

# طراحی سیستم پشتیبانی تصمیم مدل محور برای یکپارچه سازی ارزیابی عملکرد پروژه و مدیریت ریسک (پروژه های سرمایه گذاری ساخت)

مهدی سیفی ساری قبه (کارشناس ارشد)

سید کمال چهارسوقی\* (استاد)

علی حسین زاده کاشان (دانشیار)

دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، تابستان ۱۳۹۶ (۱۳۹۶-۱۳۹۷، شماره ۱/۲، ص. ۱۲۹-۱۳۹، یادداشت فنی)

امروزه فضای پیچیده و پرابهام صنعت ساخت، عوامل فعال را ناگزیر به بهره گیری از ابزارهای نوین مدیریت پروژه و دانش روز دنیا می کند. این عوامل به دلیل گسترده ی پهنای این دانش، بیشتر بر حوزه های کلیدی گریزناپذیر متمرکزند که این خود ضامن موفقیت های بیشتر خواهد بود. با هدف پاسخ گویی به نیازهای مذکور، مدل یکپارچه یی از ارزیابی عملکرد و آنالیز ریسک، در قالب یک سیستم پشتیبانی تصمیم مدل محور و با هدف افزایش دقت، سهولت، کارایی و اثربخشی در هر دو مرحله ی برنامه ریزی و اجرای پروژه توسعه داده شده است. مدل پیشنهادی برای اهداف عملکردی پروژه (شامل: زمان، هزینه و...) متناسب با پروژه های مورد بررسی برای یکپارچه سازی ارزیابی عملکرد و مدیریت ریسک، با توسعه ی شاخص های مالی و تلفیق روش مدیریت ارزش کسب شده است. روش پیش بینی فیلتر کالمن ارائه شده در مرحله ی اجرایی پروژه، برای پیگیری روند پیشرفت، تحلیل ریسک و پیش بینی های آتی برای اهداف عملکردی، مورد استفاده قرار می گیرد.

واژگان کلیدی: ارزیابی عملکرد، آنالیز ریسک، مدیریت مالی، سیستم پشتیبانی تصمیم، پروژه های سرمایه گذاری ساخت.

## ۱. مقدمه

امروزه با جهانی شدن تجارت، سازمان ها به منظور بیشینه سازی ارزش خالص فعلی و افزایش سودآوری پروژه، چاره یی جز ارتقای بهره وری و انجام کارها با صرف منابع در زمان و هزینه ی کم تر ندارند.

مبحث «مدیریت پروژه»، در دهه های اخیر از مهم ترین و کاربردی ترین مقوله های مورد توجه بوده است. در دنیای رقابتی امروز، ارائه ی خدمات و محصولات با کیفیت هنگامی دارای ارزش است که چارچوب زمانی و هزینه یی در آن رعایت شده باشد.

یکی از مهم ترین حوزه های مورد تمرکز در بستر دانش مدیریت پروژه، موضوع مدیریت عملکرد و ریسک است. بنابراین مدیریت پروژه های ساخت مستلزم مدیریت عملکرد و ریسک به صورت جامع، پویا و بهینه بر پایه ی روش های پیش بینی سازگار و قابل اعتماد است. در حال حاضر روش های در دسترس قطعی، بیش از حد ساده شده اند، و با ناسازگاری فرضیات در عمل مواجه اند، که آن ها را غیر قابل اعتماد و غیر عملی کرده است.

\* نویسنده مسئول

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۰، اصلاحیه ۱۶/۱۰/۱۳۹۴، پذیرش ۲۶/۲/۱۳۹۵.

## ۲. سیستم های پشتیبانی تصمیم

جامعه ی بشری با پشت سر گذاشتن دوره های مختلف از جمله جنگ های جهانی و صنعتی شدن، اکنون وارد عصر فراصنعتی شده که در آن سرمایه های سازمانی تنها سرمایه ی مالی و فیزیکی نیست، بلکه سرمایه ی دانش بیشتر و مهم تر از آن دو سرمایه مورد توجه مدیران قرار گرفته است. روند توسعه ی MIS با افزودن مدل های تصمیم گیری، به DSS منتهی شده است که در آن با مرتبط کردن بانک های اطلاعاتی و مدل های تصمیم گیری نقش جابه جایی دستی داده ها از بانک های اطلاعاتی به نرم افزارهای تصمیم گیری حذف شده است. سیستم پشتیبان تصمیم گیری مدل محور، یک سیستم مدل سازی است که به کاربر اجازه می دهد که مدل های آماری، مالی، بهینه سازی یا شبیه سازی را برای انجام تحلیل های سیستم توسعه دهد.<sup>[۱]</sup>

نکاسو و لئونگ (۱۹۹۷) مشاهده کردند که گرچه استفاده از مدل های تصمیم گیری و سیستم های پشتیبانی در زمینه هایی مانند حسابداری، امور مالی، بازاریابی، و توسعه ی محصول جدید معمول بوده، استفاده از آن در مدیریت پروژه کم تر مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به تأثیر تصمیم گیری به ویژه در مراحل برنامه ریزی پروژه ها، سیستم های پشتیبانی تصمیم گیری یک روش کارا برای ارزیابی تصمیم های مختلف

است که کمبود ابزارهای DSS برای مدیریت پروژه‌های خاص -- نظیر پروژه‌های مهندسی نرم‌افزار -- به منظور کمک به توسعه دهندگان نرم‌افزار در مراحل مختلف یک پروژه، از قبیل مدیریت نیروی انسانی و برنامه ریزی، مشاهده می‌شود.<sup>[۲]</sup> پلازا<sup>۱</sup> و تورنکن (۲۰۰۹) یک سیستم پشتیبانی تصمیم مدل محور برای روش مدیریت ارزش کسب شده ی یکپارچه با منحنی‌های یادگیری، بر پایه ی صفحه ی گسترده ی اکسل طراحی کرده اند؛ این کار مدیر پروژه را در انجام تخمین‌های دقیق و سریع کمک می‌کند.<sup>[۳]</sup>

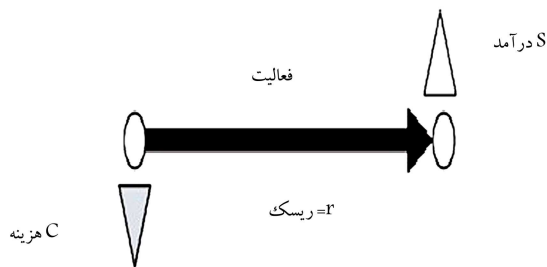
### ۳. مدیریت ریسک

در نسخه ی چهارم راهنمای PMBOK ریسک پروژه این‌گونه تعریف شده است:<sup>[۴]</sup> «ریسک پروژه رویدادی غیرقطعی است که در صورت وقوع دارای اثر مثبت یا منفی روی اهداف پروژه است.»

طبق تعریف چاپمن و وارد (۱۹۹۷)، هدف مدیریت ریسک افزایش احتمال موفقیت پروژه، از طریق شناسایی و ارزیابی سیستماتیک ریسک، ارائه ی روش‌هایی برای اجتناب یا کاهش آن‌ها، و بیشینه سازی فرصت‌ها صورت می‌گیرد. برخی از مدل‌ها گام‌هایی ساده، و برخی جزئیات بیشتری دارند. با یک نگاه کلی، فرایند مدیریت ریسک به دو مرحله ی اصلی ارزیابی ریسک‌ها (شامل شناسایی و تحلیل ریسک‌ها) و پاسخ‌گویی به آن‌ها قابل تقسیم است.<sup>[۵]</sup>

تاوارز و همکاران (۱۹۹۸) مدلی برای در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در هر دو بخش زمان و هزینه طراحی می‌کنند. بنابراین زمان بندی پروژه در قالب هزینه تنزیل شده و ریسک عدم دستیابی به زمان تکمیل مطالعه می‌شود.<sup>[۶]</sup> ساتو و هیروا<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) به مسئله ی موازنه ی بودجه‌های پروژه و ریسک‌های بحرانی می‌پردازد. رویکرد مدل سازی ریاضی با معیاری تحت عنوان RPV<sup>۳</sup> مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک رابطه ی کلی از هزینه - ریسک ارائه، و سپس روش‌های بهینه سازی با استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات استفاده می‌شود. سپس شرایطی تبیین می‌شود که طی آن افزودن بودجه ی اضافی باعث افزایش ارزش پروژه خواهد شد، و در نهایت ابزاری تولید می‌شود که برای تصمیم‌گیری‌های عملی در مدیریت پروژه کمک می‌کند. RPV مجموع جریان نقدی به دست آمده از فعالیت‌های انجام شده و نیز جریان‌های نقدی مورد انتظار از فعالیت‌های آتی است، که با استفاده از احتمال خاتمه ی آن‌ها تنزیل شده است (شکل ۱).<sup>[۸]</sup>

اطمینان مقدم (۱۳۸۴) با شناسایی موارد عدم قطعیت در پروژه‌های ساختمانی، موارد تأثیرگذار بر سود پیمانکار را جدا کرده، با استفاده از نمودار توزیع احتمالات تحلیل می‌کند تا الگویی برای ارزیابی هزینه‌ها و درآمدهای پیمانکار ارائه شود. این کار با تعیین ارتباط ریاضی بین هریک از عدم قطعیت‌ها که به شکل متغیر ظاهر می‌شود، با هزینه انجام می‌گیرد.<sup>[۹]</sup>



شکل ۱. RPV برای پروژه با یک فعالیت.

ارزیابی ریسک سرمایه‌گذاری پروژه به دو عامل توانایی شناسایی و فهمیدن منبع عدم قطعیت در متغیرهای کلیدی پروژه، و ابزارها و متدولوژی ارزیابی تأثیرات ریسک بر روی عایدی پروژه است.<sup>[۱۰]</sup> مدیریت ریسک در این مورد به حذف جنبه‌های منفی ارائه شده توسط احتمال ریسک، می‌پردازد، و ارزیابی به صورت خاص تهدیدهای بالقوه اثرگذار بر سودآوری پروژه‌ها در آینده را آنالیز می‌کند.<sup>[۱۱]</sup>

### ۴. ارزیابی عملکرد

تکنیک مدیریت ارزش کسب شده<sup>۴</sup> به عنوان یکی از ابزارهای اندازه‌گیری عملکرد پروژه‌ها به شمار می‌رود. چارچوب مدیریت ارزش کسب شده، محدوده، هزینه و کنترل زمان بندی را به صورت چارچوبی درمی‌آورد. این امر جداول و نوسانات عملکردی را در اختیار مدیریت قرار می‌دهد، تا سرریز هزینه‌ها و تأخیرات را کشف کند. بنابراین در این متدولوژی، داده‌های جدید و واقعی به دست آمده از مراحل اجرای پروژه برای توصیف روند هزینه و زمان پروژه در آینده، بر پایه ی عملکرد گذشته استفاده می‌شود.<sup>[۱۲]</sup>

محققین با تجزیه و تحلیل شاخص‌های روش مدیریت ارزش کسب شده،<sup>[۱۳]</sup> به خاطر واحد پولی آن‌ها، این روش را مورد نقد قرار می‌دهند. آنان در ادامه روش‌های تخمین زمان را بررسی کرده و روش جدیدی پیشنهاد می‌دهند.<sup>[۱۴]</sup>

گورگ<sup>۵</sup> (۲۰۰۹) با توجه به این که هیچ‌کدام از روش‌های کنترل مانند روش ارزش کسب شده، نمی‌توانند امکان برنامه ریزی جریان نقدی برای پیمانکار را ایجاد کنند، یک مدل جامع با توسعه ی روش EV برای پیمانکار طراحی کرده تا برای برنامه ریزی و کنترل جریان نقدی مرتبط با پروژه استفاده کند.<sup>[۱۴]</sup> همچنین مسعودی فر (۲۰۱۳) به مدیریت یکپارچه ی درآمد و هزینه ی پروژه با استفاده از مفاهیم مدیریت ارزش کسب شده، می‌پردازد.<sup>[۱۵]</sup>

متغیرها و شاخص‌های واریانس در EVM بیان‌گر روند اتفاقات گذشته‌اند، در حالی که مدیریت ریسک با آینده در ارتباط است.<sup>[۱۶]</sup> همچنین این روش تغییرات در پروژه و آنالیز ریسک را در نظر نمی‌گیرد.<sup>[۱۷]</sup>

لیپکه<sup>۶</sup> و زویکاتل (۲۰۰۹) نیز به تشریح مفاهیم روش تخمین ارزش زمانی کسب شده (ES) می‌پردازند. همچنین مدلی برای تخمین زمان و هزینه، و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها در انتهای پروژه (EAC) با استفاده از روش‌های آماری (آزمون‌های فرض و فاصله ی اطمینان) ارائه می‌دهند.<sup>[۱۷]</sup>

پاجارز و لوپز<sup>۷</sup> (۲۰۱۱) با هدف یکپارچه سازی مدیریت ارزش کسب شده و مدیریت ریسک پروژه برای کنترل و نظارت، دو معیار جدید و با فرهای زمانی و هزینه‌یی را پیشنهاد می‌دهند. محققین از مفهوم ریسک مینا<sup>۸</sup> که توسط کاکنو (۲۰۰۸) ارائه شده، استفاده کرده‌اند. ریسک مینا به ریسک باقی مانده (عدم قطعیت) برای اجرای فعالیت‌های آتی پروژه می‌پردازد، که با استفاده از آن می‌توان به ارزیابی شاخص‌هایی که برای یکپارچه سازی سه ضلعی، محدوده، زمان بندی و هزینه با ریسک پروژه طراحی شده‌اند، پرداخت. این روش سنجش جدید به مدیران پروژه در راستای انجام اقدامات اصلاحی به موقع، کمک می‌کند.<sup>[۱۲]</sup>

اسپس<sup>۹</sup> و پاجارز (۲۰۱۳) با توسعه ی EVM، چارچوب گرافیکی و ابتکاری را برای کنترل و نظارت با یکپارچه سازی ابعادی از زمان بندی و هزینه با مدیریت ریسک پیشنهاد داده‌اند. برای مدیران پروژه فهمیدن این که تا چه حدی از انحرافات قابل قبول بوده، و در چه حدی باید اقدامات اصلاحی صورت گیرد، اهمیت دارد در

روش EVM، تغییرات و تحلیل ریسک با چارچوب ارزش کسب شده یکپارچه می‌شود. بنابراین معیارها و شاخص‌های جدیدی برای مقایسه‌ی انحرافات زمان‌بندی، هزینه و درآمد با حداکثر و حداقل بازه‌های قابل کنترل در قالب سه بخش مورد نظر، ارائه خواهد شد. در جدول ۱ شاخص‌های اندازه‌گیری مدیریت ارزش کسب شده، در حالت استاندارد ارائه شده است.

برای کنترل درآمدهای کارفرما در پروژه با توسعه روش EVM، می‌توان با مفاهیم مشترک با شاخص‌هایی که برای هزینه‌های پروژه تعریف شده‌اند، شاخص‌های کنترلی برای درآمد را نیز تعریف کرد، داریم:

PI: میزان درآمد برنامه‌ریزی شده؛

EI: ارزش کسب شده درآمدی تاکنون؛

AI: میزان درآمد واقعی به دست آمده تاکنون.

مقادیر شاخص‌های تخمینی نیز در انتهای پروژه به ترتیب با  $BIAC$  و  $EIAC$  نشان داده می‌شود. در شکل ۲ این شاخص‌ها برای واضح‌تر شدن مفهوم شاخص‌های جدید تعریف شده به منظور ارزیابی درآمد، روی نمودار نشان داده شده است.

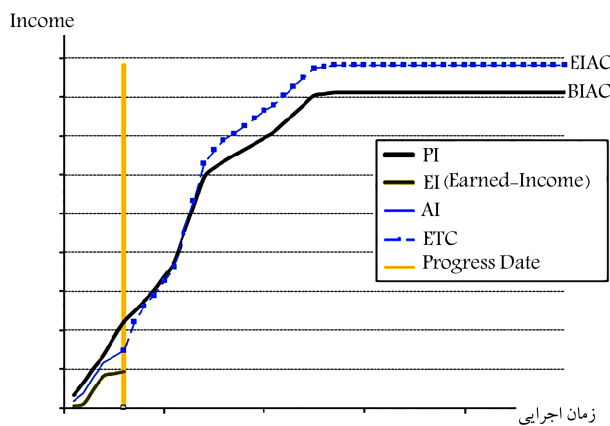
$$EAC \cong AC(t) + [BAC - EV(t)]/CPI_c(t) = BAC/CPI_c(t) \quad (1)$$

پیش‌بینی EVM استاندارد، در خصوص زمان و هزینه‌ی نهایی پروژه با فرض یکسان بودن شاخص عملکردی فعالیت‌های انجام شده و آتی می‌باشد.<sup>[۱۹]</sup> فرمول تخمین زمان نهایی ( $EDAC$ ) با همان فرض عبارت است از:

$$EDAC \cong t + [BAC - EV(t)]/CPI_c(t) \quad (2)$$

روش‌های اصلاح شده‌ی استاندارد دیگری نیز برای پیش‌بینی‌های آتی پیشنهاد شده که خلاصه‌ی آن‌ها در جدول ۲ ثبت شده است. همچنین پیش‌بینی زمان با استفاده از  $PV$  و  $EV$  انجام می‌شود، که ماهیت پولی آن‌ها مورد انتقاد است، و برای اصلاح آن چندین روش ارائه شده، که خلاصه‌ی آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.<sup>[۱۲]</sup>

روش ارزش زمانی کسب شده ( $ES$ ) روش جدیدی برای کنترل زمان است، که شاخص‌های آن برخلاف EVM سنتی براساس زمان است.  $ES(t)$  برابر است با ارزش زمانی کسب شده در زمان  $t$ ، که از زمان برنامه‌ریزی شده در برنامه‌ی مبنا برای خاتمه‌ی ارزش کسب شده در زمان  $t$  ( $EV(t)$ ) تعیین می‌شود. بنابراین برای



شکل ۲. شاخص‌های جدید EVM طراحی شده.

حالی که EVM تنها قابلیت شناسایی سرریزهای هزینه‌ی و زمانی را ارائه می‌دهد. در این راستا محققین متدولوژی گرافیکی را برای دانستن این که چه زمانی پروژه خارج از کنترل یا دارای تغییرات قابل پذیرش است، با شاخص‌های کنترل و بافرهای تجمعی جدید طراحی کرده‌اند.<sup>[۱۶]</sup>

## ۵. توسعه‌ی مدل یکپارچه‌ی مدیریت عملکرد و ریسک پروژه

در طول فاز اجرایی پروژه، عملکرد واقعی و هزینه‌ی واقعی به‌وسیله‌ی یک روش اندازه‌گیری عملکرد، مانند روش ارزش کسب شده (EVM) یا شبکه زمان‌بندی مسیر بحرانی (CPM) به صورت دائم پیگیری و نتایج تجزیه و تحلیل می‌شود؛ شاخص‌های نشان‌دهنده‌ی وضعیت پروژه نیز از نظر زمان و هزینه به دست می‌آید. مشکل عمومی این روش‌ها، در نظر نگرفتن ریسک‌های پروژه<sup>[۱۶، ۱۷]</sup> و نداشتن شاخص‌هایی برای مدیریت مالی<sup>[۱۷]</sup> و نیز ارائه‌ی یک مقدار قطعی برای پیش‌بینی‌های آتی است.<sup>[۱۸]</sup>

در بحث مدیریت پروژه در زمینه‌ی مدیریت هزینه مطالعات فراوانی صورت گرفته و تکنیک ارزش کسب شده نیز به‌عنوان یکی از ابزارهای مناسب برای مدیریت و کنترل هزینه مطرح شده است، ولی در ارتباط با کنترل درآمدها و پرداخت‌ها از منظر کارفرما، در ادبیات مدیریت پروژه کم‌تر صحبت شده است. از منظر کارفرما مجموعه‌ی جریان‌های نقدی ممکن که در پروژه رخ می‌دهد به دو شکل است: جریان نقدی ورودی و جریان نقدی خروجی. خروجی نقدی شامل هزینه‌های نیروی کار، تجهیزات، مواد و غیره که در فرم پرداخت‌ها به پیمانکار صورت می‌گیرد (جریان‌های نقدی ورودی پیمانکار) و جریان ورودی، شامل پیش‌فروش واحدهای ساختمانی، فروش واحدهای ساختمانی، تسهیلات بانکی و... است.

در شرایط فعلی و با توجه به وضعیت پروژه‌های در جریان، می‌توان با قطعیت گفت که در هر پروژه، اهمیت کنترل درآمد کم‌تر از کنترل هزینه نیست. یکی از شایع‌ترین دلایل تأخیر در پروژه‌ها، مواجهه با کمبود نقدینگی به دلیل محقق نشدن درآمدهای مورد انتظار است. از سوی دیگر عدم تحقق درآمدها در هر پروژه و مواجهه با کمبود نقدینگی، جدا از ایجاد تأخیر، خود منجر به افزایش هزینه‌های پروژه می‌شود.<sup>[۱۴]</sup>

در این تحقیق به مسئله‌ی مدیریت یکپارچه‌ی عملکرد و ریسک پروژه خواهیم پرداخت. رویکرد پیشنهادی اهداف عملکردی پروژه را در سه سطح زمان، هزینه و مالی (شامل جریان‌های نقدی ورودی مانند درآمدها<sup>۱۱</sup> و جریان‌های نقدی خروجی مانند پرداخت‌ها<sup>۱۲</sup>) تعریف کرده و طی مرحله‌ی اجرایی پروژه مدلی متناسب با پروژه‌های مورد بررسی برای یکپارچه سازی ارزیابی عملکرد و آنالیز ریسک ارائه می‌شود. با توسعه‌ی شاخص‌های مالی و تلفیق روش مدیریت ارزش کسب شده و روش پیش‌بینی فیلتر کالمن<sup>۱۳</sup> می‌توان ارزیابی قوی برای مدیریت پروژه ایجاد کرد و با استفاده از آن به پیگیری روند پیشرفت، تحلیل ریسک و پیش‌بینی‌های آتی برای اهداف عملکردی پروژه به صورت دقیق‌تر و کارا تر پرداخت. با توجه به این که پیش‌آمدهای ناخواسته و برنامه‌ریزی نشده طی پروژه، نه تنها عملکرد واقعی، بلکه ریسک پروژه را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد، باید معیاری وجود داشته باشد برای آگاهی از این که تأخیرات یا اضافه هزینه‌های کنونی رخ داده در محدوده‌ی تغییرات مورد انتظار (پروژه تحت کنترل) است یا نه. شاخص‌ها و واریانس‌های زمانی و هزینه‌ی تنها بیان‌گر سرریز هزینه و تأخیرات است، و اطلاعات و هشدارهایی در باره‌ی تغییرات ساختاری که پروژه را از کنترل خارج می‌کند، نمی‌دهند. در این بخش، با توسعه‌ی

جدول ۱. شاخص‌های اندازه‌گیری مدیریت ارزش کسب شده.

عنوان	شرح	فرمول
ارزش برنامه‌ریزی شده (PV) یا (BCWS)	ارزش تخمینی کاری که برنامه‌ریزی شده است.	
ارزش کسب شده (EV) یا (BCWP)	ارزش تخمینی کاری که واقعاً انجام شده است.	
هزینه واقعی (AC) یا (ACWP)	هزینه واقعی کاری که انجام گرفته است.	
بودجه تکمیل پروژه (BAC)	مقدار بودجه در نظر گرفته شده برای کل پروژه.	
مغایرت هزینه (CV)	اگر منفی باشد هزینه مازاد بر بودجه صرف شده است.	EV-AC
مغایرت زمان‌بندی (SV)	اگر منفی باشد عقب‌افتادگی از زمان‌بندی وجود دارد.	EV-PV
شاخص عملکرد هزینه‌ی (CPI)	اگر کوچک‌تر از ۱ باشد هزینه مازاد بر بودجه است.	EV/AC
شاخص عملکرد زمان‌بندی (SPI)	اگر کوچک‌تر از ۱ باشد عقب‌افتادگی از زمان‌بندی دارد.	EV/PV

جدول ۲. فرمول‌های توسعه داده شده برای تخمین در انتهای پروژه  $EAC = AC(t) + [BAC - EV(t)]/PF$ .

نوع	فاکتور عملکرد	توضیحات
اصلی	$PF = 1$	وقتی عملکرد گذشته شاخص مناسبی برای عملکرد آتی نیست.
استاندارد	$PF = CPI_{cum}$	فرمول استاندارد.
فاکتور مرکب	$PF = CPI_{cum} * SPI_{cum}$	نسبت بحرانی یا $CPI$ و $SPI$ حاصلضرب زمان هزینه نامیده می‌شود.
میانگین متحرک	$PF = CPI_m(t)$	در بین آخرین فاصله $CPI$ میانگین متحرک $CPI_{12}, CPI_{6}$ و $CPI_{3}$ معمولاً $m$ زمانی استفاده می‌شود.
وزن داده شده	$PF = w_1 * CPI_{cum} + w_2 * SPI_{cum}$	معمولاً تعیین مقدار وزن‌ها توسط مدیر پروژه انجام می‌شود.
پیشرفت (%)	$PF = (C) * CPI_{cum} + (1 - C) * SPI_{cum}$	اصلاح شده درصد وزنی است و به جای وزن‌ها از درصد تکمیل پروژه استفاده می‌شود.

جدول ۳. فرمول‌های توسعه داده شده برای تخمین زمان در انتهای پروژه.

نوع	$EDAC(t)$	توضیحات
روش ارزش برنامه‌ریزی شده *	$EDAC(t) = PD/PF$ $PF = SPI$ or $SCI$	زمان کلی $PD$ برنامه‌ریزی شده پروژه
روش مدت کسب شده **	$EDAC(t) = t + (PD - ED)/PF$ $PF = SPI$ or $SCI$ $ED = AD * SPI$	زمان واقعی پروژه $AD$
روش ارزش زمانی کسب شده ***	$EDAC(t) = t + (PD - ES)/PF$ $PF = SPI^*$ $SPI * EV = ES/t$	برابر با زمان $ES$ پیش‌بینی شده برای حصول به ارزش کسب شده

\* the planned value method

\*\* the earned duration method

\*\*\* the earned schedule method

فرایند، عدم قطعیت را در مدل فرایند نشان می‌دهد. پارامتر  $v_k$  نشان‌گر اختلال اندازه‌گیری است که خطا را در اندازه‌گیری واقعی بیان می‌کند.  $A$  ماتریس مربعی انتقال معلوم فرایند،  $dt$  اختلاف میان دو ماه متوالی و  $H$  ماتریس مشاهده  $Y$  مستطیلی است.<sup>[۲۰]</sup>

$$A = \begin{bmatrix} 1 & dt \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad w_{k-1} = \begin{bmatrix} 0 \\ w_{k-1} \end{bmatrix}$$

$$Q_k = \text{COV}[w_{k-1}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & q \end{bmatrix} \quad (۱۰)$$

کواریانس خطا به وسیله تخمین خطای حالت، یعنی تفاوت بین مقدار صحیح (اما نامعلوم) حالت سیستم  $x_k$ ، و تخمین حالت سیستم  $\tilde{x}_k$  تعیین می‌شود.

$$P = E[(x_k - \tilde{x}_k)(x_k - \tilde{x}_k)^T] \quad (۱۱)$$

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

$$\tilde{x}_k^- = A\tilde{x}_{k-1}^+ \quad (۱۲)$$

$$P_k^- = A_k P_{k-1}^+ A_k^T + Q_{k-1} \quad (۱۳)$$

در ادامه، اطلاعات قبلی با استفاده از مشاهده جدید  $Z_k$  توسط مدل اندازه‌گیری به‌روزرسانی می‌شود، تا تخمین قبلی  $x_k$  بهبود یابد.

$$\tilde{x}_k^+ = \tilde{x}_k^- + k_k(Z_k - H\tilde{x}_k^-) \quad (۱۴)$$

ماتریس وزنی  $K$  را بهره‌ی کالمن<sup>۱۸</sup> می‌نامند، و طوری تعیین می‌شود که کواریانس خطای تخمین ثانویه  $P_k^+$  را کمینه کند. یکی از فرمول‌های ارائه شده عبارت است از:<sup>[۱۸]</sup>

$$K_k = P_k^- H^t (H P_k^- H^t + R_k)^{-1} \quad (۱۵)$$

$$P_k^+ = [I - K_k H P_k^-] \quad (۱۶)$$

برای مثال، در حالتی که از فیلتر کالمن برای زمان پروژه استفاده می‌شود، هدف از پیش‌بینی منحنی پیشرفت، تخمین و به‌روزرسانی زمان نهایی اتمام پروژه ( $EDAC$ ) در هر زمان  $t_k$  است. وقتی تخمین  $\tilde{x}_k$  (یعنی اختلاف زمان  $\tilde{TV}_k$  در هر زمان  $t_k$ ) به‌دست آمد، ارزش کسب شده مورد انتظار ( $\tilde{EV}_k$ ) در آن زمان به‌وسیله منحنی پیشرفت پایه تعیین می‌شود.

$$\tilde{EV}_k = PV(\tilde{ES}_k) \quad (۱۷)$$

$$\tilde{ES}_k = t_k + \tilde{TV}_k = t_k + \tilde{x}_k \quad (۱۸)$$

حال زمانی که رابطه‌ی ۱۹ محقق شود،  $EDAC$  حاصل می‌شود:

$$\tilde{EV}_k > BAC \quad (۱۹)$$

وقتی به چنین زمانی ( $t_k$ ) رسیدیم که در رابطه‌ی ۱۹ صدق کند،  $EDAC$  چنین محاسبه می‌شود:

$$EDAC = t_k - \alpha(t_k - t_{k-1}) \cong t_k; \quad 0 \leq \alpha < 1 \quad (۲۰)$$

محاسبه‌ی  $ES(t)$ :

$$PV(ES(t)) = EV(t); \quad ES(t) = PV[EV(t)]^{-1} \quad (۳)$$

$$TV(t) = ES(t) - t \quad (۴)$$

$$TPI(t) = ES(t)/t \quad (۵)$$

سپس زمان خاتمه‌ی پروژه در زمان  $t$  با استفاده از دو شاخص PDAC<sup>۱۴</sup> و TPI تخمین زده می‌شود:

$$EDAC(t) = PDAC/TPI(t) \quad (۶)$$

روش کالمن فیلتر یک الگوریتم بازگشتی<sup>۱۵</sup> است برای تخمین درست اما نامعلوم حالت یک سیستم پویا در حضور داده‌هایی که برای آن‌ها خطایی در نظر گرفته می‌شود.<sup>[۱۹]</sup> الگوریتم کالمن فیلتر از یک چرخه‌ی بازگشتی تشکیل شده (شکل ۳) که برای پیش‌بینی هم‌زمان از تخمین اولیه و اطلاعات واقعی پروژه تا آن مرحله استفاده می‌کند. در این روش حالت یک سیستم پویا در هر زمان  $k$  با دو نوع متغیر، حالت ( $x_k$ ) و کواریانس خطا ( $p_k$ ) نشان داده می‌شود. کواریانس خطا، عدم قطعیت در تخمین متغیرهای حالت را نشان می‌دهد. متغیر حالت و کواریانس خطا در هر فاصله‌ی زمانی  $k$ ، به‌وسیله دو مدل خطی تصادفی با نام‌های مدل اندازه‌گیری و مدل سیستم به‌روزرسانی می‌شوند. مدل اندازه‌گیری با استفاده از مشاهدات جدید از داده‌های واقعی به دست آمده ( $Z_k$ )، داده‌های مقدماتی را به‌هنگام کرده و مدل سیستم حالت آینده‌ی سیستم را در مرحله‌ی بعدی ( $k+1$ ) پیش‌بینی می‌کند.<sup>[۱۸]</sup> 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 دوره‌ی گزارش ( $dTV_k/dt$ ). متغیر حالت KFFM چنین تعریف می‌شود:

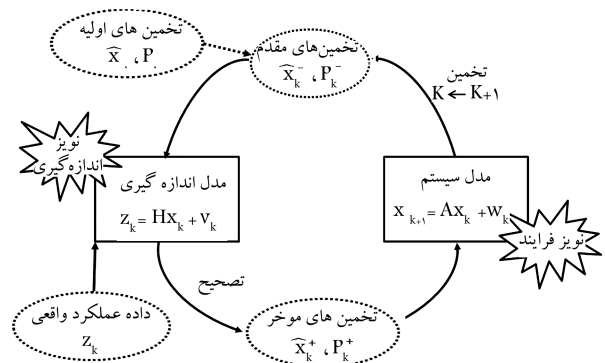
$$x_k = \left\{ \begin{array}{l} TV_k \\ TV_k/dt \end{array} \right\} \quad (۷)$$

محاسبات متغیر حالت  $x_k$  و مشاهده‌ی جدید  $Z_k$  از طریق دو فرمول ۸ و ۹ انجام می‌شود:

$$x_k = Ax_{k-1} + w_{k-1} \quad (۸)$$

$$Z_k = Hx_k + v_k \quad (۹)$$

که در آن  $w_{k-1}$  خطای تصادفی بیان‌گر تغییرات در انحرافات  $TV$  در یک دوره گزارش،  $v_k$  بیان‌گر واریانس اختلال فرایند تصادفی<sup>۱۶</sup> است. واریانس اختلال



شکل ۳. چرخه یادگیری بازگشتی فیلتر کالمن.

محدوده‌ی تخمین  $EDAC$  را نیز می‌توان مستقیماً از نتایج فیلتر کالمن به صورت ماتریکس کواریانس خطا  $t_k$  به دست آورد.<sup>[۱۸]</sup>

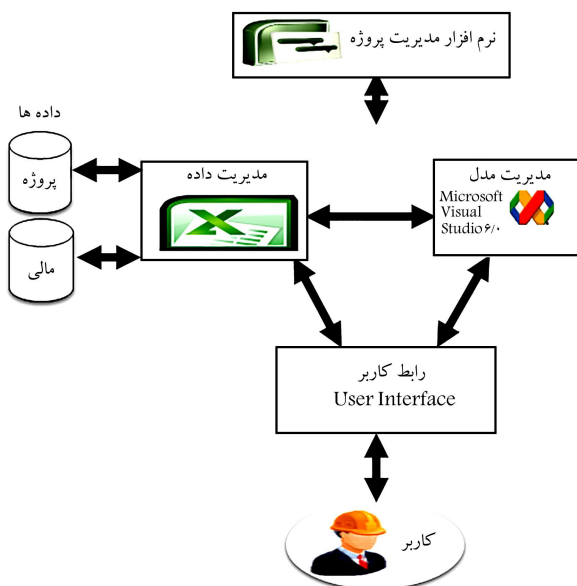
برای تلفیق روش کالمن فیلتر و مدیریت ارزش کسب شده، فرض می‌شود پیشرفت تجمعی پروژه از معادله‌ی پویای فضای حالت<sup>۱۹</sup> که پیشرفت واقعی پروژه را نشان می‌دهد، حاصل می‌شود.<sup>[۱۹]</sup> روش کالمن فیلتر با داشتن اطلاعات اولیه‌ی موجود و در نظر گرفتن خطاهای اجرا و اندازه‌گیری، با کمینه‌کردن میانگین مربعات خطاها یک تخمین بهینه از وضعیت پروژه ارائه می‌دهد؛ این روند تا انتهای پروژه ادامه می‌یابد. همچنین با توجه به عدم قطعیتی که در پیش‌بینی وضعیت آینده‌ی پروژه وجود دارد، مقداری تحت عنوان خطای فرایند در مدل سیستم بیان می‌شود. عده‌بی از محققین<sup>[۱۸-۲۰]</sup> از روش کالمن فیلتر برای در نظر گرفتن عدم قطعیت پیش‌بینی‌های آتی زمان، و برخی<sup>[۲۱]</sup> از آن برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در هر دو بخش زمان و هزینه استفاده کرده‌اند. همچنین عطارزاده و چوا<sup>۲۰</sup> از روش فیلتر کالمن برای ارزیابی ریسک عملکرد (زمان و هزینه) در پروژه‌های بلندمدت زیرساختاری استفاده کرده‌اند.<sup>[۲۲]</sup>

در این تحقیق از تلفیق روش مدیریت ارزش کسب شده و روش کالمن فیلتر برای تحلیل ریسک و پیش‌بینی در هر سه مورد از اهداف عملکردی، شامل زمان، هزینه و درآمد استفاده خواهد شد.

## ۶. پیاده‌سازی مدل در یک پروژه‌ی واقعی، و تجزیه و

### تحلیل نتایج

بدون توجه به نرم‌افزارهای سیستم اطلاعاتی و محاسباتی قدرت‌مند دست‌یابی به اهداف مدیریت پروژه تقریباً غیر ممکن خواهد بود. لذا توجه به این امر قبل از پرداختن به موضوع و تکنیک خاص در مدیریت پروژه ضروری به نظر می‌رسد. سیستم پشتیبانی تصمیم مدیریت یکپارچه‌ی عملکرد و ریسک پروژه که چارچوب کلی و اجزاء آن در شکل ۴ نشان داده شده است، با هدف افزایش دقت، سهولت، کارایی و اثربخشی در هر دو مرحله‌ی برنامه‌ریزی و اجرای پروژه طراحی شده است.



شکل ۴. اجزاء و چارچوب سیستم پشتیبانی تصمیم طراحی شده برای مدل جامع پیشنهادی.

در این سیستم با توسعه‌ی شاخص‌های مالی و تلفیق روش مدیریت ارزش کسب شده و روش پیش‌بینی فیلتر کالمن ابزاری جامع برای مدیریت پروژه ایجاد شده تا با استفاده از آن روند پیشرفت، تحلیل ریسک و پیش‌بینی‌های آتی برای اهداف عملکردی پروژه را دقیق‌تر و کارتر پیگیری کند. همچنین تصمیم‌گیران را در دنیای واقعی قادر به تصمیم‌گیری‌های مؤثرتر و کارتر برای استفاده‌ی بهینه از منابع مالی، عملیات‌های اجرایی و پروژه در راستای سودآوری بیشتر و تهیه‌ی گزارشی دقیق‌تر و کارتر می‌کند.

در تلفیق روش کالمن فیلتر و مدیریت ارزش کسب شده، فرض می‌شود پیشرفت تجمعی پروژه، از معادله‌ی پویای فضای حالت<sup>۲۱</sup> که پیشرفت واقعی پروژه را نشان می‌دهد، حاصل می‌شود.<sup>[۱۹]</sup> در پروژه‌های دنیای واقعی، پیش‌بینی از یک نقطه‌ی شروع -- معمولاً اول پروژه -- انجام می‌شود. بنابراین مقادیر اولیه‌ی متغیر حالت، زمان، هزینه و درآمد معادل صفر خواهد بود؛ و چون در این مقادیر عدم قطعیتی هم وجود ندارد، پس مقدار اولیه‌ی کواریانس خطا نیز صفر خواهد شد.

$$\tilde{x}_0 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad \tilde{P}_0 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (21)$$

متغیر اختلال فرایند ( $Q$ )، به‌عنوان کنترل‌کننده‌ی محدوده‌ی تأثیر و تعدیل‌کننده‌ی بهره‌ی کالمن ( $K$ ) عمل می‌کند. انتخاب نادرست مقدار کواریانس اختلال، به‌عنوان یک عامل حیاتی، باعث عدم کارکرد درست فیلتر کالمن خواهد شد.

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & W_{k-1}^T \end{bmatrix} \quad (22)$$

در تخمین متغیر اختلال فرایند ( $Q$ )، محققین<sup>[۱۹، ۲۰]</sup> برای پیش‌بینی زمان و نیز برای هزینه<sup>[۲۱]</sup> از توزیع اولیه‌ی زمان و هزینه استفاده کرده‌اند؛ پارامترهای توزیع اولیه‌ی زمان و هزینه نیز با استفاده از تخمین سه‌نقطه‌بی (روش Pert)، با فرض مقدار خوشبینانه ( $O$ )، محتمل ( $ML$ ) و بدبینانه ( $P$ ) به دست می‌آید:<sup>[۲۰]</sup>

$$\text{Mean} = (O + 4 * M + P) / 6 \quad (23)$$

$$\text{Standard Deviation} = (P - O) / 6 \quad (24)$$

تخمین متغیر اختلال فرایند ( $W_{k-1}$ )، باید به‌نحوی باشد که در انتهای دوره‌ی پیش‌بینی، کواریانس خطا که با فیلتر کالمن تخمین زده می‌شود با واریانس توزیع اولیه‌ی مقدار پیش‌بینی برابر باشد. همچنین کواریانس اختلال اندازه‌گیری ( $R_k$ ) که شاخص مهمی در پیاده‌سازی فیلتر کالمن است، نشان‌گر دقت اندازه‌گیری عملکرد واقعی است و چنین محاسبه می‌شود:

$$R_k = a^T / 9 \quad (25)$$

که در آن  $a$  مقدار بیشینه یا کمینه‌ی خطای اندازه‌گیری است.<sup>[۱۸]</sup> مقادیر این پارامترها برای شروع فیلتر کالمن در هر سه بخش زمان، هزینه و درآمد به صورت جدا محاسبه شده، که این مقادیر از طریق رابط‌های کاربری نشان داده شده در شکل ۵ وارد سیستم می‌شوند.

روش کالمن فیلتر با داشتن اطلاعات اولیه‌ی موجود و در نظر گرفتن خطاهای اجرا و اندازه‌گیری، با کمینه‌کردن میانگین مربعات خطاها یک تخمین بهینه از وضعیت پروژه ارائه می‌دهد؛ این روند تا انتهای پروژه ادامه می‌یابد. همچنین با توجه به عدم قطعیت موجود در پیش‌بینی وضعیت آینده‌ی پروژه، مقداری تحت عنوان خطای فرایند در مدل سیستم بیان می‌شود.

شکل های ۶ تا ۸ نشانگر نتایج تحلیل ریسک و پیش بینی های اهداف عملکردی پروژه -- شامل زمان، هزینه و درآمد -- است که این نتایج تحت سه قالب، با عنوان پروفایل EAC احتمالی ۲۲، گراف احتمال موفقیت ۲۳ و پروفایل احتمال موفقیت ۲۴ نشان داده شده است.

پروفایل EAC احتمالی، شامل سه منحنی، حد بالا (UB)، حد پایین (LB) و مقدار پیش بینی است. این منحنی ها روند تخمین های احتمالی انجام شده برای اهداف عملکردی از شروع پروژه تا زمان پیش بینی را نشان می دهند. خط چین سبز رنگ (مقادیر EDAC، EBAC، EDAC، ETAC و ETAC، مطابق شکل های ۶ تا ۸) بیانگر مقادیر تخمینی زمان، هزینه و درآمد در انتهای پروژه است که به عنوان میانگین توزیع مؤخر آن ها محاسبه می شود. حدود بالا و پایین نیز براساس سطح اطمینان تعیین شده توسط کاربر، که در این پروژه ۹۰٪ است، تعیین می شود. این سه منحنی، محدوده ای تحت کنترل حول مقدار برنامه ریزی را نشان می دهد و می توان از آن به عنوان ابزاری برای دریافت هشدارهای زود هنگام از انحرافات غیرقابل کنترل در آینده و تعیین اقدامات اصلاحی به موقع استفاده کرد. ۵ منحنی توزیع احتمالات مقدم ۲۵ و مؤخر ۲۶ (مطابق شکل های ۶ تا ۸) احتمال خاتمه ی پروژه در مقدار برنامه ریزی شده ی هر یک از اهداف عملکردی را نشان می دهد. توزیع مقدم، توزیع احتمالات مقدار برنامه ریزی شده قبل از اجرای پروژه بر پایه ی تجربیات و نظرات کارشناسان است. توزیع مؤخر نیز توزیع احتمالات تخمین های آتی طی فاز اجرایی پروژه و در زمان مشخص است. پروفایل احتمال موفقیت (شکل های ۶ تا ۸) نیز تغییرات در احتمال رسیدن به مقدار برنامه ریزی شده ی اهداف پروژه (زمان، هزینه و درآمد) است. این پروفایل همچنین می تواند برای تعیین هشدارهای زود هنگام در سطح ریسک مشخص به کار گرفته شود. در ادامه با استفاده از نتایج روش فیلتر کالمن برای تحلیل ریسک و عدم قطعیت ها در سطح درآمد و هزینه، روند پیشرفت سود پروژه و حدود بالا و پایین آن در شکل ۹ آورده شده است. با توجه به شکل، مشاهده می شود که از ماه سوم

Time Forecasting

Date: ۱۸/۲/۱۳۹۲

Planned Values		Initial Values	
Planned Value:	837	Max Measur. Noise:	3
Most likely:	837	Measur. Noise Var.:	1
Pessimistic:	2092.5	Process Noise:	8.98
Optimistic:	585.9	Process Noise Var.:	8.96
Mean:	837	Fore. Period:	28
STDV:	251.1	Actual Value:	

Cancel
Proceed

---

Cost Forecasting

Date: ۱۸/۲/۱۳۹۲

Planned Values		Initial Values	
Planned Value:	184183481308.566	Max Measur. Noise:	230000
Most likely:	184183481308.57	Measur. Noise Var.:	587777777.78
Pessimistic:	221020177570.28	Process Noise:	70238.78
Optimistic:	128928436916	Process Noise Var.:	548165135.1
Mean:	184183481308.57	Fore. Period:	28
STDV:	15348623442.38	Actual Value:	

Cancel
Proceed

---

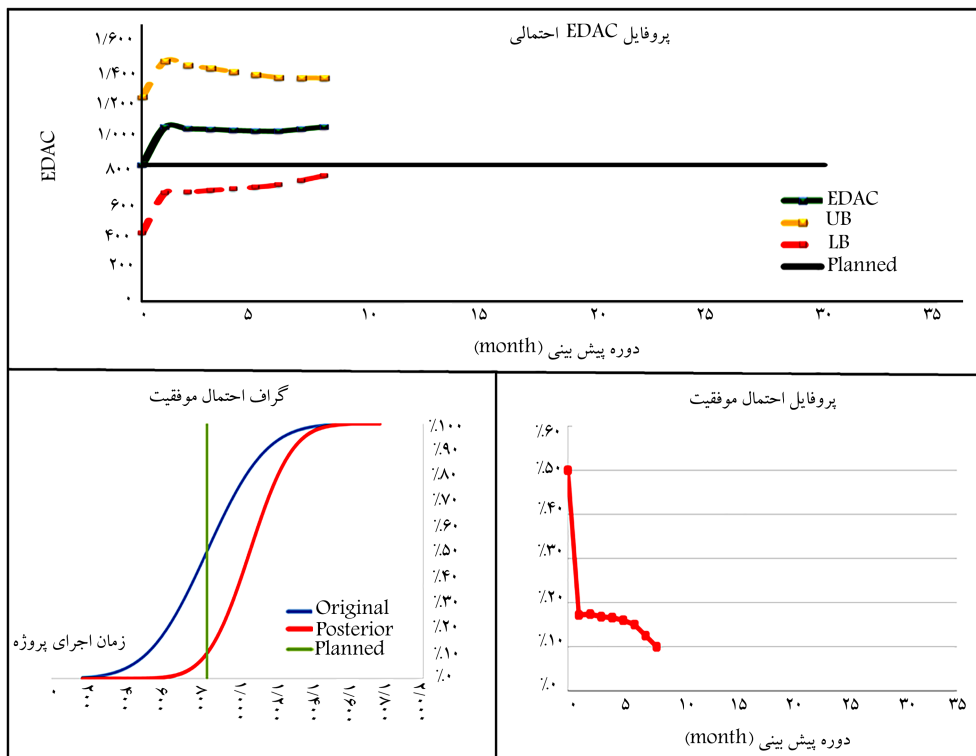
Income Forecasting

Date: ۱۸/۲/۱۳۹۲

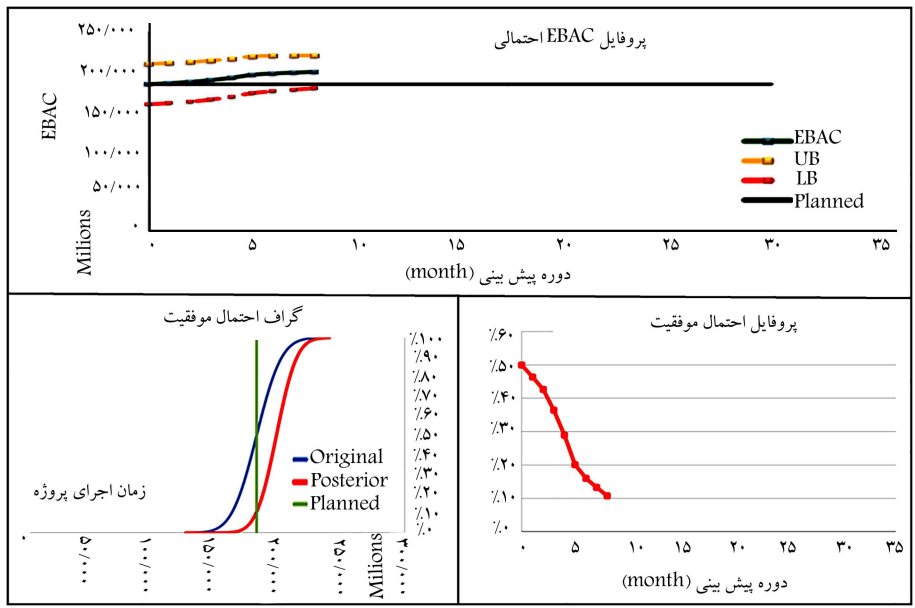
Planned Values		Initial Values	
Planned Value:	274557963271.167	Max Measur. Noise:	100000
Most likely:	274557963271.17	Measur. Noise Var.:	1111111111.11
Pessimistic:	329469555925.4	Process Noise:	85756.81
Optimistic:	192190574289.82	Process Noise Var.:	817126717.93
Mean:	274557963271.17	Fore. Period:	28
STDV:	22879830272.6	Actual Value:	

Cancel
Proceed

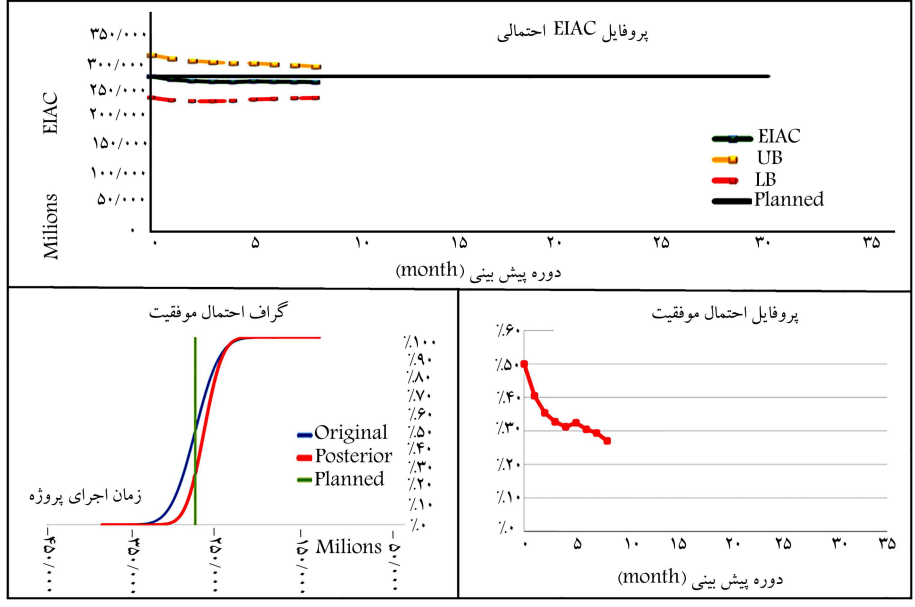
شکل ۵. رابط کاربری طراحی شده برای وارد کردن پارامترهای ورودی مدل و انجام پیش بینی های آتی زمان، هزینه و درآمد.



شکل ۶. آنالیز ریسک و پیش بینی های زمانی پروژه با تلفیق EVM روش فیلتر کالمن.



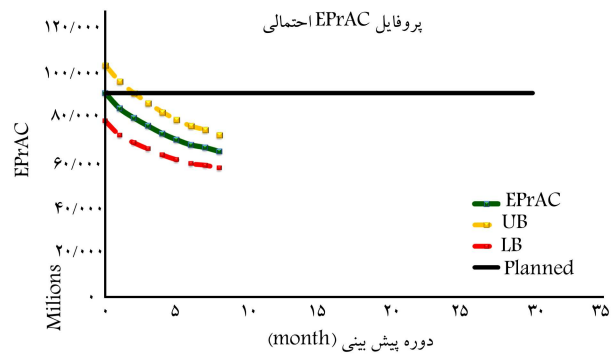
شکل ۷. آنالیز ریسک و پیش‌بینی‌های هزینه‌ی پروژه با تلفیق EVM روش فیلتر کالمن.



شکل ۸. آنالیز ریسک و پیش‌بینی‌های درآمدی پروژه با تلفیق EVM روش فیلتر کالمن.

سود از محدوده‌ی کنترلی خارج شده است و باید اقدامات اصلاحی متناسب انجام شود.

برای ارزیابی نتایج به دست آمده از روش فیلتر کالمن در پیش‌بینی اهداف عملکردی پروژه، به‌عنوان نمونه، پیش‌بینی در بخش هزینه با نتایج پیش‌بینی از روش EVM مقایسه می‌شود. شکل ۱۰ داده‌های مربوط به مقادیر برنامه‌ی واقعی و ارزشی کسب شده برای زمان، هزینه و درآمد به‌صورت ماهیانه، که در محاسبات استفاده شده است را نشان می‌دهد. نتایج پیش‌بینی برای مقادیر آتی از روش EVM در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در این شکل دو نمودار، یکی در ماه دوم و دیگری در ماه هشتم، نشان‌گر فاصله‌ی مقادیر پیش‌بینی از مقدار برنامه‌ریزی شده است که این اختلاف با توجه به فرض استاندارد EVM در پیش‌بینی آتی، مبنی بر یکسان بودن عملکرد آتی با عملکرد گذشته‌ی پروژه است. نتایج پیش‌بینی فیلتر

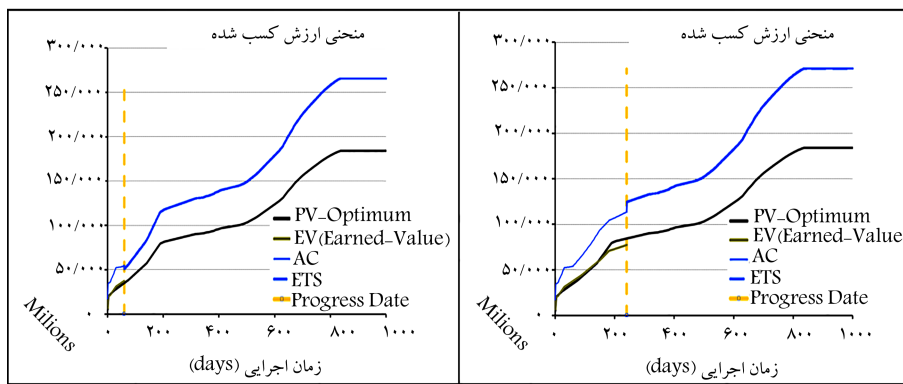


شکل ۹. پیش‌بینی‌های روند سود پروژه با استفاده از نتایج روش فیلتر کالمن.

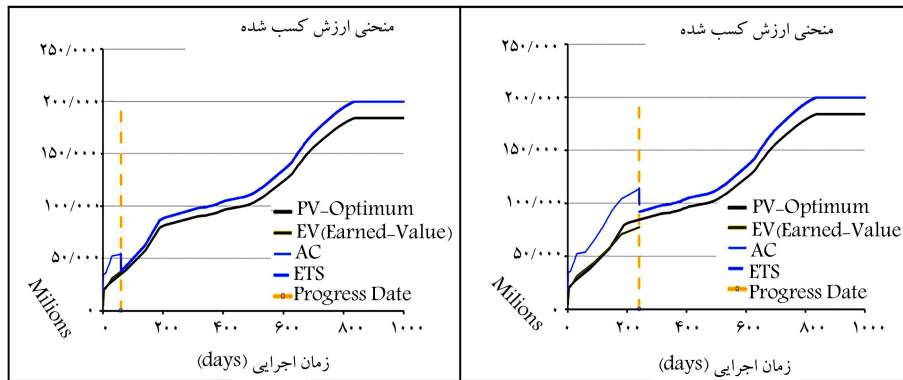


Month	Data		Month	Data			Month	Data		
	Earned Schedule	Actual Time		Planned Value	Earned Value	Actual Cost		Planned Value	Earned Value	Actual Income
1	42.12	30.00	1	۲۸,۹۲۱,۲۲۱.۲۲	۲۸,۹۲۱,۲۲۱.۲۲	۲۸,۹۲۱,۲۲۱.۲۲	1	۲۸,۹۲۱,۲۲۱.۲۲	۲۸,۹۲۱,۲۲۱.۲۲	۲۸,۹۲۱,۲۲۱.۲۲
2	71.95	60.00	2	۳۶,۸۸۱,۲۲۱.۲۲	۳۶,۸۸۱,۲۲۱.۲۲	۳۶,۸۸۱,۲۲۱.۲۲	2	۳۶,۸۸۱,۲۲۱.۲۲	۳۶,۸۸۱,۲۲۱.۲۲	۳۶,۸۸۱,۲۲۱.۲۲
3	95.56	90.00	3	۴۴,۸۴۱,۲۲۱.۲۲	۴۴,۸۴۱,۲۲۱.۲۲	۴۴,۸۴۱,۲۲۱.۲۲	3	۴۴,۸۴۱,۲۲۱.۲۲	۴۴,۸۴۱,۲۲۱.۲۲	۴۴,۸۴۱,۲۲۱.۲۲
4	123.78	120.00	4	۵۲,۸۰۱,۲۲۱.۲۲	۵۲,۸۰۱,۲۲۱.۲۲	۵۲,۸۰۱,۲۲۱.۲۲	4	۵۲,۸۰۱,۲۲۱.۲۲	۵۲,۸۰۱,۲۲۱.۲۲	۵۲,۸۰۱,۲۲۱.۲۲
5	147.96	150.00	5	۶۰,۷۶۱,۲۲۱.۲۲	۶۰,۷۶۱,۲۲۱.۲۲	۶۰,۷۶۱,۲۲۱.۲۲	5	۶۰,۷۶۱,۲۲۱.۲۲	۶۰,۷۶۱,۲۲۱.۲۲	۶۰,۷۶۱,۲۲۱.۲۲
6	169.65	180.00	6	۶۸,۷۲۱,۲۲۱.۲۲	۶۸,۷۲۱,۲۲۱.۲۲	۶۸,۷۲۱,۲۲۱.۲۲	6	۶۸,۷۲۱,۲۲۱.۲۲	۶۸,۷۲۱,۲۲۱.۲۲	۶۸,۷۲۱,۲۲۱.۲۲
7	177.29	210.00	7	۷۶,۶۸۱,۲۲۱.۲۲	۷۶,۶۸۱,۲۲۱.۲۲	۷۶,۶۸۱,۲۲۱.۲۲	7	۷۶,۶۸۱,۲۲۱.۲۲	۷۶,۶۸۱,۲۲۱.۲۲	۷۶,۶۸۱,۲۲۱.۲۲
8	184.44	240.00	8	۸۴,۶۴۱,۲۲۱.۲۲	۸۴,۶۴۱,۲۲۱.۲۲	۸۴,۶۴۱,۲۲۱.۲۲	8	۸۴,۶۴۱,۲۲۱.۲۲	۸۴,۶۴۱,۲۲۱.۲۲	۸۴,۶۴۱,۲۲۱.۲۲
9	215.00		9	۹۲,۶۰۱,۲۲۱.۲۲	۹۲,۶۰۱,۲۲۱.۲۲	۹۲,۶۰۱,۲۲۱.۲۲	9	۹۲,۶۰۱,۲۲۱.۲۲	۹۲,۶۰۱,۲۲۱.۲۲	۹۲,۶۰۱,۲۲۱.۲۲
10	259.17		10	۱۰۰,۵۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۰۰,۵۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۰۰,۵۶۱,۲۲۱.۲۲	10	۱۰۰,۵۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۰۰,۵۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۰۰,۵۶۱,۲۲۱.۲۲
11	270.54		11	۱۰۸,۵۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۰۸,۵۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۰۸,۵۲۱,۲۲۱.۲۲	11	۱۰۸,۵۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۰۸,۵۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۰۸,۵۲۱,۲۲۱.۲۲
12	281.59		12	۱۱۶,۴۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۱۶,۴۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۱۶,۴۸۱,۲۲۱.۲۲	12	۱۱۶,۴۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۱۶,۴۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۱۶,۴۸۱,۲۲۱.۲۲
13	298.29		13	۱۲۴,۴۴۱,۲۲۱.۲۲	۱۲۴,۴۴۱,۲۲۱.۲۲	۱۲۴,۴۴۱,۲۲۱.۲۲	13	۱۲۴,۴۴۱,۲۲۱.۲۲	۱۲۴,۴۴۱,۲۲۱.۲۲	۱۲۴,۴۴۱,۲۲۱.۲۲
14	320.07		14	۱۳۲,۴۰۱,۲۲۱.۲۲	۱۳۲,۴۰۱,۲۲۱.۲۲	۱۳۲,۴۰۱,۲۲۱.۲۲	14	۱۳۲,۴۰۱,۲۲۱.۲۲	۱۳۲,۴۰۱,۲۲۱.۲۲	۱۳۲,۴۰۱,۲۲۱.۲۲
15	331.96		15	۱۴۰,۳۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۴۰,۳۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۴۰,۳۶۱,۲۲۱.۲۲	15	۱۴۰,۳۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۴۰,۳۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۴۰,۳۶۱,۲۲۱.۲۲
16	344.45		16	۱۴۸,۳۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۴۸,۳۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۴۸,۳۲۱,۲۲۱.۲۲	16	۱۴۸,۳۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۴۸,۳۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۴۸,۳۲۱,۲۲۱.۲۲
17	371.25		17	۱۵۶,۲۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۵۶,۲۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۵۶,۲۸۱,۲۲۱.۲۲	17	۱۵۶,۲۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۵۶,۲۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۵۶,۲۸۱,۲۲۱.۲۲
18	410.29		18	۱۶۴,۲۴۱,۲۲۱.۲۲	۱۶۴,۲۴۱,۲۲۱.۲۲	۱۶۴,۲۴۱,۲۲۱.۲۲	18	۱۶۴,۲۴۱,۲۲۱.۲۲	۱۶۴,۲۴۱,۲۲۱.۲۲	۱۶۴,۲۴۱,۲۲۱.۲۲
19	459.89		19	۱۷۲,۲۰۱,۲۲۱.۲۲	۱۷۲,۲۰۱,۲۲۱.۲۲	۱۷۲,۲۰۱,۲۲۱.۲۲	19	۱۷۲,۲۰۱,۲۲۱.۲۲	۱۷۲,۲۰۱,۲۲۱.۲۲	۱۷۲,۲۰۱,۲۲۱.۲۲
20	509.67		20	۱۸۰,۱۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۸۰,۱۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۸۰,۱۶۱,۲۲۱.۲۲	20	۱۸۰,۱۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۸۰,۱۶۱,۲۲۱.۲۲	۱۸۰,۱۶۱,۲۲۱.۲۲
21	563.63		21	۱۸۸,۱۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۸۸,۱۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۸۸,۱۲۱,۲۲۱.۲۲	21	۱۸۸,۱۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۸۸,۱۲۱,۲۲۱.۲۲	۱۸۸,۱۲۱,۲۲۱.۲۲
22	611.17		22	۱۹۶,۰۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۹۶,۰۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۹۶,۰۸۱,۲۲۱.۲۲	22	۱۹۶,۰۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۹۶,۰۸۱,۲۲۱.۲۲	۱۹۶,۰۸۱,۲۲۱.۲۲
23	726.13		23	۲۰۴,۰۴۱,۲۲۱.۲۲	۲۰۴,۰۴۱,۲۲۱.۲۲	۲۰۴,۰۴۱,۲۲۱.۲۲	23	۲۰۴,۰۴۱,۲۲۱.۲۲	۲۰۴,۰۴۱,۲۲۱.۲۲	۲۰۴,۰۴۱,۲۲۱.۲۲
24	788.32		24	۲۱۲,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۱۲,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۱۲,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	24	۲۱۲,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۱۲,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۱۲,۰۰۱,۲۲۱.۲۲
25	841.98		25	۲۲۰,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۲۰,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۲۰,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	25	۲۲۰,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۲۰,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۲۰,۰۰۱,۲۲۱.۲۲
26	893.08		26	۲۲۸,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۲۸,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۲۸,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	26	۲۲۸,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۲۸,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۲۸,۰۰۱,۲۲۱.۲۲
27	934.39		27	۲۳۶,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۳۶,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۳۶,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	27	۲۳۶,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۳۶,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۳۶,۰۰۱,۲۲۱.۲۲
28	837.00		28	۲۴۴,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۴۴,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۴۴,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	28	۲۴۴,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۴۴,۰۰۱,۲۲۱.۲۲	۲۴۴,۰۰۱,۲۲۱.۲۲
29			29				29			

شکل ۱۰. داده‌های برنامه‌ریزی، ارزش کسب شده و واقعی پروژه به صورت ماهانه برای زمان، هزینه و درآمد.



شکل ۱۱. نتایج پیش‌بینی هزینه پروژه در ماه‌های دوم و هشتم با استفاده از EVM.



شکل ۱۲. نتایج پیش‌بینی هزینه پروژه در ماه‌های دوم و هشتم با استفاده از مدل پیشنهادی.

در طی پروژه موازنه ایجاد کند به طوری که این ضرایب تأثیر با پیشرفت پروژه برای داده‌های واقعی بیشتر شده و عکس آن برای مقادیر برنامه‌ریزی رخ دهد، منطقی و مطابق با شرایط واقعی خواهد بود.

روش پیش‌بینی توسعه داده شده با الگوریتم فیلترکالمن اولاً از هر دو اطلاعات برنامه‌ریزی شده و واقعی با ضریب تأثیر متغیر استفاده می‌کند، و ثانیاً خطاهای اندازه‌گیری را نیز در نظر می‌گیرد. در ادامه، در ماه هشتم مشاهده می‌شود که با

کالمن نیز در شکل ۱۲ برای ماه دوم و هشتم نشان داده شده است. در ماه دوم، بر خلاف روش EVM، مقادیر پیش‌بینی فاصله‌ی بسیار نزدیکی با مقادیر برنامه‌ریزی شده دارد و این مقادیر بیشتر از آن که از اندک داده‌ی واقعی گزارش شده تأثیر بپذیرد، از برنامه پیروی می‌کند زیرا نمی‌توان فقط با اطلاعات ماه دوم پروژه برای ۲۶ ماه بعد (زمان برنامه‌ریزی شده‌ی پروژه تقریباً ۲۸ ماه است) تصمیم‌گیری درستی انجام داد. بنابراین روشی که بتواند میان مقادیر برنامه‌ریزی شده و واقعی با ضرایب تأثیر متغیر

پیش‌بینی فیلترکالمن ارائه شد. این مدل در مرحله‌ی اجرای پروژه برای پیگیری روند پیشرفت، تحلیل ریسک و پیش‌بینی‌های آتی برای اهداف عملکردی مورد استفاده قرار گرفته، و نتایج آن در بخش‌های زمان، هزینه، درآمد و سود تشریح شد. مقایسه‌ی انجام شده میان نتایج مدل پیشنهادی و روش استاندارد EVM، بیان می‌دارد که روش ارائه‌شده پیش‌بینی‌هایی منطقی و مطابق با شرایط واقعی پروژه‌ها ارائه می‌کند و تنها در شرایط ایده‌آل که خطای اندازه‌گیری صفر است، مقادیر دو پیش‌بینی می‌توانند برابر باشند.

همچنین با توجه به مشکل به‌کارگیری روش‌های مدیریت پروژه با توجه به داده‌های زیاد و حجم محاسباتی بالای این روش‌ها، مدل یکپارچه‌ی پیشنهادی در قالب یک سیستم پشتیبانی تصمیم مدل‌محور، برای استفاده‌ی راحت و دقیق کاربر ارائه شد.

افزایش اطلاعات واقعی از روند اجرای پروژه، مقادیر پیش‌بینی از برنامه فاصله گرفته و به سوی مقادیر واقعی نزدیک‌تر می‌شود.

## ۷. نتیجه‌گیری

طبق تحقیقات صورت گرفته، در حدود ۶۰ درصد شکست سازمان‌های ساخت‌وساز موارد مالی بوده<sup>[۲۴]</sup> و با توجه به ادبیات موضوع و کمبودهایی که در بحث ارزیابی عملکرد برای مدیریت ریسک و مدیریت مالی پروژه وجود داشت، مدلی متناسب با پروژه‌های مورد بررسی برای یکپارچه‌سازی ارزیابی عملکرد و مدیریت ریسک، با توسعه‌ی شاخص‌های مالی و تلفیق روش مدیریت ارزش کسب شده و روش

## پانویس‌ها

1. Plaza
2. Sato and Hirao
3. risk-based project value (RPV)
4. earned value management
5. Gorog
6. Lipke
7. Pajares, Lopez-Paredes
8. risk baseline
9. Acebes
10. earned value method (EVM)
11. incomes
12. payments
13. Kalman Filter forecasting method
14. planned duration at completion
15. recursive algorithm
16. the variance of the random process noise
17. measurement matrix
18. Kalman gain
19. state space
20. attarzadeh and chua
21. state space
22. probabilistic EAC profile
23. probability of success graph
24. probability of success profile
25. prior probability distribution
26. posterior probability distribution

## منابع (References)

1. Hanna, M. "Principles of designing and developing spreadsheet-based decision support systems", Master Work, University of Florida USA (2004).
2. Lee, M. and Wang, J. "Ontology-based intelligent decision support agent for CMMI project monitoring and control", *International Journal of Approximate Reasoning*, **48**, pp. 62-76 (2008).
3. Plaza, M. and Turetken, O. "A model-based DSS for integrating the impact of learning in project control", *Decision Support Systems*, **47**, pp. 488-499 (2009).
4. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*, 4th Edition, Project Management Institute, 459 p. (2008).
5. Zegordi, H. and Rezayinik, E. "Integrating project risk management and scheduling under uncertainty", Ph. D Dissertation, Tarbiat Modares University (2011).
6. Hunter, H., Fitzgerald, R. and Barlow, D. "Improved cost monitoring and control through the earned value management system", *Acta Astronautica*, **93**, pp. 497-500 (2014).
7. Tavares, L.V. "A review of the contribution of operational research to project management", *European Journal of Operational Research*, **136**, pp. 1-18 (2002).
8. Sato, T. and Hirao, M. "Optimum budget allocation method for projects with critical risks", *International Journal of Project Management*, **31**, pp. 126-135 (2013).
9. Mogadam, E.F. "Analytical analysis of construction projects usual risks", *International Congress of Project Management* (2004).
10. Savvides, C. "Risk analysis in investment appraisal", *Project Appraisal*, **9**(1), pp. 3-18 (2008).
11. Burja, C. and Burja, V. "The risk analysis for investments projects decision", *Annales Universitatis Apulensis Series Oeconomica*, **11**(1), pp. 98-105 (2009).
12. Pajares, J. and Parades, A. "An extension of the EVM analysis for project monitoring: The cost control index and schedule control index", *International Journal of Project Management*, **29**, pp. 615-621 (2011).
13. Vandevoorde, S. and Vanhoucke, M. "A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics", *International Journal of Project Management*, **24**, pp. 289-302 (2006).
14. Gorog, M. "A comprehensive model for planning and controlling contractor cash-flow", *International Journal of Project Management*, **27**, pp. 481-492 (2009).

15. Masudifar, P. "Integration of income management and cost management: A complementary for financial analysis of projects", *PMI Global Congress Proceedings*, Istanbul, Turkey (2013).
16. Acebes, F. and Pajares, J. "Beyond earned value management: A graphical framework for integrated cost, schedule and risk monitoring", *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, **74**, pp. 181-189 (2013).
17. Lipke, W. and Zwikael, O. "Prediction of project outcome: The application of statistical methods earned value management and earned schedule performance indexes", *International Journal of Project Management*, **27**, pp. 400-407 (2009).
18. Kim, B.C. "Forecasting project progress and early warning of project overruns with probabilistic methods", Texas A&M University (2007).
19. Kim, B.C. and Reinschmidt, K.F. "Probabilistic forecasting of project duration using Kalman filter and the earned value method", *Construction Engineering and Management*, **136**, pp. 834-843 (2010).
20. Azeem, S.A. "Forecasting project schedule performance using probabilistic and deterministic models", *HBRC Journal*, **10**(1), pp. 35-42 (2014).
21. Kim, B.C. "Probabilistic performance risk evaluation of infrastructure projects", *American Society of Civil Engineers*, **740**, pp. 593-1478 (2012).
22. Atarzadeh, M. and Chua, D. "Performance risk evaluation of long term infrastructure projects (PPP-BOT projects) using probabilistic methods", EPPM, Singapore, pp. 20-21 (2011).
23. Peterson, S.J., *Construction Accounting and Financial Management*, 2nd ed, Prentice Hall (2009).