



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 قابل اعتماد، عنصری حیاتی برای موفقیت در مدیریت یک پروژه می‌باشد. از دیرباز روش ارزش کسب شده (EV) به منظور دنبال نمودن عملکرد زمانی و هزینه‌ای پروژه، مورد استفاده قرار گرفته است. بهره‌گیری از این روش جهت ارزیابی عملکرد زمانی پروژه با بهره‌گیری از شاخص عملکرد زمانی (SPI) توسط محققین و صنعتگران موردانتقاد جدی واقع شده است؛ از این‌رو، مطالعه حاضر، چارچوبی به منظور 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 گرفته شده‌اند، بهینه‌سازی شده است؛ سپس با استفاده از روش پیش‌بینی فیلتر کالمن، برنامه‌ریزی اجرایی پروژه به صورتی انجام گرفته است که بتوان پروژه‌ها را در شرایط عدم قطعیت، پیش‌بینی و افق زمانی پیش‌بینی روی آن‌ها را خیلی دقیق و با کمترین خطای 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 بدست آمده نشان از برتری الگوریتم معرفی شده در این مقاله دارد.

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

پذیرش: ۱۳۹۷/۴/۱۷

اصلاح: ۱۳۹۷/۳/۱۷

دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۱۰

۱- مقدمه

امروزه، لزوم برنامه‌ریزی مناسب به منظور 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. در مجموع، 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 قابل توجهی به مدیریت بهینه پروژه و تصمیم‌گیری بهتر در شرایط غیرقطعی می‌کند. مسئله برنامه‌ریزی و پس از آن کنترل زمان‌بندی پروژه‌ها، هر روز اهمیتی بیش از گذشته می‌باید. در محیطی که رقابت شرکت‌ها هر روز 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 راه حل‌های 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 از جمله 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. به منظور

بهینه‌سازی زمان – هزینه، روش‌های مختلفی در دو حوزه آنالیز موازنۀ زمان – هزینه به کار گرفته شده‌اند. 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. به طورکلی در این تحقیق قصد داریم ابتدا با کمک روش‌های فرا ابتکاری، برنامه زمانی مبنای 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 مورد بررسی قرار می‌گیرد؛ همچنین، الگوریتم‌های فرا ابتکاری مورد استفاده در این تحقیق به تفصیل بحث می‌شوند.

۱-۲ 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 در رسیدن 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 قابل استفاده باشد، غیرممکن به نظر می‌رسد. راه حلی که در این راه به نظر می‌رسد این است که پروژه‌ها را به نوعی 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 فرق، علاوه بر اینکه ساختاری متفاوت را جهت مدیریت پروژه می‌توان تدوین کرد، از طرف دیگر، اولویت‌بندی محدودیت‌های پروژه از دید کارفرما حائز اهمیت می‌باشد. به طور 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 دهنده محدودیت‌ها می‌تواند به نحو مؤثری در این رابطه مورد استفاده قرار گیرد (سبره پرور، ۱۳۸۹).

۲-۱ 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 فعالیت‌وابسته با توجه به تقدم و تأخیر آن‌ها (هرولین و دمولمیستر، ۲۰۰۲)، بطوریکه بین زمان تکمیل پروژه و هزینه کل، موازنۀ باشد و به منظور رسیدن به یک یا چند هدف مشخص و برای رسیدن به این اهداف، گزینه‌های موجود مورد بررسی قرار گرفته باشد و نهایتاً بهترین گزینه برای انجام فعالیت‌ها به منظور تکمیل پروژه، انتخاب شده باشد (کاظمی و توکلی مقدم، ۲۰۱۱). برای زمان‌بندی در تمام پروژه‌ها محدودیت‌های تقدمی بین فعالیت‌ها وجود دارد، اما علاوه بر آن، محدودیت‌های دیگری از جمله 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 پاییندی 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 پیشرفتی و جدید مدیریت نمود (هاس، ۲۰۰۹). مدیریت زمان در

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 تقاضاهای 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 در حالی که دیدگاه دوم، شرایط منطقی بری 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 برونينگ، ۲۰۱۴؛ کورشی و کانگ، ۲۰۱۵؛ برونينگ، ۲۰۱۴؛ ساندرز و همکاران، ۲۰۱۵). در زمینه 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، به منظور مشخص نمودن آنچه می‌تواند انجام شود، تصمیم‌گیری درباره آنچه باید انجام شود و اطمینان از اینکه چه مواردی انجام خواهد شد، وجود دارد.

۱-۲-۲ طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی پروژه از نظر 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 با این وجود، تابع هدف، حداقل کردن بیشترین زمان خاتمه فعالیت پروژه است (آنجلو و چاو چنگ، ۲۰۰۸).

$$\min C_{\max} = \min(\max(S_j + P_j)) \quad (1)$$

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

تلوزین برنامه‌ریزی کلاسیک پروژه، معمولاً معیار بهینگی مانند حداقل طول یا حداقل تأخیر را مشخص می‌کنند. چنین معیارهایی تمایل دارند به طور ضمنی، استفاده از تجهیزات در طول افق زمانی برنامه‌ریزی شده را به حداقل برسانند. در حالی که، مدیریت به طور معمول دنبال به حداقل رساندن هزینه‌ها و به حداقل رساندن استفاده از تجهیزات و منابع می‌باشد (اوجی و وی، ۲۰۱۳). در مسائل با یک مدل اجرایی، برای انجام هر فعالیت پروژه، یک روش منحصر به فرد وجود دارد که تعیین کننده زمان فعالیت و میزان مصرف منابع مختلف است و ثابت فرض می‌گردد. در مسائل با چند مدل اجرایی، هر فعالیت می‌تواند در یکی از مدها انجام شود و هر مدل اجرایی دارای هزینه، زمان و میزان مصرف منابع مربوط به خود می‌باشد (زنگ وین و همکاران، ۲۰۱۲)؛ بنابراین در حالت چند مدل اجرایی، موازنی ممکن است.

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

مسئله موازنی بین ارکان مختلف محدوده پروژه به اشکال مختلفی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به عنوان نمونه، موازنی 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. از آنجایی که 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 (اشتهاهار دیان، 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 موازنی زمان-هزینه با الگوریتم ژنتیک پرداختند. بدین شکل که در مرحله برنامه‌ریزی، با توجه به محدودیت زمان تحويل 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 کسب شده (EVM) می‌پردازد؛ بنابراین اگر انحراف زمانی یا هزینه‌ای مشاهده شود، برای فعالیت‌های باقی مانده پروژه مجددًا برنامه بهینه‌سازی اجرا می‌شود.

روش‌های سنتی برای موازنۀ زمان-هزینه، زمان و هزینه را برای یک فعالیت بهصورت یک‌حالته قطعی در نظر می‌گیرند؛ در حالی‌که ماهیت این دوشامل عدم قطعیت می‌باشد؛ بنابراین برای در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها و تجزیه و تحلیل اثرات احتمالی، از روش‌های شبیه‌سازی استفاده شده است (فنج 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 موازنۀ زمان-هزینه در شرایط عدم قطعیت ارائه می‌دهد و نتیجه به دست آمده را با الگوریتم‌های انبوۀ 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.

بهینه‌سازی مدل زمان‌بندی با استفاده از الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی

پیش‌بینی زمان پایان با استفاده از روش فیلتر کالمون

شکل ۱- مدل تحقیق.

۱-۳ مفروضات مدل پیشنهادی

- تمامی مقادیر پارامترها به جز مدت زمان فعالیت‌ها و میزان منابع در دسترس، قطعی هستند.
- هر پروژه شامل دو فعالیت مجازی ابتدائی 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 مدلی است.

۲-۳ 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	ایndکس فعالیت‌ها (۱,۲,...,n)
۵	j	ایndکس فعالیت‌ها (۱,۲,...,n)
۶	t	ایndکس روز (۱,۲,...,T)
۷	k	ایndکس منابع (۱,۲,...,K)

۳-۳ متغیرهای تصمیمی مدل پیشنهادی

در جدول ۲ به معرفی متغیرهای تصمیمی مدل پیشنهادی می‌پردازیم:

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

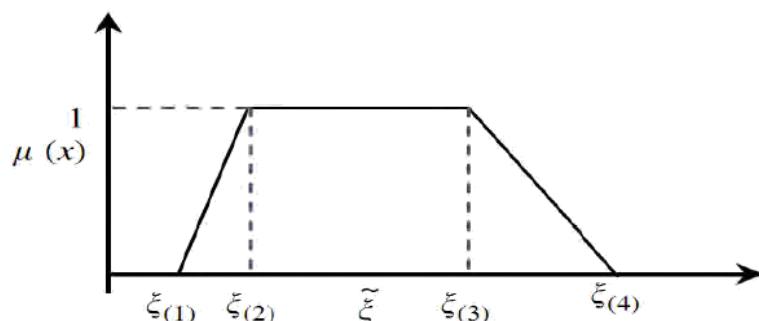
	تعريف	مؤلفه	شماره
	خط مبنای شروع یا همان baseline duration است.	s_j	۱
	شروع واقعی پروژه است.	S_j	۲
	وزن فعالیت که به نوعی هزینه انحراف شروع واقعی فعالیت از شروع برنامه‌ای	W_j	۳
۱۰۳	متغیر تصادفی که نشان دهنده مدت زمان تحقق فعالیت i است.	D_i	۴
	مجموعه فعالیتهایی که در زمان t شروع می‌شوند.	WIP_t	۵
	میزان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

۴-۳ معرفی مدل ریاضی

برنامه‌ریزی استوار جهت مقابله با عدم قطعیت در مسئله بهینه‌سازی برای تصمیم‌گیرندگان ریسک‌گریز توسعه داده شده است. در این حوزه، در ابتدا، سویستر (۱۹۷۳) به ارائه مدل بدترین حالت ممکن برای مسائل خطی پرداخت. قابل توجه است که رویکرد استوار توسط نویسندهای مختلفی برای شرایط واقعی نظری زنجیره‌های تأمین مورد پیاده‌سازی قرار گرفت. روش حل در این مقاله بر اساس روش امکانی محدودیت شناس عنوان شده توسط پیشوایی و همکاران (۲۰۱۲)، بیان شده 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:

$$Ax \leq b \quad x \geq 0$$

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 $\varepsilon = (\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \varepsilon_4) = \varepsilon_2$ مشخص می‌شود. مشخص است زمانی که ε_2 با مقدار ε_3 برابر گردد ($\varepsilon_2 = \varepsilon_3$) آنگاه تابع ذوزنقه‌ای به تابع مثلثی تبدیل می‌گردد. با توضیحات ارائه شده در بالا، مدل مرجع با محدودیت شانس به شکل زیر قابل‌بیان است:

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

Subject to:



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:

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

$$x \geq 0$$

که در مدل بالا

$$\begin{aligned} z_{max} &= C_{(4)} \times x \\ z_{min} &= C_{(1)} \times x \end{aligned}$$

در نظر گرفته شده 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 ارائه شده به قرار زیر است:

$$\begin{aligned} \text{Min } Z &= \sum_{j=1}^N W_j(E(S_j) - s_j) + \gamma(z_{max} - z_{min}) \\ &+ \delta_1 \sum_{i=1}^n (D_{i,(4)} - (1 - \alpha_1)D_{i,(3)} - \alpha_1 D_{i,(4)}) \\ &+ \delta_2 \sum_{k=1}^m \sum_{t=1}^n (A_{kt(1)} - \alpha_2 A_{kt(1)} - (1 - \alpha_2) A_{kt(2)}) \\ \forall (i,j) \in R \quad S_j - S_i &\geq (1 - \alpha_1)D_{i,(3)} + \alpha_1 D_{i,(4)} \end{aligned} \tag{2}$$

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

$$\forall j = 1, 2, \dots, N \quad s_j \leq S_j \tag{4}$$

$$s_N \leq \tau \tag{5}$$

$$0.5 \leq \alpha_i \leq 1 \tag{6}$$

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

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



- 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 به اندازه منابع موردنیازش، منبع در اختیار داشته باشد.
- محدودیت (۵) تضمین می‌کند که هر فعالیت زودتر از زمانی که برنامه‌ریزی شده است، شروع نشود.
- محدودیت (۶) تضمین می‌کند که کل فعالیت‌های پروژه تا زمان نهایی پروژه، انجام شوند.

۴- حل مدل و نتایج حاصل از آن

در بخش تئوری این تحقیق، به کارگیری و ارائه الگوریتم‌های فرا ابتكاری 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 به دست آمده 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 زنتیک (GA) (گونکالوز و همکاران، ۲۰۰۸) حل شده است. همان‌گونه که در شکل ۱ مدل مسئله به تصویر کشیده شده است، ما در این مقاله با استفاده از الگوریتم فرا ابتكاری قهرمانی در لیگ‌های ورزشی، برنامه‌ی زمان‌بندی اولیه پروژه را با در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی، استخراج می‌کنیم، سپس برنامه زمان‌بندی به عنوان ورودی به الگوریتم بازگشتی فیلتر کالمون 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.

۴-۱ معرفی الگوریتم قهرمانی در لیگ‌های ورزشی

الگوریتم فرا ابتكاری قهرمانی در لیگ‌های ورزشی که در سال ۲۰۰۹ معرفی شده است، الگوریتمی مبتنی بر جمعیت می‌باشد. این الگوریتم تلاش می‌کند محیط 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 به عنوان قدرت تیم‌هایی که مقابله یکدیگر بازی می‌کنند و نیز با در نظر گرفتن راه حل‌ها به عنوان سیستم تیم‌هایی که در مقابله یکدیگر قرار می‌گیرند، نوعی مسابقه را شبیه‌سازی می‌نماید. این الگوریتم با استفاده از استراتژی SWOT برای آنالیز تیم‌ها، می‌تواند آرایش تیمی را برای مسابقات شبیه‌سازی شده 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 پیش‌رو 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 مبنای قرار می‌گیرند عبارت‌اند از:

۴-۱-۱ 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 دهنند. در پایان فصل، هر یک از L تیم حاضر $- L$ مسابقه انجام خواهد داد که این یعنی آنکه در مجموع $\frac{L(L-1)}{2}$ بازی در طول هر فصل انجام می‌پذیرد.

۴-۱-۲ تعیین تیم برنده در یک بازی

برنده یک بازی بر اساس مقایسه یک عدد تصادفی تولید شده با مقدار تابعی به دست می‌آید که با میزان قدرت آن تیم رابطه مستقیم دارد، یعنی شانس برد تیم قوی‌تر بیشتر است ولی در عین حال، 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 قابل تعریف می‌باشد). بدیهی است که $1 = p_i^t + p_j^t$. عدد حاصل از آن تابع، مرزی را در بازه $[0, 1]$ ایجاد می‌نماید. اکنون عددی تصادفی تولید می‌گردد؛ در صورتی که کوچکتر از p_i^t (مرز تعیین شده) باشد، تیم مورد نظر 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).

$$p_i^t = \frac{f(x_j^t) - \hat{f}}{f(x_j^t) - f(x_i^t) - 2\hat{f}} \quad (8)$$

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

۴-۱-۳ 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 T, W, O, S/T, S/O, W/O که هر یک، معادلات منحصر به خود را دارا هست (معادلات (۹) تا (۱۲)). در این معادلات، i, j, k و t 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 $(x_{i1}^t, x_{i2}^t, \dots, x_{in}^t)$ و بهترین آرایش تیمی به دست‌آمده تا هفته t (حاکی از بهترین مقدار به دست‌آمده تابع هدف) با $B_i^t = (b_{i1}^t, b_{i2}^t, \dots, b_{in}^t)$ نشان داده می‌شوند. در زیر، برای نشان دادن یک مؤلفه از هر بردار بالا، از نماد d استفاده شده است ($d = 1, 2, \dots, n$).

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

$$x_{id}^{t+1} = b_{id}^t + y_{id}^t \left(\Psi_1 r_1(b_{id}^t - b_{kd}^t) + \Psi_1 r_2(b_{id}^t - b_{jd}^t) \right) \quad \forall d = 1, \dots, n \quad (9)$$

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

۱۰۷

$$x_{id}^{t+1} = b_{id}^t + y_{id}^t \left(\Psi_2 r_1(b_{kd}^t - b_{id}^t) + \Psi_2 r_2(b_{jd}^t - b_{id}^t) \right) \quad \forall d = 1, \dots, n \quad (10)$$

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

$$x_{id}^{t+1} = b_{id}^t + y_{id}^t \left(\Psi_1 r_2(b_{id}^t - b_{kd}^t) + \Psi_2 r_1(b_{jd}^t - b_{id}^t) \right) \quad \forall d = 1, \dots, n \quad (11)$$

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

$$x_{id}^{t+1} = b_{id}^t + y_{id}^t \left(\Psi_2 r_2(b_{kd}^t - b_{id}^t) + \Psi_2 r_1(b_{jd}^t - b_{id}^t) \right) \quad \forall d = 1, \dots, n \quad (12)$$

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 تعريف می‌شود. تعداد یک‌های این بردار باینری از یک توزیع تصادفی هندسی با پارامتر p_c تبعیت می‌کند.

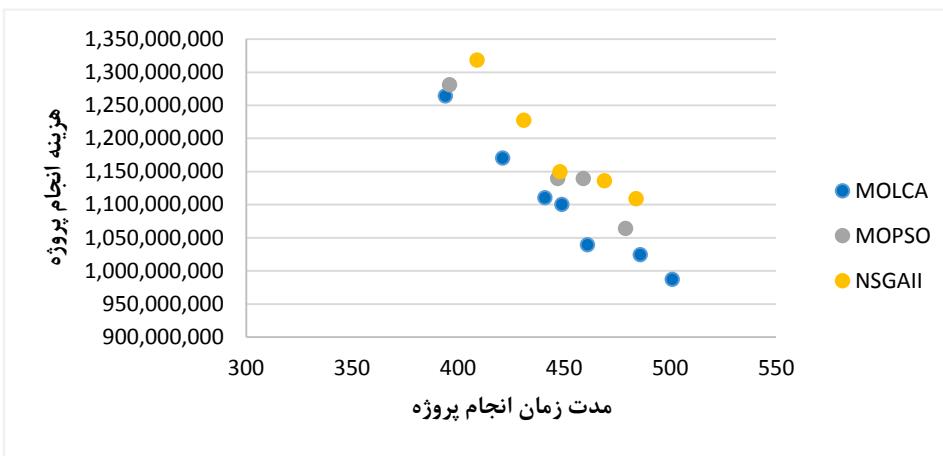
۴- مقایسه بین نتایج و داده‌های واقعی

برای حل مدل در این قسمت از داده‌های پروژه پیاده‌سازی سیستم مدیریت وظایف در یکی از ارگان‌های دولتی استفاده شده است. بعد از حل مدل به وسیله هر سه الگوریتم، جواب‌های متفاوتی حاصل شده که در ادامه به مقایسه بین جواب‌ها در حالت‌های مختلف می‌پردازیم. با توجه به بررسی جواب‌های به دست آمده 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 NSGAII				الگوریتم چند هدفه PSO				الگوریتم چند هدفه LCA			
زمان	هزینه	شاخص	زمان	هزینه	شاخص	زمان	هزینه	شاخص	زمان	هزینه	شاخص
۴۰۹	۱,۳۱۸,۷۰۰,۲۹۰	Q	۳۹۶	۱,۲۸۱,۴۴۰,۰۰۰	Q	۲۹۴	۱,۲۶۴,۵۴۰,۰۰۰	۱			
۴۳۱	۱,۲۲۷,۷۰۰,۲۹۰	۰	۴۴۷	۱,۱۳۹,۷۰۰,۲۹۰	۰	۴۲۱	۱,۱۷۰,۵۱۰,۲۹۰	۱			
۴۴۸	۱,۱۴۹,۷۰۰,۲۹۰	۰	۴۵۹	۱,۱۳۹,۹۱۰,۲۹۰	۰	۴۴۱	۱,۱۱۰,۶۱۰,۲۹۰	۱			
۴۶۹	۱,۱۲۶,۶۱۰,۲۹۰	۰	۴۷۹	۱,۰۶۴,۵۱۰,۰۰۰	۰	۴۴۹	۱,۱۰۰,۵۱۰,۰۰۰	۱			
۴۸۴	۱,۱۰۹,۴۴۰,۰۰۰	۰				۴۶۱	۱,۰۳۹,۵۱۰,۰۰۰	۱			
						۴۸۶	۱,۰۲۴,۵۱۰,۰۰۰	۱			
						۵۰۱	۹۸۷,۴۶۴,۰۰۰	۱			





شکل ۳- مقایسه جواب الگوریتم‌های فرا ابتکاری.

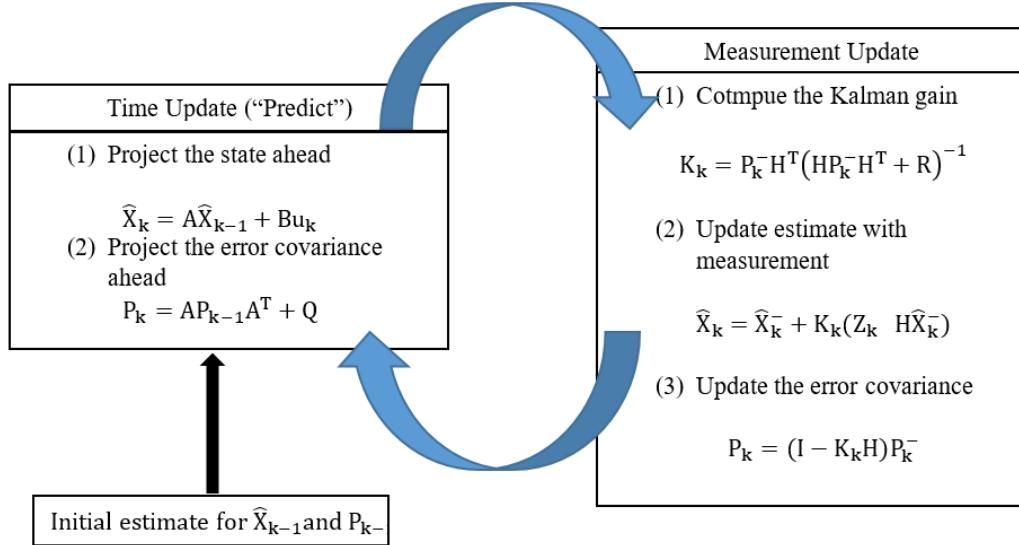
جدول ۵- ارزیابی جواب‌های پارتو به تفکیک الگوریتم‌های فرا ابتکاری.

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

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 خطأ هستند، می‌باشد. از سال ۱۹۰۰ که ردولف کالمن مقاله خود را در مورد راه حلی برای مشکل فیلتر نمودن داده‌های خطی گسته‌تر ارائه نمود، تاکنون کاربرد این روش در زمینه‌های وسیعی از پیگیری الگوریتم سیستم‌های رادار گرفته تا پیش‌بینی و کنترل، به صورت چشم‌گیری پیشرفت کرده است. در زمینه‌ی مهندسی عمران نیز روش فیلتر کالمن و فیلتر کالمن توسعه‌یافته در تشخیص مشکلات سازه‌ای، کنترل سازه و پیش‌گویی‌ها استفاده شده است. امروزه پیشرفت چشمگیر توانایی کامپیوترهای شخصی و نرم‌افزارها، روش فیلتر کالمن را به ابزاری قابل استفاده برای مدیران پژوهه تبدیل نموده است. در این تحقیق، از این روش به منظور پیگیری روند پیشرفت پژوهه و پیش‌بینی اینکه در آینده چه وضعیتی را خواهد داشت استفاده شده است.

الگوریتم فیلتر کالمون، از یک چرخه برگشت پذیر که در شکل ۴ نشان داده شده است تشکیل می‌شود. در روش فیلتر کالمون، حالت یک سیستم دینامیک در هر زمان k با دو نوع متغیر نشان داده می‌شود: متغیرهای حالت (x_k) و متغیرهای کواریانس خطأ (P_k). کواریانس خطأ، عدم قطعیت در تخمین متغیرهای حالت را نشان می‌دهد. متغیر حالت و کواریانس خطأ در هر فاصله زمانی K به وسیله 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.



شکل شماره ۴ - چرخه کامل فیلتر کالمن.

در این روش، پیشرفت پروژه به عنوان 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 به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$x_k = \begin{Bmatrix} TV_k \\ \frac{dTV_k}{dt} \end{Bmatrix} \quad (13)$$

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

$$x_k = Ax_{k-1} + w_{k-1} \quad (14)$$

$$z_k = Hx_k + v_k, \quad (15)$$

به طوری که 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 اختلال فرآیند، عدم قطعیت را در مدل فرآیند نشان می‌دهد. پارامتر v_k نشانگر اختلال اندازه‌گیری است که خطرا 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).

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

کواریانس خطابه‌وسیله تخمین خطای حالت، یعنی تفاوت بین مقدار صحیح (اما نامعلوم) حالت سیستم x_k و تخمین حالت سیستم \widehat{x}_k تعیین می‌شود.

$$P = E([x_k - \widehat{x}_k][x_k - \widehat{x}_k]^T \quad (16)$$

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.

$$\hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1}^+ \quad (14)$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1}^+ A_k^T + Q_{k-1} \quad (18)$$

در ادامه، مدل اندازه‌گیری، اطلاعات قبلي را با استفاده از مشاهده جدید Z_k به روزرسانی می‌کند تا تخمین قبلي x_k را بهبود دهد.

$$\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k(Z_k - H\hat{x}_k^-) \quad (14)$$

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

$$K_k = P_k^{-1} H^T (H P_k^{-1} H^T + R_k)^{-1} \quad (40)$$

$$P_k^+ = [I - K_k H P_k^-] \quad (21)$$

به عنوان نمونه، در حالتی که از فیلتر کالمن برای زمان پروژه استفاده می‌شود، هدف از پیش‌بینی منحنی پیشرفت، تخمین و به روزرسانی زمان نهایی اتمام پروژه (EDAC) در هر زمان t_k می‌باشد. وقتی تخمین \hat{x}_k یعنی اختلاف زمان $\hat{T}\bar{V}_k$ در هر زمان t_k به دست آمد، ارزش کسب شده مورد انتظار \hat{EV}_k در آن زمان به وسیله منحنی پیشرفت پایه تعیین می‌شود.

$$\widehat{EV}_k = PV(\widehat{ES}_k) \quad (44)$$

$$(\widehat{ES}_k) = t_k + \widehat{TV}_k = t_k + \widehat{x}_k \quad (13)$$

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

$$\widehat{EV}_k > BAC \quad (14)$$

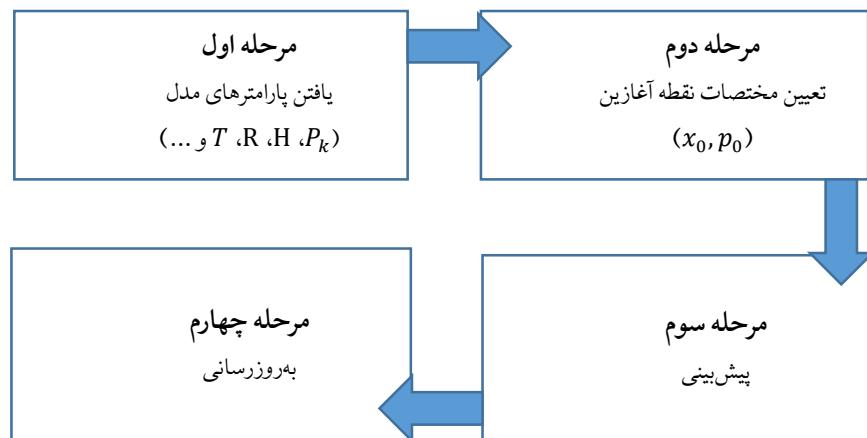
وقتی به چنین زمانی (t_k) رسیدیم که در رابطه بالا صدق می‌کرد، EDAC به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$EDAC = t_k - \alpha(t_k - t_{k-1}) \cong t_k \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (45)$$

محلوده تخمين EDAC را نيز می توان به صورت مستقيم از نتایج فیلتر کالمن به صورت ماتریس کوواریانس خطای P_k به دست آورد (کیم، ۲۰۰۷).

برای تلفیق روش فیلتر کالمن و مدیریت ارزش کسب شده فرض می شود پیشرفت تجمعی پروژه، از معادله پویای فضای حالت که پیشرفت واقعی پروژه را نشان می دهد حاصل می شود (کیم و همکاران، ۲۰۱۰). روش فیلتر کالمن با داشتن اطلاعات اولیه موجود و در نظر گرفتن خطاهای اجرا و اندازه گیری، با مینیمم کردن میانگین مربعات خطاهای، یک تخمین بهینه از وضعیت پروژه ارائه می دهد و بن روند تا انتهای پروژه ادامه می یابد. همچنین با توجه به عدم قطعیتی که در پیش بینی وضعیت آینده پروژه وجود دارد، مقداری تحت عنوان خطای فرآیند در مدل سیستم بیان می شود. کیم (۲۰۰۷) و عظیم و همکاران (۲۰۱۱) از روش فیلتر کالمن برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پیش بینی ها آتی برای زمان و کیم (۲۰۱۱) برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در هر دو بخش زمان و هزینه استفاده کرده اند. همچنین عطارزاده و چوا (۲۰۱۱) از روش فیلتر کالمن برای ارزیابی ریسک عملکرد (زمان و هزینه) در پروژه های بلندمدت زیر ساختاری استفاده کرده اند.

در این تحقیق از تلفیق روش مدیریت ارزش کسب شده و روش فیلتر کالمن برای آنالیز ریسک و پیش بینی در هر سه مورد از اهداف عملکردی شامل زمان، هزینه استفاده شده است. در ادامه، در شکل ۵، فلوچارت اجرای الگوریتم فیلتر کالمن را مشاهده می کنیم.



شکل شماره ۵- روند اجرای فیلتر کالمن.

۴-۳- پیش بینی پروژه توسط الگوریتم فیلتر کالمن

ما در نرم افزار اکسل، اطلاعات واقعی پروژه را وارد می نماییم و با توجه به روند اجرایی پروژه، روند اجرایی پروژه را برای یک دوره انجام می دهیم. اطلاعات واقعی، توسط مدیر پروژه اعلام می گردد و خروجی نرم افزار که در شکل ۶ مشاهده می کنید، پیش بینی روش کالمن را در نرم افزار اکسل نشان می دهد.

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 پیش بینی فیلتر کالمن.

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 روز می‌باشد.

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

شکل ۷-جزئیات محاسبات فیلتر کالمن.

۵-نتیجه‌گیری

همان‌گونه که مشاهده شد، در این تحقیق، علاوه بر ارائه یک مدل ریاضی کاربردی که به تفصیل در بخش سوم مورد بررسی قرار گرفت، از ۳ الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک، الگوریتم چندهدفه LCA و ازدحام ذرات به صورت همزمان برای حل مسئله زمان‌بندی پروژه دو هدفه استفاده گردید. از سوی دیگر مدل ارائه شده 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 مشاهده شده است. در ادامه، به منظور اعتبارسنجی الگوریتم و بررسی توانایی آن در حل مسائل نمونه موجود در ادبیات موضوع و نیز به منظور 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 مورد استفاده قرار گرفت و نتایج بدست آمده در بخش چهار مورد بررسی 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 غیرممکن تر خواهد شد؛ در حالی که 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 بیان شده است که می‌تواند توسط محققین علاقه‌مند به این حوزه مورد بررسی قرار گیرد.

- در نظر گرفتن بافر با مقدار غیرقطعی.
- قابل اقطاع بودن فعالیت‌های پروژه.
- در نظر گرفتن چندین پروژه به صورت همزمان.
- ترکیب الگوریتم‌های فرا ابتکاری جدید که تاکنون در این مسئله مورد مطالعه قرار نگرفته است.
- توسعه الگوریتم‌های فرا ابتکاری دیگر که تاکنون در این مسئله مورد مطالعه قرار نگرفته است.

منابع

- دیرانلو، م. (۱۳۸۵). ارائه یک الگوریتم ژنتیک کارا جهت حل مسئله زمان‌بندی پروژه تحت شرایط محدودیت منابع (پایان‌نامه دانشگاه تهران).
- سبزه پور، م. (۱۳۸۹). مرجع درسی و کاربردی کنترل پروژه (نسخه ششم). تهران: نشر ترمد.
- احسان‌اله اشتهرادیان، ع. ا. (۱۳۸۵). بهینه‌سازی موازنۀ هزینه - زمان: استفاده از الگوریتم ژنتیک و منطق فازی در عدم قطعیت هزینه‌ها. سومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه. تهران، گروه پژوهشی آریانا.



- 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 analysis (ISUMA)* (pp. 292-299). Hyattsville, Maryland, United States: American Society of Civil Engineers.