون می‌باشد (مقدار اولیه تابع هدف در ابتدا جایگزین بهترین مقدار می‌شود و سپس کم‌کم بهبود داده می‌شود).

٤-۱-۳ تغییر در آرایش تیمی

چهار راهبرد مختلف جهت مقابله با تیم حریف در هر هفته، برای هر تیم قابل اتخاذ است؛ هر راهبرد، از ترکیبی دوتایی از چهار نظرگاه SWOT پدید می‌آید. این ترکیب‌ها عبارت‌اند از S/T، S/O، W/O، W/T که هر یک، معادلات منحصر به خود را دارا هست (معادلات (۹) تا (۱۲)). در این معادلات، i، l، j و k به ترتیب عبارت‌اند از اندیس‌های تیم خودی، تیم حریف در هفته جاری $(t+1)$، تیم حریف در هفته گذشته (t) و تیمی که در هفته گذشته (t) با حریف کنونی مسابقه داده است $(i = 1,2, \dots L)$. آرایش تیم i در هفته t با $x_i^t = (x_{i1}^t, \dots, x_{in}^t)$ و بهترین آرایش تیمی به‌دست‌آمده تا هفته t (حاکی از بهترین مقدار به‌دست‌آمده تابع هدف) با $B_i^t = (b_{i1}^t, \dots, b_{in}^t)$ نشان داده می‌شوند. در زیر، برای نشان دادن یک مؤلفه از هر بردار بالا، از نماد d استفاده‌شده است $(d = 1,2, \dots, n)$.

Archive of SID

www.SID.ir

اگر هر دو تیم i و l در هفته t برنده بازی‌های خود با تیم‌های j و k باشند، آرایش تیمی i در هفته $t+1$ با استراتژی S/T به‌صورت زیر است:

$$x_{id}^{t+1} = b_{id}^{t} + y_{id}^{t}\left(\psi_1 r_1 (b_{id}^{t} - b_{kd}^{t}) + \psi_1 r_2 (b_{id}^{t} - b_{jd}^{t})\right) \quad \forall d = 1, \dots, n \qquad (۹)$$

اگر در هفته t، تیم i از j برده باشد و تیم l به k باخته باشد، آرایش تیمی i در هفته $t+1$ با استراتژی S/O طراحی گردیده و به‌صورت زیر خواهد بود:

$$x_{id}^{t+1} = b_{id}^{t} + y_{id}^{t}\left(\psi_2 r_1 (b_{kd}^{t} - b_{id}^{t}) + \psi_1 r_2 (b_{id}^{t} - b_{jd}^{t})\right) \quad \forall d = 1, \dots, n \qquad (۱۰)$$

اگر در هفته t ، تیم i به j باخته و تیم l بر k غلبه کرده باشد، آرایش تیمی i در هفته $t+1$ با استراتژی W/T طراحی گردیده و به‌صورت زیر خواهد بود:

$$x_{id}^{t+1} = b_{id}^{t} + y_{id}^{t}\left(\psi_1 r_2 (b_{id}^{t} - b_{kd}^{t}) + \psi_2 r_1 (b_{jd}^{t} - b_{id}^{t})\right) \quad \forall d = 1, \dots, n \qquad (۱۱)$$

اگر هر دو تیم i و l در هفته t بازنده بازی‌های خود با تیم‌های j و k باشند، آرایش تیمی i در هفته $t+1$ با استراتژی W/O به‌صورت زیر است:

$$x_{id}^{t+1} = b_{id}^{t} + y_{id}^{t}\left(\psi_2 r_2 (b_{kd}^{t} - b_{id}^{t}) + \psi_2 r_1 (b_{jd}^{t} - b_{id}^{t})\right) \quad \forall d = 1, \dots, n \qquad (۱۲)$$

در معادلات بالا ψ_1 و ψ_2 ضرایب ثابت دورکننده و نزدیک کننده به ترتیب در بازه‌های $[0,6]$ و $[0.9,1.1]$، r_1 و r_2 اعداد تصادفی یکنواخت در بازه $[0,1]$ و y_{id}^{t} مؤلفه بردار باینری تصادفی است که مشخص می‌سازد d-امین عنصر از بردار x_{id}^{t+1} تغییر می‌کند یا خیر (حسین زاده کاشان، ۲۰۰۹). برای همه تیم‌ها، به همین شکل معادله تعریف می‌شود. تعداد یک‌های این بردار باینری از یک توزیع تصادفی هندسی با پارامتر p_c تبعیت می‌کند.

٤-۲ مقایسه بین نتایج و داده‌های واقعی

برای حل مدل در این قسمت از داده‌های پروژه پیاده‌سازی سیستم مدیریت وظایف در یکی از ارگان‌های دولتی استفاده‌شده است. بعد از حل مدل به‌وسیله هر سه الگوریتم، جواب‌های متفاوتی حاصل‌شده که در ادامه به مقایسه بین جواب‌ها در حالت‌های مختلف می‌پردازیم. با توجه به بررسی جواب‌های به‌دست‌آمده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری فوق، کیفیت جواب سه الگوریتم به تفکیک در جدول ۳ و در شکل ۳ نمایان می‌گردد.

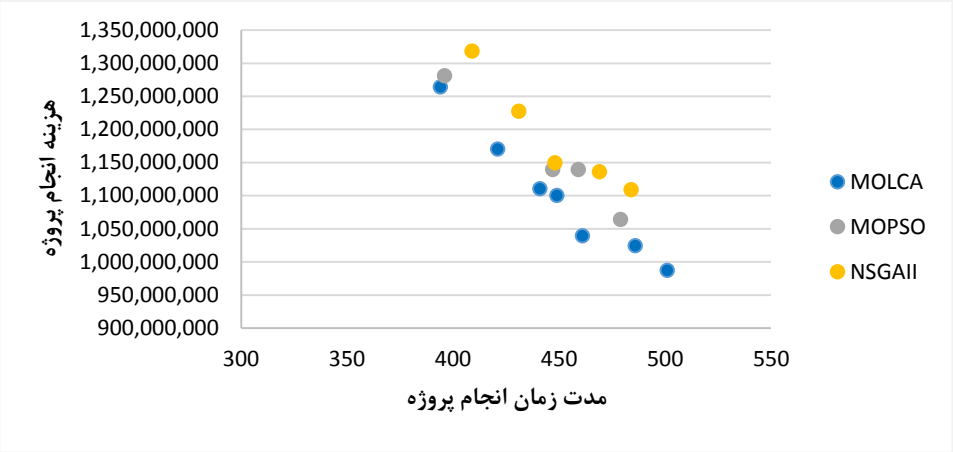
جدول ۳- ارزیابی جواب‌های پارتو به تفکیک الگوریتم‌های فرا ابتکاری.

الگوریتم چند هدفه LCA			الگوریتم چند هدفه PSO			الگوریتم چند هدفه NSGAII		
شاخص Q	هزینه	زمان	شاخص Q	هزینه	زمان	شاخص Q	هزینه	زمان
۱	۱,۲۶۴,۶۴۰,۰۰۰	۳۹۴	۰	۱,۲۸۱,۴۴۰,۰۰۰	۳۹۶	۰	۱,۳۱۸,۷۰۰,۲۹۰	۴۰۹
۱	۱,۱۷۰,۵۱۰,۲۹۰	۴۲۱	۰	۱,۱۳۹,۷۰۰,۲۹۰	۴۴۷	۰	۱,۲۲۷,۷۰۰,۲۹۰	۴۳۱
۱	۱,۱۱۰,۶۱۰,۲۹۰	۴۴۱	۰	۱,۱۳۹,۹۱۰,۲۹۰	۴۵۹	۰	۱,۱۴۹,۷۰۰,۲۹۰	۴۴۸
۱	۱,۱۰۰,۵۱۰,۰۰۰	۴۴۹	۰	۱,۰۶۴,۵۱۰,۰۰۰	۴۷۹	۰	۱,۱۳۶,۶۱۰,۲۹۰	۴۶۹
۱	۱,۰۳۹,۵۱۰,۰۰۰	۴۶۱				۰	۱,۱۰۹,۴۴۰,۰۰۰	۴۸۴
۱	۱,۰۲۴,۵۱۰,۰۰۰	۴۸۶						
۱	۹۸۷,۴۶۴,۰۰۰	۵۰۱						

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۳، شماره (۲)، تابستان ۱۳۹۷ ، صفحه: ۹۹-۱۱۳

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳- مقایسه جواب الگوریتم‌های فرا ابتکاری.

جدول ۵- ارزیابی جواب‌های پارتو به تفکیک الگوریتم‌های فرا ابتکاری.

الگوریتم چند هدفه PSO			الگوریتم چند هدفه NSGAII		
شاخص Q	هزینه	زمان	شاخص Q	هزینه	زمان
۱	۱,۲۸۱,۴۴۰,۰۰۰	۳۹۶	۰	۱,۳۱۸,۷۰۰,۲۹۰	۴۰۹
۱	۱,۱۳۹,۷۰۰,۲۹۰	۴۴۷	۰	۱,۲۲۷,۷۰۰,۲۹۰	۴۳۱
۰	۱,۱۳۹,۹۱۰,۲۹۰	۴۵۹	۱	۱,۱۴۹,۷۰۰,۲۹۰	۴۴۸
۱	۱,۰۶۴,۵۱۰,۰۰۰	۴۷۹	۰	۱,۱۳۶,۶۱۰,۲۹۰	۴۶۹
			۰	۱,۱۰۹,۴۴۰,۰۰۰	۴۸۴

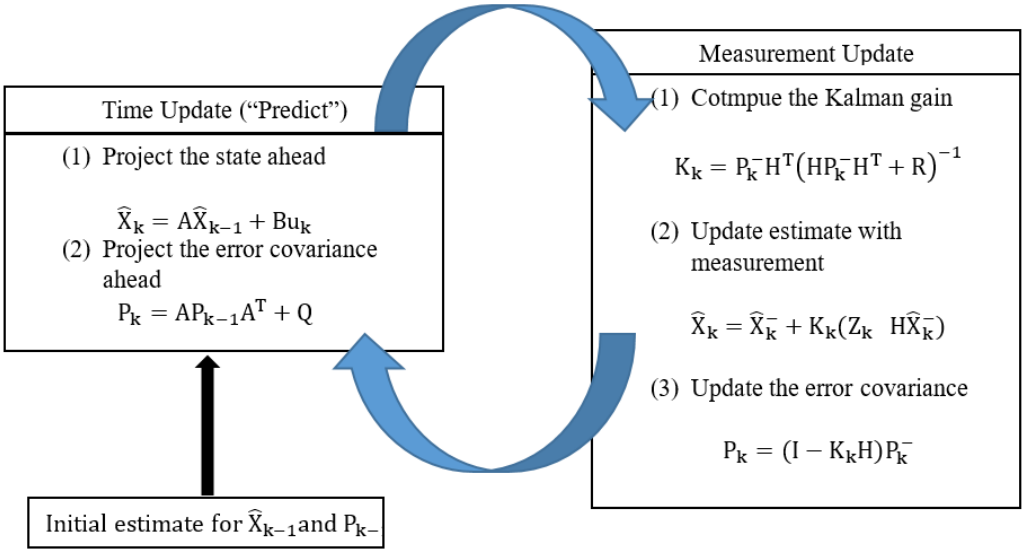
۳-٤ معرفی الگوریتم فیلتر کالمن

روش فیلتر کالمن، یک الگوریتم چرخشی (برگشتی)، برای تخمین درست اما ناپیدای حالت یک سیستم دینامیک در حضور مشاهدات یا داده‌هایی که توأم با خطا هستند، می‌باشد. از سال ۱۹۰۰ که ردولف کالمن مقاله خود را در مورد راه‌حلی برای مشکل فیلتر نمودن داده‌های خطی گسسته ارائه نمود، تاکنون کاربرد این روش در زمینه‌های وسیعی از پیگیری الگوریتم سیستم‌های رادار گرفته تا پیش‌بینی و کنترل، به‌صورت چشم‌گیری پیشرفت کرده است. درزمینه‌ی مهندسی عمران نیز روش فیلتر کالمن و فیلتر کالمن توسعه‌یافته در تشخیص مشکلات سازه‌ای، کنترل سازه و پیش‌گویی‌ها استفاده‌شده است. امروزه پیشرفت چشمگیر توانایی کامپیوترهای شخصی و نرم‌افزارها، روش فیلتر کالمن را به ابزاری قابل‌استفاده برای مدیران پروژه تبدیل نموده است. در این تحقیق، از این روش به‌منظور پیگیری روند پیشرفت پروژه و پیش‌بینی اینکه در آینده چه وضعیتی را خواهد داشت استفاده‌شده است.

الگوریتم فیلتر کالمن، از یک چرخه برگشت‌پذیر که در شکل ۴ نشان داده‌شده است تشکیل می‌شود. در روش فیلتر کالمن، حالت یک سیستم دینامیک در هر زمان k با دو نوع متغیر نشان داده می‌شود: متغیرهای حالت (x_k) و متغیرهای کواریانس خطا (P_k). کواریانس خطا، عدم قطعیت در تخمین متغیرهای حالت را نشان می‌دهد. متغیر حالت و کواریانس خطا در هر فاصله زمانی K به‌وسیله دو مدل خطی تصادفی به هنگام می‌شوند: مدل اندازه‌گیری و مدل سیستم. مدل اندازه‌گیری با استفاده از مشاهدات جدید (Z_k)، داده‌های مقدماتی را بهنگام می‌کند و مدل سیستم، حالت آینده سیستم را در مرحله بعدی زمان پیش‌بینی می‌نماید.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل شماره ۴- چرخه کامل فیلتر کالمن.

در این روش، پیشرفت پروژه به‌عنوان یک سیستم با دو متغیر حالت، در طی زمان مدل‌سازی می‌شود: TV_k و نرخ تغییر آن در طی دوره گزارش ($\frac{dTV_k}{dt}$). متغیر حالت KFFM به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_k = \begin{Bmatrix} TV_k \\ TV_k/_{dt} \end{Bmatrix} \quad (۱۳)$$

محاسبات متغیر حالت x_k و مشاهده جدید z_k از طریق دو فرمول زیر انجام می‌شود:

$$x_k = Ax_{k-1} + w_{k-1} \quad (۱۴)$$

$$z_k = Hx_k + v_k, \quad (۱۵)$$

به‌طوری‌که w_{k-1} خطای تصادفی که بیانگر تغییرات در انحرافات TV در یک دوره گزارش، w_{k-1}^2 بیانگر واریانس اختلال فرآیند تصادفی است. واریانس اختلاف فرآیند، عدم قطعیت را در مدل فرآیند نشان می‌دهد. پارامتر v_k نشانگر اختلال اندازه‌گیری است که خطا را در اندازه‌گیری واقعی بیان می‌کند. A ماتریس مربعی انتقال معلوم فرآیند، dt اختلاف میان دو ماه متوالی و H ماتریس مشاهده مستطیلی است (عظیم و همکاران، ۲۰۱۴).

$$A = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; w_{k-1} = \begin{bmatrix} 0 \\ w_{k-1} \end{bmatrix}; Q_k = COV[w_{k-1}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & q \end{bmatrix}$$

کوواریانس خطا به‌وسیله تخمین خطای حالت، یعنی تفاوت بین مقدار صحیح (اما نامعلوم) حالت سیستم x_k و تخمین حالت سیستم $\widehat{x_k}$ تعیین می‌شود.

$$P = E([x_k - \widehat{x_k}][x_k - \widehat{x_k}]^T \quad (۱۶)$$

فرآیند پیش‌بینی بدین شکل است که قبل از مشاهده داده‌های جدید، یک تخمین اولیه از متغیر حالت بر اساس تخمین متغیر حالت مرحله قبل انجام و ماتریس انتقال محاسبه می‌شود.

Archive of SID

www.SID.ir

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1}^+ \quad (۱۷)$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1}^+ A_k^T + Q_{k-1} \quad (۱۸)$$

در ادامه، مدل اندازه‌گیری، اطلاعات قبلی را با استفاده از مشاهده جدید z_k به‌روزرسانی می‌کند تا تخمین قبلی x_k را بهبود دهد.

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k(Z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (۱۹)$$

ماتریس وزنی K را بهره کالمن می‌نامند و طوری تعیین می‌شود که کوواریانس خطای تخمین ثانویه P_k^+ را حداقل کند. یکی از فرمول‌های ارائه‌شده، به شکل زیر می‌باشد (کیم، ۲۰۱۰):

$$K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^+ + R_k)^{-1} \quad (۲۰)$$

$$P_k^+ = [I - K_k H P_k^-] \quad (۲۱)$$

به‌عنوان نمونه، در حالتی‌که از فیلتر کالمن برای زمان پروژه استفاده می‌شود، هدف از پیش‌بینی منحنی پیشرفت، تخمین و به‌روزرسانی زمان نهایی اتمام پروژه (EDAC) در هر زمان t_k می‌باشد. وقتی تخمین $\widehat{x_k}$ یعنی اختلاف زمان $\widehat{TV_k}$ در هر زمان t_k به دست آمد، ارزش کسب‌شده مورد انتظار $\widehat{EV_k}$ در آن زمان به‌وسیله منحنی پیشرفت پایه تعیین می‌شود.

$$\widehat{EV_k} = PV(\widehat{ES_k}) \quad (۲۲)$$

$$(\widehat{ES_k}) = t_k + \widehat{TV_k} = t_k + \widehat{x_k} \quad (۲۳)$$

حال، زمانی که رابطه زیر محقق شود، EDAC حاصل می‌شود:

$$\widehat{EV_k} > BAC \quad (۲۴)$$

وقتی به چنین زمانی (t_k) رسیدیم که در رابطه بالا صدق می‌کرد، EDAC به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$EDAC = t_k - \alpha(t_k - t_{k-1}) \cong t_k \qquad 0 \le \alpha \le 1 \quad (۲۵)$$

محدوده تخمین EDAC را نیز می‌توان به‌صورت مستقیم از نتایج فیلتر کالمن به‌صورت ماتریس کوواریانس خطای P_k به دست آورد (کیم، ۲۰۰۷).

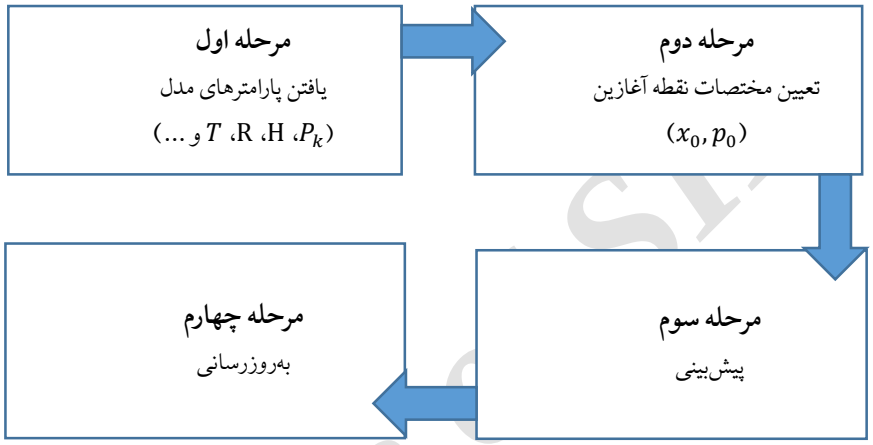
Archive of SID

www.SID.ir

نشریه تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۳، شماره (۲)، تابستان ۱۳۹۷ ، صفحه: ۹۹-۱۱۳

برای تلفیق روش فیلتر کالمن و مدیریت ارزش کسب‌شده فرض می‌شود پیشرفت تجمعی پروژه، از معادله پویای فضای حالت که پیشرفت واقعی پروژه را نشان می‌دهد حاصل می‌شود (کیم و همکاران، ۲۰۱۰). روش فیلتر کالمن با داشتن اطلاعات اولیه موجود و در نظر گرفتن خطاهای اجرا و اندازه‌گیری، با مینیمم کردن میانگین مربعات خطاها، یک تخمین بهینه از وضعیت پروژه ارائه می‌دهد و ین روند تا انتهای پروژه ادامه می‌یابد. همچنین با توجه به عدم قطعیتی که در پیش‌بینی وضعیت آینده پروژه وجود دارد، مقداری تحت عنوان خطای فرآیند در مدل سیستم بیان می‌شود. کیم (۲۰۰۷؛ ۲۰۱۰) و عظیم و همکاران (۲۰۱۴) از روش فیلتر کالمن برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها آتی برای زمان و کیم (۲۰۱۱) برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در هر دو بخش زمان و هزینه استفاده کرده‌اند. همچنین عطارزاده و چوا (۲۰۱۱) از روش فیلتر کالمن برای ارزیابی ریسک عملکرد (زمان و هزینه) در پروژه‌های بلندمدت زیر ساختاری استفاده کرده‌اند.

در این تحقیق از تلفیق روش مدیریت ارزش کسب‌شده و روش فیلتر کالمن برای آنالیز ریسک و پیش‌بینی در هر سه مورد از اهداف عملکردی شامل زمان، هزینه استفاده‌شده است. در ادامه، در شکل ۵، فلوچارت اجرای الگوریتم فیلتر کالمن را مشاهده می‌کنیم.



شکل شماره ۵- روند اجرای فیلتر کالمن.

۴-۳-۱ پیش‌بینی پروژه توسط الگوریتم فیلتر کالمن

ما در نرم‌افزار اکسل، اطلاعات واقعی پروژه را وارد می‌نماییم و با توجه به روند اجرایی پروژه، روند اجرایی پروژه را برای یک دوره انجام می‌دهیم. اطلاعات واقعی، توسط مدیر پروژه اعلام می‌گردد و خروجی نرم‌افزار که در شکل ۶ مشاهده می‌کنید، پیش‌بینی روش کالمن را در نرم‌افزار اکسل نشان می‌دهد.

<Less

initial values:		ctual parameters	
R(k):	0.11	ML:	813.00
mu:	813.00	OP:	2032.50
sigma:	243.90	PS:	569.10
Max. Meas.	1.00	Est. Period:	27.00
Q(k):	9.00	dt:	
W(k-1):	9.00	Planed Date:	813.00

Month	Data		Forecasting Process									
	Earned Schedule	Actual Time	Actual Z(t)	EV F	X(t)-	Z(t)	Error	p(t)-	k(t)	p(t)+	X(t)+	
1	2.78	30.00	27.22		9.00	10.00	17.22	9.00	0.99	0.11	26.01	18.22
2	25.51	60.00	34.49		35.01	36.01	-1.51	9.11	0.99	0.11	33.51	18.44
3	36.43	90.00	53.57		42.51	43.51	10.06	9.11	0.99	0.11	52.45	18.44
4	78.00	120.00	42.00		61.45	62.45	-20.45	9.11	0.99	0.11	41.25	18.44
5	130.73	150.00	19.27		50.25	51.25	-31.98	9.11	0.99	0.11	18.65	18.44
6	136.24	180.00	43.76		27.65	28.65	15.11	9.11	0.99	0.11	42.58	18.44
7	196.36	210.00	13.64		51.58	52.58	-38.94	9.11	0.99	0.11	13.11	18.44
8												

شکل ۶- نتیجه پیش‌بینی فیلتر کالمن.

www.SID.ir

با توجه به روند اجرایی پروژه، روش پیش‌بینی فیلتر کالمن پیش‌بینی نموده است که همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌کنید، با این روند، تأخیر انتهای کار ۴۵/ ۲۶۰ می‌باشد.

EAC						
P		TV-	TV+	Posterior P		Posterior TV
0.11	9.00	9.00	26.01	234.99	260.45	260.45
0.11	9.11	35.01	33.51	225.11	225.11	258.51
0.11	9.11	42.51	52.45	216.11	216.11	268.45
0.11	9.11	61.45	41.25	207.11	207.11	248.25
0.11	9.11	50.25	18.65	198.11	198.11	216.65
0.11	9.11	27.65	42.58	189.11	189.11	231.58
0.11	9.11	51.58	13.11	180.11	180.11	193.11
9.11	9.11	22.11	22.11			

شکل ۷-جزئیات محاسبات فیلتر کالمن.

۵- نتیجه‌گیری

همان‌گونه که مشاهده شد، در این تحقیق، علاوه بر ارائه یک مدل ریاضی کاربردی که به‌تفصیل در بخش سوم موردبررسی قرار گرفت، از ۳ الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک، الگوریتم چندهدفه LCA و ازدحام ذرات به‌صورت هم‌زمان برای حل مسئله زمان‌بندی پروژه دو هدفه استفاده گردید. از سوی دیگر مدل ارائه‌شده علاوه بر در نظر گرفتن دو هدف، مسئله زمان‌بندی پروژه را با در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی در حالت روابط پیش‌نیازی کلی در نظر گرفته است که این مدل در بررسی ادبیات پژوهش توسط پژوهشگران مشاهده‌شده است. در ادامه، به‌منظور اعتبارسنجی الگوریتم و بررسی توانایی آن در حل مسائل نمونه موجود در ادبیات موضوع و نیز به‌منظور سنجش توانایی الگوریتم در دستیابی به جواب‌های بهینه، آزمایش‌های مختلفی ترتیب داده شد و نتایج، حاکی از عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی در حل این مسئله با ابعاد مختلف بود. پس از اعتبارسنجی ۳ الگوریتم فرا ابتکاری در حل مسئله، الگوریتم‌های پیشنهادی برای حل مسئله تحقیق در پروژه ساخت نیروگاه مورداستفاده قرار گرفت و نتایج به‌دست‌آمده در بخش چهار موردبررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که هر چه اندازه پروژه بزرگ‌تر باشد زمان‌بندی آن با توجه به محدودیت منابع و روابط پیش‌نیازی پیچیده‌تر و استفاده از روش‌های دقیق غیرممکن‌تر خواهد شد؛ درحالی‌که در پروژه‌هایی با اندازه کوچک، استفاده از الگوریتم‌های فرا ابتکاری غیرکارا و نامناسب است. علاوه بر این بررسی می‌توان برتری الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی را نسبت به دو الگوریتم دیگر مشاهده کرد. در این بخش، پیشنهادهایی برای مطالعات آتی در راستای تحقیقات بیان‌شده است که می‌تواند توسط محققین علاقه‌مند به این حوزه موردبررسی قرار گیرد.

- *در نظر گرفتن بافر با مقدار غیرقطعی.*
- *قابل انقطاع بودن فعالیت‌های پروژه.*
- *در نظر گرفتن چندین پروژه به‌صورت هم‌زمان.*
- *ترکیب الگوریتم‌های فرا ابتکاری جدید که تاکنون در این مسئله موردمطالعه قرار نگرفته است.*
- *توسعه الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر که تاکنون در این مسئله موردمطالعه قرار نگرفته است.*

منابع

دیرانلو، م. (۱۳۸۵). ارائه یك الگوریتم ژنتیك کارا جهت حل مسئله زمان‌بندی پروژه تحت شرایط محدودیت منابع (پایان‌نامه دانشگاه تهران).

سبزه پرور، م. (۱۳۸۹). مرجع درسی و کاربردی کنترل پروژه (نسخه ششم). تهران: نشر ترمه.

احسان اله اشتهاردیان، ع. ا. (۱۳۸۵). بهینه‌سازی موازنه هزینه – زمان: استفاده از الگوریتم ژنتیک و منطق فازی در عدم قطعیت هزینه‌ها. سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه. تهران، گروه پژوهشی آریانا.

Larson, E. W., & Gray, C. F. (2015). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge: PMBOK (®) Guide*. Project Management Institute.

Archive of SID

www.SID.ir

Azeem, S. A., Hosny, H. E., & Ibrahim, A. H. (2014). Forecasting project schedule performance using probabilistic and deterministic models. *HBRC journal, 10*(1), 35-42.

Kim, B. C., & Reinschmidt, K. F. (2010). Probabilistic forecasting of project duration using Kalman filter and the earned value method. *Journal of construction engineering and management, 136*(8), 834-843.

Hass, K. B. (2009). *Managing Complex Projects: A New Model*. Vienna. VA: Management Concepts.

Demeulemeester, E. L., & Herroelen, W. S. (2006). *Project scheduling: a research handbook*. Springer Science & Business Media.

Kazemi, F. S., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2011). Solving a Multi-Objective Multi-Mode Resource-Constrained Project Scheduling Problem with Particle Swarm Optimization. *International journal of academic research, 3*(1), 103-110.

Kumar, N., & Vidyarthi, D. P. (2016). A model for resource-constrained project scheduling using adaptive PSO. *Soft computing, 20*(4), 1565-1580.

He, Z., Liu, R., & Jia, T. (2012). Metaheuristics for multi-mode capital-constrained project payment scheduling. *European journal of operational research, 223*(3), 605-613.

Gonçalves, J. F., Mendes, J. J., & Resende, M. G. (2008). A genetic algorithm for the resource constrained multi-project scheduling problem. *European journal of operational research, 189*(3), 1171-1190.

Orji, M. J., & Wei, S. (2013). Project scheduling under resource constraints: a recent survey. *International journal of engineering research and technology, 2*(2), 1-20.

Padalkar, M., & Gopinath, S. (2016). Are complexity and uncertainty distinct concepts in project management? A taxonomical examination from literature. *International journal of project management, 34*(4), 688-700.

Daniel, P. A., & Daniel, C. (2018). Complexity, uncertainty and mental models: From a paradigm of regulation to a paradigm of emergence in project management. *International journal of project management, 36*(1), 184-197.

Turner, J. R. (2014). *Handbook of project-based management*. New York, NY: McGraw-hill.

Chen, A. H., & Chyu, C. C. (2008, June). A memetic algorithm for maximizing net present value in resource-constrained project scheduling problem. *Proceedings of 2008 IEEE congress on evolutionary computation (IEEE world congress on computational intelligence)* (pp. 2396-2403). Hong Kong, China: IEEE.

Pishvaee, M. S., Razmi, J., & Torabi, S. A. (2012). Robust possibilistic programming for socially responsible supply chain network design: A new approach. *Fuzzy sets and systems*, 206, 1-20.

Kashan, A. H. (2009, December). League championship algorithm: a new algorithm for numerical function optimization. *Proceedings of 2009 international conference of soft computing and pattern recognition* (pp. 43-48). Malacca, Malaysia: IEEE.

Hegazy, T., & Kassab, M. (2003). Resource optimization using combined simulation and genetic algorithms. *Journal of construction engineering and management, 129*(6), 698-705.

Feng, C. X. J., Saal, A. L., Salsbury, J. G., Ness, A. R., & Lin, G. C. (2007). Design and analysis of experiments in CMM measurement uncertainty study. *Precision engineering, 31*(2), 94-101.

Soyster, A. L. (1973). Convex programming with set-inclusive constraints and applications to inexact linear programming. *Operations research, 21*(5), 1154-1157.

Kim, B. C. (2007). *Forecasting project progress and early warning of project overruns with probabilistic methods.* Texas A&M University.

Browning, T. R. (2014). Managing complex project process models with a process architecture framework. *International journal of project management, 32*(2), 229-241.

Ramasesh, R. V., & Browning, T. R. (2014). A conceptual framework for tackling knowable unknown unknowns in project management. *Journal of operations management, 32*(4), 190-204.

Qureshi, S. M., & Kang, C. (2015). Analysing the organizational factors of project complexity using structural equation modelling. *International journal of project management, 33*(1), 165-176.

Saunders, F. C., Gale, A. W., & Sherry, A. H. (2015). Conceptualising uncertainty in safety-critical projects: A practitioner perspective. *International journal of project management, 33*(2), 467-478.

Attarzadeh, M., & Chua, D. K. (2011). Performance risk evaluation of long term infrastructure projects (PPP-BOT projects) using probabilistic methods. *EPPM, Singapore*, 20-21.

Kim, B. C. (2011). *Probabilistic performance risk evaluation of infrastructure projects*: *First international symposium on uncertainty modeling and analysis and management (ICVRAM 2011); and fifth international symposium on uncertainty modeling and anaylsis (ISUMA) (pp. 292-299)*. Hyattsville, Maryland, United States: American Society of Civil Engineers.

Archive of SID

www.SID.ir