



بهبود پیش‌بینی عملکرد پروژه‌ها با رویکرد یکپارچه ارزش کسب‌شده و تحلیل ریسک فازی مجتبی فرخ

استادیار، گروه مدیریت عملیات و فناوری اطلاعات، دانشکده مدیریت، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

Email: Farrokh@khu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۹ * تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۹

چکیده

با وجود قابلیت‌هایی که تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده در ارزیابی عملکرد هزینه و زمان پروژه‌ها دارد، قادر به تخمین عملکرد آتی آن‌ها نیست. در واقع مدیریت ارزش کسب‌شده عملکرد آینده پروژه را صرفاً براساس عملکرد گذشته آن تخمین می‌زند و تغییر شرایط محیطی یا دیگر عوامل موثر بر عملکرد آینده پروژه را در نظر نمی‌گیرد. تکنیک مدیریت ریسک بر خلاف مدیریت ارزش کسب‌شده به افق‌های دورتر نظر داشته و با شناسایی حالات شکست به ارزیابی عملکرد پروژه‌ها می‌پردازد. بدین ترتیب با توجه به گذشته‌نگر بودن تکنیک مدیریت ارزش و آینده‌نگر بودن تکنیک مدیریت ریسک در پیش‌بینی عملکرد آینده پروژه، می‌توان با یکپارچه نمودن آن‌ها به هم افزایشی قابل توجهی در مدیریت بهتر پروژه‌ها دست یافت. در این مقاله پس از شناسایی و تحلیل شاخص‌های ریسک بکمک تکنیک FMEA، با استفاده از تکنیک مدیریت ریسک شاخص عملکرد آینده پروژه محاسبه و با شاخص‌های کنونی مدیریت ارزش کسب‌شده ترکیب و با شاخص‌هایی جدید به پیش‌بینی بهتر عملکرد آینده پروژه‌ها می‌پردازیم. این شاخص‌های جدید، تحت شرایط عدم اطمینان و با استفاده از رویکرد فازی تعیین شده است. در پایان، یک مثال کاربردی برای نشان دادن عملکرد رویکرد پیشنهادی ارائه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که در نظر گرفتن شاخص ارزیابی ریسک، عملکرد پیش‌بینی هزینه و زمان تکمیل پروژه را در مدل مدیریت ارزش کسب‌شده بهبود می‌دهد.

کلمات کلیدی: ارزش کسب‌شده، تحلیل ریسک، تئوری فازی، حالات شکست، شاخص عملکرد آتی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۱- مقدمه

امروزه با افزایش حجم پروژه‌های عمرانی، صنعتی و خدماتی در کشور، لزوم توجه بیشتر به دانش مدیریت پروژه و انطباق سیستم مدیریت پروژه سازمان‌ها با روش‌های مطرح برنامه‌ریزی و کنترل پروژه انکارناپذیر است. بسیاری از سازمان‌ها به منظور تحقق اهداف پروژه‌ها درصد بکارگیری و پیاده‌سازی استانداردهای مدیریت پروژه نظیر PMBOK^۱ می‌باشند. در این استاندارد حوزه دانش مدیریت پروژه به ۹ مورد تقسیم‌بندی گردیده که مدیریت زمان و هزینه از مهمترین آن‌ها است (Song et al., 2022). مدیریت زمان و هزینه انجام پروژه با فرایند پیش‌بینی آغاز می‌شود. این پیش‌بینی نه تنها در مراحل اولیه و پیش از اجرای کار دارای اهمیت بسزایی است، بلکه در طول مقاطع مختلف اجرای پروژه این امکان را فراهم می‌آورد تا براساس آن امکان بروز انحرافات هزینه‌ای و زمانی به حداقل ممکن کاهش یابد. در واقع با این پیش‌بینی مدیریت پروژه تعیین می‌کند که کدام پروژه‌ها به برنامه‌های اصلاحی جزئی و کدام پروژه‌ها به برنامه‌های اصلاحی اساسی جهت حل مشکلات نیاز دارند (Art Gowan et al., 2006).

سیستم مدیریت ارزش‌کسب‌شده^۲ (EVM) یکی از کاراترین تکنیک‌های مدیریت پروژه است که کنترل و نظارت بر پروژه را تسهیل نموده و جهت اندازه‌گیری عملکرد و بیان پیشرفت پروژه‌ها از طریق یکپارچه‌سازی مهمترین عناصر یک پروژه یعنی زمان، هزینه و محدوده، مورد استفاده قرار می‌گیرد (Lipke, 2003; Yu et al., 2021). به زعم انجمن مدیریت پروژه آمریکا در صورتی که مدیریت ارزش‌کسب‌شده به طور صحیح بکار برده شود می‌تواند اطلاعات و خطوط راهنمای اولیه‌ای در مورد مسائل و مشکلات عملکردی را برای مدیران فراهم آورد (Yu et al., 2021). این سیستم از معیارهای سیستم زمانبندی-هزینه نشأت گرفته است که حاوی ۳۵ معیار بوده و توسط مدیران پروژه در ایالات متحده آمریکا به عنوان یک استاندارد پذیرفته شده است. شاخص‌هایی که در این تکنیک برای اندازه‌گیری عملکرد مدیران پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرد، نشان می‌دهد که چه مقدار از منابع هدر رفته و در دستیابی به اهداف استفاده نشده است. برآورد زمان و هزینه از مهمترین ویژگی‌های سیستم مدیریت ارزش‌کسب‌شده و قوی‌ترین دلیل برای بکارگیری آن در شرکت‌ها و صنایع مختلف است. می‌توان گفت که اگر این برآورد بدرستی صورت نگیرد می‌تواند به شکست پروژه، انجام کار با تاخیر و یا ارائه کیفیت پایین پروژه شود (Moradi et al., 2017).

تعیین درصد پیشرفت عملکرد پروژه یکی از موضوعات ضروری در مراحل برنامه‌ریزی مدیریت مالی و مدیریت ارزش‌کسب‌شده است که به عنوان مبنای عملکرد در مرحله برنامه‌ریزی برای اندازه‌گیری انحرافات هزینه در طول اجرای پروژه در نظر گرفته می‌شود. سپس، براساس پیشرفت هزینه جاری، یک برآورد در زمان تکمیل^۳ (EAC) بدست آورده می‌شود. یکی از ضعف‌های اصلی در سیستم مدیریت ارزش‌کسب‌شده مربوط به این پیش‌فرض است که عنوان می‌کند کارایی آینده پروژه می‌تواند با کارایی گذشته آن پیش‌بینی شود (Enayati Fatollah et al., 2022). در واقع مدیریت ارزش‌کسب‌شده تنها با توجه به عملکرد گذشته نتایج پایانی پروژه‌ها را پیش‌بینی می‌کند و به رویدادهایی که ممکن است در آینده به وجود آید توجه ندارد. به طور سنتی، مدیریت ارزش‌کسب‌شده تنها بر شاخص عملکرد هزینه و زمان تمرکز می‌کند و به سایر جنبه‌های مهم، مانند پیچیدگی و ریسک، که برای همه ذینفعان سازمانی حیاتی هستند، توجه نمی‌کند. در بیشتر موارد، از ضریب هزینه برای تعیین درصد پیشرفت مالی پروژه استفاده می‌شود. با وجود فرمول‌بندی برتر، پیش‌بینی‌های مدیریت ارزش‌کسب‌شده هنوز تحت تأثیر ریسک‌ها و عدم قطعیت‌های پروژه است. این عوامل منجر به ناسازگاری بین نتایج EAC به دست آمده از طریق فرمول‌های استاندارد تکنیک مدیریت ارزش‌کسب‌شده می‌شود. در مقابل فرایند مدیریت ریسک با بررسی ابعاد و عوامل تاثیرگذار بر عملکرد آینده پروژه از جنبه‌های گوناگون (فرصت‌ها و تهدیدها) و به چالش کشیدن این موضوعات، می‌تواند مقدار ریسک پروژه‌ها را تعیین نماید (Kamyabniya et al., 2015; De Marco et al., 2016; Narbaev & De Marco, 2017). در این

¹ Project Management Body of Knowledge (PMBOK)

² Earned value management (EVM)

³ Estimate at Complete (EAC)

مطالعه، برای افزایش دقت پیش‌بینی سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده از شاخص ریسک برای تعدیل نتایج پیش‌بینی شاخص‌های مدیریت ارزش کسب‌شده استفاده شده است. در چارچوب ایجاد شده، مجموعه نسبتاً کاملی از معیارهای ریسک برای بهبود برآورد پیشرفت هزینه و زمان ارزیابی شده است. چنین معیارهای ریسکی را می‌توان با ترکیب با فرمول‌های مدیریت ارزش کسب‌شده برای تخمین زمان و هزینه تکمیل فعالیت‌های مربوط به عملیات پروژه استفاده کرد. نظرات کارشناسان در چند گروه با استفاده از پرسشنامه جمع‌آوری می‌شود. ریسک فعالیت‌ها با استفاده از روش تجزیه و تحلیل حالت‌ها و اثرات شکست (FMEA) شناسایی شد. FMEA به عنوان یک تکنیک مدیریت ریسک آینده نگر، ثابت کرده است که ابزار مفید و قدرتمندی در تعریف، شناسایی و حذف شکست‌ها یا مشکلات شناخته شده و/یا احتمالی در محصولات، فرآیند، طرح‌ها و پروژه‌ها قبل از وقوع است (Stamatis, 2003). از تئوری‌های مجموعه فازی برای لحاظ کردن قضاوت‌های ذهنی در تعیین شاخص‌های مدیریت ارزش کسب‌شده و شاخص ریسک استفاده شده است. شاخص‌های زبانی اهمیت ریسک‌ها از طریق اعداد مثلثی فازی بررسی می‌شوند. سپس، این مقادیر در فرمول‌های تکنیک EVM ترکیب شده و پیشرفت هزینه و زمان پروژه محاسبه می‌شوند. هدف این پژوهش بهبود پیش‌بینی نتایج پروژه‌ها است. با استفاده از نتایج حاصل از ترکیب این دو روش، مدیران پروژه می‌توانند اطلاعات بهتری برای برنامه‌ریزی‌های مربوط به مسائل و مشکلات پروژه‌ها در اختیار داشته باشند.

الف) پیشینه تحقیق

علاوه بر اینکه استفاده‌کنندگان کنونی تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده، اعتماد و پذیرش زیادی نسبت به آن داشته‌اند، تحقیقات کمی در مورد آن صورت گرفته است. آنباری^۴ (۲۰۰۳) از تکنیک ارزش برنامه‌ریزی‌شده^۵ برای برآورد زمان تکمیل $EAC_{(t)}$ استفاده کرد و کارایی ارزش کسب‌شده را بهبود داد. جاکوب^۶ (۲۰۰۳) طول زمان کسب‌شده را براساس زمان کنونی^۸ و شاخص عملکرد زمانبندی^۹ بدست آورد، سپس $EAC_{(t)}$ را به کمک زمانبندی کسب‌شده محاسبه کرد. لیپک (۲۰۰۳) با شناسایی محدودیت‌های ارزش کسب‌شده در تعیین شاخص عملکرد زمانبندی، زمانبندی کسب‌شده^{۱۰} را برای تعیین $SPI_{(t)}$ معرفی کرد. شاخص $SPI_{(t)}$ نسبت به شاخص عملکرد زمانبندی دارای برتری است، زیرا شاخص عملکرد زمانبندی در اواخر پروژه به دلیل نزدیک شدن ارزش کسب‌شده به ارزش برنامه‌ریزی‌شده به عدد یک همگرا می‌شود و در نهایت چون ارزش کسب‌شده با ارزش برنامه‌ریزی‌شده برابر می‌شود، همیشه مقدار شاخص زمانبندی کسب‌شده در پایان پروژه برابر با یک خواهد شد. کیم و همکاران^{۱۱} (۲۰۰۳) ارزش کسب‌شده را در انواع گوناگون پروژه‌ها و سازمان‌ها بکار بردند.

مطالعات لیپک توسط هندرسون^{۱۲} (۲۰۰۴؛ ۲۰۰۳) و واندرورد و وان هوک^{۱۳} (۲۰۰۶) و مورتاجی و همکاران^{۱۴} (۲۰۲۱) دنبال شد و با بررسی‌های بیشتر، زمانبندی کسب‌شده را توسعه داده و آن را قابل اعتمادتر و عملی‌تر کردند. لیپک و همکاران^{۱۵} (۲۰۰۹) از روش آماری برای پیش‌بینی هزینه و زمان نهایی پروژه‌ها استفاده کردند. آن‌ها داده‌های ۱۲ شرکت را مورد بررسی و مطالعه قرار دادند و در سطوح اطمینان و درصد‌های تکمیل مختلف به ارزیابی مدل خود پرداختند. به زعم نائینی و صالحی پور (۲۰۱۱) در برخی از پروژه‌ها داده‌های مربوط به ارزش کسب‌شده بر حسب قضاوت‌های افراد است؛ با توجه به اینکه قضاوت‌های این افراد با درجه‌ای از عدم اطمینان همراه است، توجه به این واقعیت در تفسیرها، قابلیت کاربرد ارزش کسب‌شده را تحت شرایط غیرقطعی بهبود می‌دهد. برای این منظور، آن‌ها به معرفی شاخص‌های ارزش کسب‌شده فازی پرداختند. مرادی و همکاران (۲۰۱۷) با تحلیل

⁴ Anbari

⁵ Planed Value (PV)

⁶ Jacob

⁷ Earned Duration (ED)

⁸ Actual Duration (AD)

⁹ Schedule Performance Index (SPI)

¹⁰ Earned Schedule (ES)

¹¹ Kim et al.

¹² Henderson

¹³ Vandevoorde & Vanhoucke

¹⁴ Mortaji et al.

¹⁵ Lipke et al.

ریسک، یک مدل ارزش‌کسب‌شده جدید برای مدیریت پروژه پیشنهاد کردند. دآندراد و همکاران^{۱۶} (۲۰۱۹) بر بهبود دقت پیش‌بینی مدت پروژه با معرفی یک رویکرد پیش‌بینی برای مدیریت ارزش‌کسب‌شده و مدیریت مدت زمان کسب‌شده تمرکز کردند که عملکرد برنامه‌ریزی و رعایت برنامه زمان‌بندی پروژه در حال پیشرفت را ترکیب می‌کند. سانگ و همکاران (۲۰۲۲) از مدیریت ارزش‌کسب‌شده و تجزیه و تحلیل ریسک زمان‌بندی با محدودیت منابع برای کنترل پروژه تحت سناریوهای چندگانه استفاده کردند. آن‌ها پیشرفت واقعی پروژه را اندازه‌گیری کردند تا بتوان انحرافات از برنامه را شناسایی کرد و اقدامات اصلاحی برای بازگرداندن پروژه به مسیر اصلی را انجام داد.

در این میان، یکی از موضوعات اصلی که می‌تواند نتایج تخمین زمان و ارزیابی EVM را بهبود بخشد، در نظر گرفتن ریسک پروژه است. از سوی دیگر، اجرای تکنیک EVM در رابطه با ریسک‌های پروژه‌های درگیر می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان برای دستیابی به نتایج قابل اعتماد کمک کند. از آنجایی که بررسی ادبیات EVM نشان می‌دهد که آن‌ها هیچ تمرکزی روی این موضوع ندارند، این تحقیق از رویکردهای EVM مبتنی بر ریسک الهام می‌گیرد. پاجارس و لوپز-پارد^{۱۷} (۲۰۱۱) دو شاخص را براساس زمان و هزینه معرفی کردند و از EVM و مدیریت ریسک پروژه برای نظارت مناسب پروژه استفاده کردند. عالم تبریز و همکاران (۲۰۱۳) یک چارچوب فازی ترکیبی براساس مدیریت ریسک و رویکرد EVM برای تخمین دقیق عملکرد آینده پروژه‌ها ارائه کردند. بابر و همکاران^{۱۸} (۲۰۱۷) یک مدل عملکرد ریسک را معرفی کردند که شامل شاخص‌های عملکرد کلیدی مختلف برای پیش‌بینی بهتر در مدل مدیریت ارزش‌کسب‌شده بود. مرادی و همکاران (۲۰۱۸) روش‌های مدیریت ارزش‌کسب‌شده و ارزیابی ریسک را پیشنهاد کردند و با استفاده از اعداد فازی به پیش‌بینی دقیق عملکرد آینده پروژه پرداختند. زرگامی (۲۰۲۲) برای پیش‌بینی زمان پروژه، اثرات مخرب رویدادهای مختلف بر منابع را بررسی کردند. در این روش، منابع پروژه ابتدا با نمودارهای بلوک قابلیت اطمینان نگاشت شد تا یک متغیر تصادفی ایجاد شود که تأثیر کمبود منابع را بر فعالیت پروژه منعکس کند. آن‌ها یک تحلیل شبیه‌سازی مونت کارلو برای شبیه‌سازی عدم قطعیت در دستیابی به منابع در طول اختلالات انجام دادند. رق‌آبادی و مصلحی (۲۰۲۲) یک مدل جدید مدیریت مدت زمان کسب‌شده مبتنی بر ریسک را برای نظارت و برآورد عملکرد برنامه زمانی پروژه‌ها با در نظر گرفتن فعالیت‌های بحرانی در نمودار گانت و عوامل خطر مرتبط با آن‌ها ارائه کردند. آن‌ها یک ضریب تعدیل ریسک معرفی کردند که تأثیر عدم قطعیت‌های آینده مرتبط با فعالیت‌های بحرانی را در تخمین مدت زمان پروژه در زمان تکمیل در نظر می‌گرفت. به رغم بررسی مسئله ریسک در پیش‌بینی هزینه و زمان تکمیل پروژه‌ها، هنوز در یک چارچوب جامع مبتنی بر مدل FMEA به تعریف شاخص ریسک پروژه و ترکیب آن با مدل مدیریت ارزش‌کسب‌شده پرداخته نشده است. در این تحقیق شاخص ریسک پروژه به عنوان یک عامل تعدیل هزینه و زمان تکمیل معرفی شده است، که می‌تواند اشکال اصلی فرمول‌های مدیریت ارزش‌کسب‌شده را که تنها به داده‌های عملکرد گذشته اتکا دارد، برطرف کرد. همچنین با توجه به استفاده از نظرات خبرگان در تحلیل ریسک و ارزیابی آن‌ها، از رویکرد فازی برای کنترل ابهام در نظرات خبرگان استفاده شده است.

(ب) تکنیک مدیریت ارزش‌کسب‌شده فازی

شاخص‌های عملکردی محاسبه شده در مدیریت ارزش‌کسب‌شده نظیر شاخص‌های عملکردی هزینه و زمان‌بندی برای پیش‌بینی آینده به کار رفته و نتایج نهایی پروژه را تخمین می‌زنند. اصطلاحات مرتبط با ارزش‌کسب‌شده در جدول (۱) نشان داده شده‌اند.

جدول شماره (۱): اصطلاحات مرتبط با مدیریت ارزش‌کسب‌شده

نماد	توضیح
PV	ارزش برنامه‌ریزی
AC	هزینه واقعی

¹⁶ de Andrade et al.,

¹⁷ Pajares & Lopez-Paredes

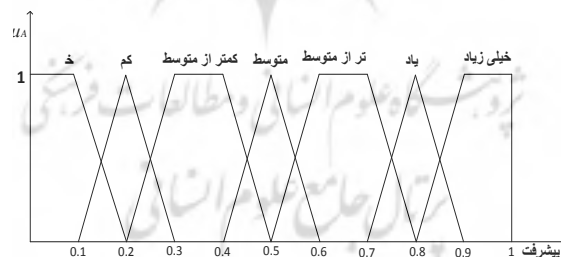
¹⁸ Babar et al.

EV	ارزش کسب شده
CPI	شاخص عملکرد هزینه ($CPI = EV/AC$)
SPI	شاخص عملکرد زمانبندی ($SPI = EV/PV$)
SCI	شاخص عملکرد هزینه-زمانبندی ($SCI = CPI * SPI$)
BAC	بودجه کل پروژه
EAC	برآورد هزینه اتمام پروژه
$EAC(t)$	برآورد زمان اتمام پروژه
ES	زمانبندی کسب شده
PD	زمان برنامه ریزی شده

ارزش کسب شده هزینه بودجه شده برای کار انجام شده است و بسته به نوع خروجی فعالیتها و طول زمانی آنها از تکنیک های مختلف محاسبه می شود که در جدول (۲) نشان داده شده است.

خروجی فعالیتها		طول فعالیت
۱ یا ۲ دوره	بیش از ۲ دوره	
ملموس	فرمول های ثابت	• مایلستون وزن دهی شده • درصد تکمیل
ناملموس	• سطح فعالیت • فعالیت های واگذار شده	

براساس تحقیق نائینی و صالحی پور (۲۰۱۱) در شرایط بیان ذهنی درصد تکمیل پروژه استفاده از شاخص های ارزش کسب شده فازی مناسب است. برای این منظور از متغیرهای زبانی^{۱۹} برای تعیین درصد تکمیل هر فعالیت استفاده می شود. منطق فازی تکنیک معمولی است که در سال ۱۹۶۰ توسط لطفی زاده معرفی شده است. برای این منظور از اعداد فازی مثلثی و دوزنقه ای استفاده می شود. متغیرهای زبانی و اعداد فازی مربوط به درصد پیشرفت فعالیت های پروژه در شکل (۱) و جدول (۳) نشان داده شده است. این متغیرها و اعداد تنها به عنوان نمونه است.



شکل شماره (۱): اعداد فازی مثلثی و دوزنقه ای مربوط به متغیرهای زبانی درصد پیشرفت پروژه

جدول شماره (۳): اعداد فازی هر یک از متغیرهای زبانی درصد پیشرفت پروژه

اعداد فازی	متغیرهای زبانی
(۰، ۰/۱، ۰/۲)	خیلی کم
(۰/۱، ۰/۲، ۰/۳)	کم
(۰/۲، ۰/۳، ۰/۴)	کمتر از متوسط
(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶)	متوسط
(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	بیشتر از متوسط
(۰/۷، ۰/۸، ۰/۹)	زیاد
(۰/۸، ۰/۹، ۱)	خیلی زیاد

ج) تعاریف

تعریف ۱ (Zadeh, 1965). یک اعداد فازی ذوزنقه‌ای را می‌توان به صورت $\tilde{A} = [a, b, c, d]$ در نظر گرفت. برای تابع عضویت آن $\mu_{\tilde{A}}(x): R \rightarrow [0, 1]$ داریم:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{(x-a)}{(b-a)} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{(x-c)}{(d-c)} & c \leq x \leq d \\ 0 & x \geq d \end{cases}$$

تعریف ۲ (Dubois & Prade, 1980). دو عدد فازی $\tilde{A} = [a, b, c, d]$ و $\tilde{B} = [e, f, g, h]$ و عدد اسکالر λ را در نظر بگیرید. براساس اصل گسترش زاده (۱۹۷۸) عملیات جبری بر روی اعداد فازی ذوزنقه‌ای به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \tilde{A} + \tilde{B} &= [a+e, b+f, c+g, d+h] \\ \tilde{A} - \tilde{B} &= [a-e, b-f, c-g, d-h] \\ \tilde{A} \times \tilde{B} &= [ae, bf, cg, dh] \text{ if } \tilde{A}, \tilde{B} \geq 0 \text{ or } \tilde{A}, \tilde{B} < 0 \\ \tilde{A}^\lambda &= [a^\lambda, b^\lambda, c^\lambda, d^\lambda] \\ \lambda \tilde{A} &= \begin{cases} (\lambda a, \lambda b, \lambda c, \lambda d) & \lambda > 0 \\ (\lambda d, \lambda c, \lambda b, \lambda a)_{LR} & \lambda < 0 \end{cases} \end{aligned}$$

طبق این اصل جمع و تفریق دو عدد فازی یک عدد فازی خواهد بود. همچنین ضرب دو عدد فازی مثبت یا منفی نیز همیشه یک عدد فازی مثبت خواهد بود.

تعریف ۳ (Wang et al., 2009). میانگین موزون هندسی n عدد فازی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\tilde{y}_G = f_G(\tilde{x}_1, \dots, \tilde{x}_n; w_1, \dots, w_n) = (\tilde{x}_1)^{w_1} (\tilde{x}_2)^{w_2} \dots (\tilde{x}_n)^{w_n} = \prod_{i=1}^n (\tilde{x}_i)^{w_i}$$

n اعداد فازی هستند و w_1, \dots, w_n وزن قطعی هر یک از اعداد فازی هستند.

تعریف ۴ (Yager, 1981). برای مقایسه اعداد فازی می‌بایست اقدام به قطعی‌سازی آن‌ها کرد. یکی از رایج‌ترین روش‌ها روش قطعی‌سازی مرکز ثقل است که مرکزیت عدد فازی \tilde{A} را به صورت زیر تعریف می‌کند:

$$\bar{x}(\tilde{A}) = \frac{\int_a^d x \mu_{\tilde{A}}(x) dx}{\int_a^d \mu_{\tilde{A}}(x) dx}$$

برای عدد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{A} = [a, b, c, d]$ ، مرکزیت قطعی شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{x}(\tilde{A}) = \frac{a+b+c+d}{4}$$

براساس تعریف ۲، ارزش کسب‌شده فازی فعالیت i براساس درصد تکمیل فازی و بودجه برنامه‌ریزی شده تکمیل فعالیت i محاسبه می‌شود:

$$\tilde{EV}_i = \tilde{L}_i \times BAC_i = (EV_{1i}, EV_{2i}, EV_{3i}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\tilde{L}_i = (a_{1i}, a_{2i}, a_{3i}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

\tilde{L}_i درصد تکمیل فازی فعالیت i می باشد که براساس جدول (۳) به هر یک از فعالیت ها تخصیص داده می شود. BAC_i بودجه برنامه ریزی شده تکمیل فعالیت i را نشان می دهد. جمع کل ارزش کسب شده فازی در هر دوره اندازه گیری به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\tilde{EV} = \sum_{i=1}^n \tilde{EV}_i = \left(\sum_{i=1}^n EV_{1i}, \sum_{i=1}^n EV_{2i}, \sum_{i=1}^n EV_{3i} \right) = (EV_1, EV_2, EV_3) \quad \text{رابطه (۳)}$$

(د) شاخص های پیش بینی هزینه و زمان

(۱) شاخص های عملکرد هزینه و زمان بندی فازی

شاخص عملکرد هزینه (CPI) نشان دهنده کارایی تیم پروژه در استفاده از منابع مالی پروژه است و از تقسیم ارزش کسب شده بر هزینه واقعی بدست می آید:

$$\widehat{CPI} = \frac{\widehat{EV}}{AC} = \left[\frac{EV_1}{AC}, \frac{EV_2}{AC}, \frac{EV_3}{AC}, \frac{EV_4}{AC} \right] \quad \text{رابطه (۴)}$$

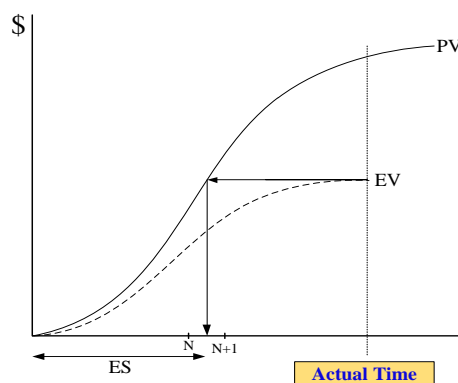
شاخص عملکرد زمان بندی (SPI) نشان دهنده کارایی تیم پروژه در استفاده از زمان است و از تقسیم ارزش کسب شده بر ارزش برنامه ریزی شده بدست می آید:

$$\widehat{SPI} = \frac{\widehat{EV}}{PV} = \left[\frac{EV_1}{PV}, \frac{EV_2}{PV}, \frac{EV_3}{PV}, \frac{EV_4}{PV} \right] \quad \text{رابطه (۵)}$$

نسبت بحرانی^{۲۰} (CR) یا شاخص زمان بندی-هزینه (SCI) به طور همزمان کارایی تیم پروژه را در استفاده موثر از منابع مالی و زمان را نشان می دهد:

$$\widehat{CR} = \widehat{SCI} = \widehat{CPI} * \widehat{SPI} = \left[\frac{EV_1^2}{AC*PV}, \frac{EV_2^2}{AC*PV}, \frac{EV_3^2}{AC*PV}, \frac{EV_4^2}{AC*PV} \right] \quad \text{رابطه (۶)}$$

بررسی که توسط آندرورد و وان هوک (۲۰۰۳) در مورد مقایسه روش های مختلف برآورد زمان اتمام پروژه ها صورت گرفته است در تمام موارد، روش لپیک یعنی استفاده از زمان بندی کسب شده، کارایی به مراتب بالایی را نشان می دهد. زمان بندی کسب شده (ES) که برای اولین بار توسط لپیک (۲۰۰۳) معرفی شد، در حقیقت معادل زمانی ارزش کسب شده است. شکل (۲) مفهوم ارزش کسب شده را در مقابل زمان بندی کسب شده نشان می دهد:



شکل شماره (۲): زمانبندی کسب‌شده در مقابل ارزش کسب‌شده (Jacob, 2003)

زمانبندی کسب‌شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$ES = N + \left(\frac{EV - PV_N}{PV_{N+1} - PV_N} \right) \quad \text{رابطه (۷)}$$

در معادله، N نشان دهنده طولانی‌ترین فاصله زمانی است که ارزش کسب‌شده (EV) از ارزش برنامه‌ریزی شده PV_N آن دوره بیشتر است. PV_N ارزش برنامه‌ریزی شده در دوره N و PV_{N+1} ارزش کسب‌شده برنامه‌ریزی دوره بعد از دوره N است (Aramali et al., 2021).

ES_i و \bar{ES} به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$ES_i = N_i + \left(\frac{EV_i - PV_{N_i}}{PV_{N_{i+1}} - PV_{N_i}} \right), \quad i = 1, \dots, 4 \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$\bar{ES} = [ES_1, ES_2, ES_3, ES_4] \quad \text{رابطه (۹)}$$

در مقابل SPI ، $SPI_{(t)}$ مطرح است که از نسبت زمانبندی کسب‌شده بر زمان کنونی یا $(SPI_{(t)} = \frac{ES}{AD})$ بدست می‌آید. فازی‌سازی آن به صورت زیر است:

$$\widehat{SPI}_{(t)} = \frac{\bar{ES}}{AD} = \left[\frac{ES_1}{AD}, \frac{ES_2}{AD}, \frac{ES_3}{AD}, \frac{ES_4}{AD} \right] \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

(۲) تخمین هزینه و زمانبندی تکمیل فازی

مدیریت ارزش کسب‌شده برای تخمین هزینه و زمانبندی تکمیل پروژه از هر یک از شاخص‌های محاسبه شده در قسمت قبل استفاده می‌کند. با این وجود در زیر با فرضیات و وضعیت‌های مختلف برای پروژه‌ها، فرمول‌های موجود برای تخمین هزینه و زمانبندی تکمیل فازی را طبقه‌بندی کرده‌ایم.

• تخمین هزینه تکمیل فازی (\bar{EAC})

با فرض ثابت بودن CPI تا پایان پروژه، EAC فازی به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\bar{EAC} = AC + \frac{BAC - \bar{EV}}{\bar{CPI}} = \left[AC + \frac{BAC - EV_4}{CPI_4}, AC + \frac{BAC - EV_3}{CPI_3}, AC + \frac{BAC - EV_2}{CPI_2}, AC + \frac{BAC - EV_1}{CPI_1} \right] \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در صورتی که هزینه تکمیل پروژه تحت تاثیر شاخص‌های عملکرد هزینه و زمانبندی جاری باشد از فرمول زیر استفاده می‌کنیم:

$$\bar{EAC} = AC + \frac{BAC - \bar{EV}}{\bar{SCI}} = \left[AC + \frac{BAC - EV_4}{SCI_4}, AC + \frac{BAC - EV_3}{SCI_3}, AC + \frac{BAC - EV_2}{SCI_2}, AC + \frac{BAC - EV_1}{SCI_1} \right] \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

• تخمین زمانبندی تکمیل فازی ($\bar{EAC}_{(t)}$)

فاکتور عملکرد^{۲۱} (PF) که در اینجا مورد استفاده قرار گرفته است به وضعیت پروژه بستگی دارد:

$PF=1$: در صورتی که فرض شود مدت زمان انجام فعالیت‌های باقیمانده طبق برنامه پیش خواهد رفت، $EAC_{(t)}$ فازی به

صورت زیر بدست می‌آید:

²¹ Performance Factor

$$\begin{aligned} \overline{EAC}(t) &= AD + \left(\frac{PD - \overline{ES}}{1} \right) = & \text{رابطه (۱۳)} \\ & \left[AD + \left(\frac{PD - ES_4}{1} \right), AD + \left(\frac{PD - ES_3}{1} \right), AD + \left(\frac{PD - ES_2}{1} \right), AD + \right. \\ & \left. \left(\frac{PD - ES_1}{1} \right) \right] \end{aligned}$$

صورت زیر بدست می آید: $PF = SPI(t)$: با فرض اینکه مدت زمان انجام فعالیت های باقیمانده طبق روند $SPI(t)$ پیش خواهد رفت، $EAC(t)$ فازی به

$$\begin{aligned} \overline{EAC}(t) &= AD + \frac{PD - \overline{ES}}{SPI(t)} = \left[AD + \frac{PD - ES_4}{SPI(t)_4}, AD + \frac{PD - ES_3}{SPI(t)_3}, AD + \right. & \text{رابطه (۱۴)} \\ & \left. \frac{PD - ES_2}{SPI(t)_2}, AD + \frac{PD - ES_1}{SPI(t)_1} \right] \end{aligned}$$

صورت زیر بدست می آید $(\overline{SCI}(t) = \overline{CPI} * \overline{SPI}(t))$: با فرض اینکه مدت زمان انجام فعالیت های باقیمانده طبق روند $SCI(t)$ پیش خواهد رفت، $EAC(t)$ فازی به

$$\begin{aligned} \overline{EAC}(t) &= AD + \frac{PD - \overline{ES}}{SCI(t)} = \left[AD + \frac{PD - ES_4}{SCI(t)_4}, AD + \frac{PD - ES_3}{SCI(t)_3}, AD + \frac{PD - ES_2}{SCI(t)_2}, AD + \right. & \text{رابطه (۱۵)} \\ & \left. \frac{PD - ES_1}{SCI(t)_1} \right] \end{aligned}$$

ه) مدیریت ریسک و شاخص عملکرد آتی فازی

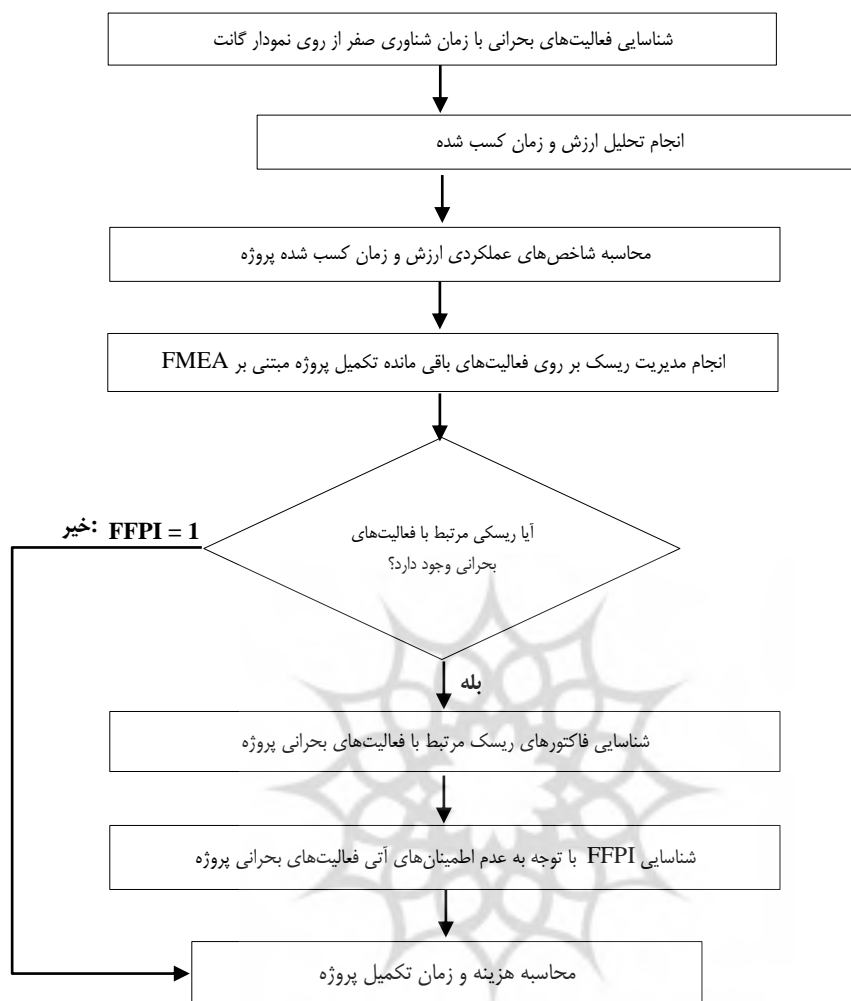
مدیریت ریسک بینش عمیقی به عمق عوامل موثر بر کارایی پروژه دارد که این اطلاعات برای کمک به کار مدیریت، فوق العاده ارزشمند است. این ریسک و عدم اطمینان از شرایط آینده پروژه شامل فرصت های مناسب و تهدیدات است که می تواند باعث ایجاد ابهامات و تغییراتی در عملکرد آینده پروژه شود (Muriana & Vizzini, 2017). در پژوهش حاضر، برای در نظر گرفتن ریسک های آتی جهت بهبود پیش بینی هزینه و زمان تکمیل پروژه ها در روش ارزش کسب شده، یک مدل جدید پیشنهاد می شود که مراحل آن در شکل ۳ آورده شده است.

با توجه به اینکه عملکرد پروژه تحت تاثیر عوامل تشکیل دهنده آن شکل می گیرد، می بایست نسبت به تهیه فهرستی از عوامل تاثیرگذار بر عملکرد پروژه اقدام کرد. برای تهیه این فهرست می توان از ساختارهای شکست ریسک^{۲۲} استفاده کرد. محاسبه ریسک حالات مختلف شکست با استفاده از تحلیل حالات و اثرات شکست^{۲۳} (FMEA) با توسعه عدد اولویت ریسک^{۲۴} (RPN) صورت می گیرد. هدف اصلی FMEA تمرکز بر مهمترین حالت های ریسک با توجه به محدودیت منابع و ارائه اطلاعات ارزشمند برای دستیابی به بهبود مستمر است. FMEA یک رویکرد ساختاریافته و گام به گام برای تعیین کمیت اثرات حالت های شکست بالقوه است و معمولاً توسط یک تیم چند رشته ای و چند نهادی انجام می شود. در کاربرد عملی، سه مرحله اصلی زیر اغلب در فرآیند FMEA گنجانده می شود. مرحله اول به شناسایی حالت های خرابی احتمالی و اثرات آن ها بر اجزای پروژه مربوط می شود. مرحله دوم مربوط به انجام تجزیه و تحلیل بحرانی برای تعیین شدت حالت های شکست با ارزیابی سطوح ریسک عوامل خطر در هر حالت شکست است. در نهایت، اقدامات کاهش ریسک حالت های شکست بحرانی برای کمک به بهبود قابلیت اطمینان سیستم با اجتناب از حالت شکست پیشنهاد و اجرا می شوند (Clausing and Frey, 2005). مرحله دوم از این مراحل در اینجا مورد بررسی قرار می گیرد، زیرا این مرحله پایه ای برای توسعه و اجرای استراتژی های کاهش ریسک است.

²² Risk Breakdown Structure

²³ Failure Mode and Effect Analysis

²⁴ risk priority number (RPN)



شکل شماره (۳): چهارچوب مدل پیشنهادی

به طور سنتی، ارزیابی ریسک در FMEA با محاسبه RPN انجام می‌شود که حاصلضرب ریاضی سه عامل احتمال وقوع یک حالت شکست (P)، شدت حالت شکست (S) و قابلیت شناسایی حالت شکست (D) است. با افزایش هر سه جزء حالت شکست، مقدار RPN نیز افزایش می‌یابد. هدف این شاخص اولویت‌بندی حالات شکست یک محصول یا پروژه است. این سه پارامتر ریسک با مقیاس‌های ۵، ۷ یا ۱۰ نقطه‌ای مشابه مقیاس لیکرت اندازه‌گیری می‌شوند. در این رابطه هر سه پارامتر قطعی هستند، بنابراین مقدار RPN نیز قطعی است. با این حال این شاخص از نظر محققین دارای نواقصی است. محققان معتقدند دادن اعداد قطعی برای این سه جزء برای خبرگان مشکل است (Gargama & Chaturvedi, 2011). علاوه بر این، ترکیبات مختلف این سه جزء می‌تواند باعث شود مقدار RPN محاسبه شده با مقدار واقعی متفاوت باشد. همچنین برخی محققان معتقدند اهمیت نسبی بین این سه جزء در محاسبه RPN در نظر گرفته نشده‌اند (Liu et al., 2011). برای این منظور محققان بکارگیری اعداد فازی برای محاسبه RPN را پیشنهاد کرده‌اند (Mandal & Maiti, 2014).

وانگ و همکاران^{۲۵} (۲۰۰۹) از نظرات خبرگان در مورد پارامترهای ریسک با استفاده از تابع عضویت مثلثی برای احتمال وقوع و تابع عضویت دوزنقه‌ای برای دو پارامتر دیگر ریسک استفاده کردند که شامل وزن‌های نسبی نیز بودند. پارامترهای ریسک در دامنه ۱ تا ۱۰ و وزن‌های نسبی مربوط به سه جزء فوق در دامنه صفر تا یک مدلسازی می‌شوند. مقدار FRPN به صورت

میانگین هندسی موزون فازی برای پارامترهای ریسک محاسبه می‌شود. این محاسبات با استفاده از مجموعه برش سطح α و برنامه‌ریزی خطی انجام می‌شود و سپس مقدار FRPN با استفاده از روش مبتنی بر مفاهیم خطی‌سازی زوجی مجموعه‌های فازی قطعی شد. نهایتاً مقادیر قطعی شده رتبه‌بندی و حالات شکست بر این اساس اولویت‌بندی شد. ساختار شکست ریسک کمک می‌کند تا عدم قطعیت‌های فراوان حوزه‌های مختلف پروژه را شناسایی و نسبت به پیش‌بینی شرایط آینده پروژه در هر کدام از آن حوزه‌ها اقدام کرد. بدین ترتیب لیستی از حالات شکست که ممکن است در طول اجرای پروژه‌ها رخ دهد جمع‌آوری می‌شود. فرایند مدیریت ریسک با بررسی ابعاد و عوامل تاثیرگذار بر عملکرد آینده پروژه از جنبه‌های گوناگون و به چالش کشیدن این موضوعات، می‌تواند مقدار ریسک پروژه‌ها را تعیین نماید (Yet et al., 2016). در اینجا فرض بر این است که یا اطلاعاتی در رابطه با امکان وقوع و اثر رویدادها وجود ندارد یا اینکه این اطلاعات را با صرف زمان و هزینه بالا می‌توان بدست آورد. تحت این شرایط هر یک از این مقادیر بر حسب قضاوت‌ها و نظرات مدیران پروژه تعیین می‌شود، چون قضاوت‌های این افراد با درجه‌ای از عدم اطمینان همراه است و احتمال خطا و قضاوت ذهنی نادرست در آن وجود دارد، به همین دلیل محاسبه این مقادیر براساس متغیرهای زبانی نتایج را بهبود می‌دهد. متغیرهای زبانی برای تعیین مقدار ریسک باید به اعداد فازی تبدیل شوند. در این پژوهش، برای اینکار از پرسشنامه برای تعیین اعداد فازی استفاده می‌شود. این پرسشنامه برای تکمیل بین متخصصان و خبرگان پروژه توزیع می‌شود تا آن‌ها براساس دانش و تجربیات خود متغیرهای زبانی را به هر یک از دلایل شکست پروژه از نظر احتمال، شدت و قابلیت شناسایی تخصیص دهند. نمونه‌ای از جداول به ترتیب در جداول (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است.

جدول شماره (۴): متغیرهای زبانی و اعداد فازی مربوط به احتمال وقوع یک شکست		
اعداد فازی	متغیرهای زبانی احتمال وقوع	
(۰، ۰، ۰/۱، ۰/۲)	رویداد به طور کامل قابل پیشگیری است	
(۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴)	امکان وقوع رویداد پایین است	
(۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	امکان وقوع رویداد نسبتاً پایین است	
(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	امکان وقوع رویداد متوسط است	
(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸)	امکان وقوع رویداد نسبتاً بالا است	
(۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، ۱)	امکان وقوع رویداد بالا است	
(۰/۸، ۰/۹، ۱، ۱)	از این رویداد را نمی‌توان پیشگیری کرد	
جدول شماره (۵): متغیرهای زبانی و اعداد فازی مربوط به میزان شدت یک شکست		
اعداد فازی	متغیرهای زبانی	
	زمانبندی	هزینه
(۰، ۰، ۰/۱، ۰/۲)	تقریباً بدون دیرکرد	تقریباً بدون افزایش
(۰/۱، ۰/۲، ۰/۳، ۰/۴)	دیرکرد کمتر از ۱۰٪	افزایش کمتر از ۱۰٪
(۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	دیرکرد بین ۱۰٪ - ۲۰٪	افزایش بین ۱۰٪ - ۲۰٪
(۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷)	دیرکرد بین ۲۰٪ - ۳۰٪	افزایش بین ۲۰٪ - ۳۰٪
(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸)	دیرکرد بین ۳۰٪ - ۴۰٪	افزایش بین ۳۰٪ - ۴۰٪
(۰/۷، ۰/۸، ۰/۹، ۱)	دیرکرد بین ۴۰٪ - ۵۰٪	افزایش بین ۴۰٪ - ۵۰٪
(۰/۸، ۰/۹، ۱، ۱)	دیرکرد بیش از ۵۰٪ در برهه‌ها	افزایش بیش از ۵۰٪

جدول شماره (۶): متغیرهای زبانی و اعداد فازی مربوط به قابلیت شناسایی شکست

متغیرهای زبانی امکان شناسایی	اعداد فازی
این رویداد را نمی‌توان شناسایی کرد	(۰/۸, ۰/۹, ۱, ۱)
امکان شناسایی رویداد بالا است	(۰/۷, ۰/۸, ۰/۸, ۰/۹)
امکان شناسایی رویداد نسبتاً بالا است	(۰/۵, ۰/۶, ۰/۷, ۰/۸)
امکان شناسایی رویداد متوسط است	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۵, ۰/۶)
امکان شناسایی رویداد نسبتاً پایین است	(۰/۲, ۰/۳, ۰/۴, ۰/۵)
امکان شناسایی وقوع رویداد پایین است	(۰/۱, ۰/۲, ۰/۲, ۰/۳)
رویداد به طور کامل قابل شناسایی نیست	(۰, ۰, ۰/۱, ۰/۲)

$\tilde{O}_i, \tilde{S}_i, \tilde{D}_i$ به ترتیب اعداد فازی مربوط به امکان وقوع، شدت و قابلیت شناسایی شکست i ام است ($i = 1, \dots, n$).

$$\tilde{O}_i = (o_{1i}, o_{2i}, o_{3i}, o_{4i}) \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$\tilde{S}_i = (s_{1i}, s_{2i}, s_{3i}, s_{4i}) \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\tilde{D}_i = (d_{1i}, d_{2i}, d_{3i}, d_{4i}) \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

عدد اولویت ریسک فازی پروژه (FRPN) به صورت میانگین هندسی موزون فازی برای پارامترهای ریسک محاسبه می‌شود (Mandal & Maiti, 2014). براساس تعریف ۳ با فرض اینکه wo, ws, wd به ترتیب وزن نسبی قطعی هر یک از سه جزء باشد ($wo + ws + wd = 1$)، در این صورت برای FRPN داریم:

$$FRPN_i = (\tilde{O}_i^{wo} \times \tilde{S}_i^{ws} \times \tilde{D}_i^{wd}) = (o_{1i}^{wo} s_{1i}^{ws} d_{1i}^{wd}, o_{2i}^{wo} s_{2i}^{ws} d_{2i}^{wd}, o_{3i}^{wo} s_{3i}^{ws} d_{3i}^{wd}, o_{4i}^{wo} s_{4i}^{ws} d_{4i}^{wd}) = (rpn_{1i}, rpn_{2i}, rpn_{3i}, rpn_{4i}) \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

حال مجموع کل عدد اولویت ریسک فازی را بدست می‌آوریم:

$$FRPN = \left(\frac{\sum_{i=1}^n rpn_{1i}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n rpn_{2i}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n rpn_{3i}}{n}, \frac{\sum_{i=1}^n rpn_{4i}}{n} \right) = (rpn_1, rpn_2, rpn_3, rpn_4) \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

سپس شاخص جدیدی مبتنی بر عدد اولویت ریسک فازی تعریف می‌کنیم. فرض کنید احتمال وقوع، شدت و قابلیت شناسایی هر شکست قطعی و یک باشد. این سه عدد قطعی برای هر شکست را می‌توان با عدد فازی (۱, ۱, ۱, ۱) نشان داد. در این صورت، $FRPN$ طبق روابط فوق نیز عدد فازی (۱, ۱, ۱, ۱) خواهد بود. شاخص جدیدی تحت عنوان شاخص عملکرد آتی فازی جهت ارزیابی وضعیت آینده پروژه تعریف می‌شود. که به صورت زیر به دست می‌آید:

$$FFPI = (1, 1, 1, 1) - (rpn_1, rpn_2, rpn_3, rpn_4) = (1 - rpn_4, 1 - rpn_3, 1 - rpn_2, 1 - rpn_1) = (fpi_1, fpi_2, fpi_3, fpi_4) \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

این شاخص عملکرد آتی پروژه را نشان می‌دهد.

در روش‌ها و فرمول‌های رایج در سیستم EVM، عملکرد آینده پروژه صرفاً براساس روند گذشته آن پیش‌بینی و تغییر شرایط محیطی یا دیگر عوامل موثر در تغییر عملکرد پروژه در آینده نظیر در دسترس بودن اطلاعات، منابع، تاریخ‌های تحویل، هزینه مواد، مصالح و ... در نظر گرفته نمی‌شود. عملکرد پروژه‌ها اغلب به سمت بهبود معطوف نیست و در پیشرفت ۱۵ درصد، عملکرد پروژه از میانگین عملکرد جاری آن تقریباً هیچگاه بیشتر نشده و اغلب کمتر می‌شود (Christensen, 1994).

با در نظر گرفتن شرایط متغیر حاکم بر پروژه‌ها، می‌توان در تعیین ضریب عملکرد پروژه، نقش تمام عوامل تاثیرگذار بر عملکرد آتی را مد نظر قرار داد. در صورتی که هزینه و زمانبندی تکمیل پروژه تحت تاثیر شاخص‌های عملکرد هزینه و زمانبندی گذشته

باشد، \overline{FFPI} می تواند به همراه شاخص های مدیریت ارزش کسب شده جهت تخمین بهتر هزینه و زمان اتمام پروژه ها به کار رود. این تخمین ها تحت عنوان برآورد تعدیل شده هزینه و زمان تکمیل^{۲۶} نام برده می شود. در اینجا با توجه به فرضیات مختلفی که در رابطه با محاسبه تخمین هزینه و زمان بندی تکمیل ذکر شده و شاخص ریسکی که برای پروژه ها فرموله کرده ایم، برآورد تعدیل شده هزینه و زمان تکمیل به صورت زیر توسعه داده می شود:

الف) تخمین تعدیل شده هزینه تکمیل فازی^{۲۷} (\overline{AEAC})

با فرض ثابت بودن CPI تا پایان پروژه، $AEAC$ فازی به صورت زیر بدست می آید:

$$\overline{AEAC} = AC + \frac{BAC - \overline{EV}}{CPI * \overline{FFPI}} = \left[AC + \frac{BAC - EV_4}{CPI_4 * FFPI_4}, AC + \frac{BAC - EV_3}{CPI_3 * FFPI_3}, AC + \frac{BAC - EV_2}{CPI_2 * FFPI_2}, AC + \frac{BAC - EV_1}{CPI_1 * FFPI_1} \right] = [AEAC_1, AEAC_2, AEAC_3, AEAC_4] \quad (22)$$

در صورتی که هزینه تعدیل شده تکمیل پروژه تحت تاثیر شاخص های عملکرد هزینه و زمان بندی جاری باشد از فرمول زیر استفاده می کنیم:

$$\overline{AEAC} = AC + \frac{BAC - \overline{EV}}{SCI * \overline{FFPI}} = \left[AC + \frac{BAC - EV_4}{SCI_4 * FFPI_4}, AC + \frac{BAC - EV_3}{SCI_3 * FFPI_3}, AC + \frac{BAC - EV_2}{SCI_2 * FFPI_2}, AC + \frac{BAC - EV_1}{SCI_1 * FFPI_1} \right] = [AEAC_1, AEAC_2, AEAC_3, AEAC_4] \quad (23)$$

ب) تخمین تعدیل شده زمان بندی تکمیل فازی^{۲۸} ($\overline{AEAC}_{(t)}$)

$PF=1$: در صورتی که فرض شود مدت زمان انجام فعالیت های باقیمانده طبق برنامه پیش خواهد رفت، $AEAC_{(t)}$ فازی به

صورت زیر بدست می آید:

$$\overline{AEAC}_{(t)} = AD + \frac{PD - \overline{ES}}{FFPI} = \left[AD + \frac{PD - ES_4}{FFPI_4}, AD + \frac{PD - ES_3}{FFPI_3}, AD + \frac{PD - ES_2}{FFPI_2}, AD + \frac{PD - ES_1}{FFPI_1} \right] = [AEAC_{(t)1}, AEAC_{(t)2}, AEAC_{(t)3}, AEAC_{(t)4}] \quad (24)$$

$PF = SPI_{(t)}$: با فرض اینکه مدت زمان انجام فعالیت های باقیمانده طبق روند $SPI_{(t)}$ پیش خواهد رفت $AEAC_{(t)}$ فازی به

صورت زیر بدست می آید:

$$\overline{AEAC}_{(t)} = AD + \frac{PD - \overline{ES}}{SPI_{(t)} * \overline{FFPI}} = \left[AD + \frac{PD - ES_4}{SPI_{(t)4} * FFPI_4}, AD + \frac{PD - ES_3}{SPI_{(t)3} * FFPI_3}, AD + \frac{PD - ES_2}{SPI_{(t)2} * FFPI_2}, AD + \frac{PD - ES_1}{SPI_{(t)1} * FFPI_1} \right] = [AEAC_{(t)1}, AEAC_{(t)2}, AEAC_{(t)3}, AEAC_{(t)4}] \quad (25)$$

$PF = SCI_{(t)}$: با فرض اینکه مدت زمان انجام فعالیت های باقیمانده طبق روند $SCI_{(t)}$ پیش خواهد رفت $AEAC_{(t)}$ فازی به

صورت زیر بدست می آید:

$$\overline{AEAC}_{(t)} = AD + \frac{PD - \overline{ES}}{SCI_{(t)} * \overline{FFPI}} = \left[AD + \frac{PD - ES_4}{SCI_{(t)4} * FFPI_4}, AD + \frac{PD - ES_3}{SCI_{(t)3} * FFPI_3}, AD + \frac{PD - ES_2}{SCI_{(t)2} * FFPI_2}, AD + \frac{PD - ES_1}{SCI_{(t)1} * FFPI_1} \right] = [AEAC_{(t)1}, AEAC_{(t)2}, AEAC_{(t)3}, AEAC_{(t)4}] \quad (26)$$

مقایسه با مقادیر برنامه ریزی شده

بر اساس تعریف ۴ مقدار قطعی هزینه و زمان تکمیل فازی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$AEAC = \frac{AEAC_1 + AEAC_2 + AEAC_3 + AEAC_4}{4} \quad (27)$$

$$AEAC_{(t)} = \frac{AEAC_{(t)1} + AEAC_{(t)2} + AEAC_{(t)3} + AEAC_{(t)4}}{4} \quad (28)$$

مقایسه این مقادیر با هزینه بودجه شده و زمان برنامه ریزی و تفاسیر مربوط به آن ها در جداول (۷) و (۸) نشان داده شده است:

26. Adjusted schedule and cost estimate

27. Adjusted Estimate at Completion

28. Adjusted Estimate at Completion_(t)

جدول شماره (۷): تفاسیر مربوط به مقایسه بین BAC و $AEAC$

وضعیت	تفسیر
$AEAC \leq BAC$	هزینه اتمام پروژه از هزینه بودجه‌شده آن کمتر خواهد شد.
$AEAC \geq BAC$	هزینه اتمام پروژه از هزینه بودجه‌شده آن فراتر خواهد رفت.
$AEAC = BAC$	هزینه اتمام پروژه با هزینه بودجه‌شده آن برابر خواهد شد.

جدول شماره (۸): تفاسیر مربوط به مقایسه بین $AEAC_{(t)}$ و PD

وضعیت	تفسیر
$AEAC_{(t)} \leq PD$	زمان اتمام پروژه از زمان بودجه‌شده آن کمتر خواهد شد.
$AEAC_{(t)} \geq PD$	زمان اتمام پروژه از زمان بودجه‌شده آن فراتر خواهد رفت.
$AEAC_{(t)} = PD$	زمان اتمام پروژه با زمان بودجه‌شده آن برابر خواهد شد.

۳- بحث و نتایج

در این قسمت مثالی جهت تشریح بهتر رویکرد پیشنهادی آورده شده است. این مثال شامل پنج فعالیت است که باید در طی هشت ماه انجام داده شود. داده‌های مربوط به PV و AC تا ماه چهار در جدول (۹) آورده شده است.

جدول شماره (۹): PV و AC مثال

ماه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
PV	۱۰۰۰	۱۸۰۰	۲۳۰۰	۳۱۰۰	۳۸۰۰	۴۴۰۰	۵۴۰۰	۶۰۰۰
AC	۱۲۰۰	۲۲۰۰	۲۹۰۰	۳۸۰۰	-	-	-	-

در جدول (۱۰) داده‌های مربوط به میزان پیشرفت فعالیت‌ها و بودجه تکمیل هر فعالیت آورده شده است.

جدول شماره (۱۰): داده‌های فعالیت‌های مثال

فعالیت	BAC	متغیرهای زبانی میزان پیشرفت
۱	۱۲۰۰	خیلی زیاد
۲	۱۴۰۰	بیشتر از متوسط
۳	۶۰۰	کمتر از متوسط
۴	۸۰۰	خیلی کم
۵	۲۰۰۰	خیلی کم

در جدول (۱۱) متغیرهای زبانی میزان پیشرفت فعالیت‌های ۱ تا ۵ با استفاده از جدول (۳) به اعداد فازی تبدیل شده‌اند. بر طبق BAC و درصد تکمیل هر فعالیت، $\bar{E}V_i$ براساس فرمول (۱) بدست می‌آید.

جدول شماره (۱۱): محاسبه $\bar{E}V_i$ هر یک از فعالیت‌ها

فعالیت	BAC_i	میزان پیشرفت	\bar{L}_i	$\bar{E}V_i$
۱	۱۲۰۰	خیلی زیاد	(۰/۸، ۰/۹، ۱)	(۹۶۰، ۱۰۸۰، ۱۲۰۰، ۱۲۰۰)
۲	۱۴۰۰	بیشتر از متوسط	(۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸)	(۷۰۰، ۸۴۰، ۹۸۰، ۱۱۲۰)
۳	۶۰۰	کمتر از متوسط	(۰/۲، ۰/۳، ۰/۴، ۰/۵)	(۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۰۰)
۴	۸۰۰	خیلی کم	(۰، ۰، ۰/۱، ۰/۲)	(۰، ۰، ۸۰، ۱۶۰)
۵	۲۰۰۰	خیلی کم	(۰، ۰، ۰/۱، ۰/۲)	(۰، ۰، ۲۰۰، ۴۰۰)

با استفاده از فرمول (۳) ارزش کسب‌شده فازی کل پنج فعالیت به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\bar{E}V = \sum_{i=1}^n \bar{E}V_i = [1780, 2100, 2700, 3180]$$

براساس ارزش کسب‌شده فازی می‌توانیم شاخص‌های هزینه و زمانبندی فازی را تعیین کنیم:

$$\widehat{CPI} = \frac{\widehat{EV}}{AC} = \left[\frac{1780}{3100}, \frac{2100}{3100}, \frac{2700}{3100}, \frac{3180}{3100} \right] = [0.57, 0.68, 0.87, 1.026]$$

$$\widehat{SPI} = \frac{\widehat{EV}}{PV} = \left[\frac{1780}{3800}, \frac{2100}{3800}, \frac{2700}{3800}, \frac{3180}{3800} \right] = [0.47, 0.55, 0.71, 0.84]$$

ارزش های واقعی و برنامه ریزی شده ماه چهارم به ترتیب ۳۱۰۰ و ۳۸۰۰ است. براساس توضیحات ارائه شده محاسبات مربوط به ES_i در جدول (۱۲) آورده شده است.

جدول شماره (۱۲): محاسبات مربوط به ES_i

i	EV_i	N_i	$EV_i - PV_{N_i}$	$PV_{N_{i+1}} - PV_{N_i}$	ES_i
۱	۱۷۸۰	۱	۷۸۰	۸۰۰	۱/۹۷
۲	۲۱۰۰	۲	۳۰۰	۵۰۰	۲/۶
۳	۲۷۰۰	۳	۴۰۰	۸۰۰	۳/۵
۴	۳۱۸۰	۴	۸۰	۷۰۰	۴/۱۱

برای مثال ES_1 به صورت زیر محاسبه شده است:

$$N_1 = 1, PV_1 < EV_1 = 1780 < PV_2$$

$$ES_1 = N_1 + \left(\frac{EV_1 - PV_{N_1}}{PV_{N_{1+1}} - PV_{N_1}} \right) = 1 + \left(\frac{1780 - 1000}{1800 - 1000} \right) = 1.97$$

در نهایت زمانبندی کسب شده فازی به صورت زیر بدست می آید:

$$\widehat{ES} = [ES_1, ES_2, ES_3, ES_4] = [1.97, 2.6, 3.5, 4.11]$$

$\widehat{SPI}(t)$ طبق فرمول (۱۰) به صورت زیر به دست می آید:

$$\widehat{SPI}(t) = \frac{\widehat{ES}}{AD} = \left[\frac{1.97}{4}, \frac{2.6}{4}, \frac{3.5}{4}, \frac{4.11}{4} \right] = [0.49, 0.65, 0.87, 1.03]$$

در این مثال فرض می کنیم سه شکست شناسایی شده است. جدول (۱۳) مربوط به داده های فازی امکان وقوع، شدت و قابلیت شناسایی این سه شکست آورده شده و مقدار عدد اولویت ریسک فازی با فرض برابری وزن هر یک از سه جزء محاسبه شده است.

جدول شماره (۱۳): اعداد فازی مربوط به امکان وقوع و میزان تاثیر تهدیدها

تهدیدها	\tilde{O}_i	\tilde{S}_i	\tilde{D}_i	$FR\tilde{P}N_i$
T_1	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۵, ۰/۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۵, ۰/۶)	(۰/۲, ۰/۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۳۲, ۰/۴۲, ۰/۴۶, ۰/۵۶)
T_2	(۰/۵, ۰/۶, ۰/۷, ۰/۸)	(۰/۷, ۰/۸, ۰/۸, ۰/۹)	(۰/۵, ۰/۶, ۰/۷, ۰/۸)	(۰/۵۶, ۰/۶۶, ۰/۷۳, ۰/۸۳)
T_3	(۰/۲, ۰/۳, ۰/۴, ۰/۵)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۵, ۰/۶)	(۰/۴, ۰/۵, ۰/۵, ۰/۶)	(۰/۳۲, ۰/۴۲, ۰/۴۶, ۰/۵۶)
				$FR\tilde{P}N$ (۰/۴۰, ۰/۵۰, ۰/۵۵, ۰/۶۵)

شاخص عملکرد آتی فازی ($FF\tilde{PI}$) جهت ارزیابی وضعیت آینده پروژه به صورت زیر محاسبه می شود:

$$FF\tilde{PI} = (1, 1, 1, 1) - (0.4, 0.5, 0.55, 0.65) = (0.35, 0.45, 0.5, 0.6)$$

بعد از محاسبه شاخص های هزینه و زمانبندی مدیریت ارزش کسب شده و شاخص عملکرد آتی پروژه، حال باید هزینه و زمان اتمام تعدیل شده پروژه محاسبه شود. (در اینجا فرض بر این است که شاخص عملکرد زمانبندی CPI پروژه ثابت بوده و مدت زمان انجام فعالیت های باقیمانده طبق روند $\widehat{SPI}(t)$ پیش خواهد رفت):

$$AE\tilde{A}C = [3800 + \frac{6000 - 3180}{1.026 * 0.6}, 3800 + \frac{6000 - 2700}{0.87 * 0.50}, 3800 + \frac{6000 - 2100}{0.68 * 0.45}, 3800 + \frac{6000 - 1780}{0.57 * 0.35}] = [8381, 11386, 16545, 24953]$$

$$AE\tilde{A}C_{(t)} = [4 + \frac{8 - 4.11}{1.03 * 0.6}, 4 + \frac{8 - 3.5}{0.87 * 0.50}, 4 + \frac{8 - 2.6}{0.65 * 0.45}, 4 + \frac{8 - 1.97}{0.49 * 0.35}] =$$

$$[10.29, 14.34, 22.46, 39.16]$$

با محاسبه مقدار قطعی هزینه و زمان تکمیل فازی به مقادیر ۱۵۳۱۶ و ۲۱/۵۶ برای هزینه و زمان قطعی می‌رسیم. نتایج نشان می‌دهد که اگر عملیات به همین ترتیب ادامه پیدا کند، با توجه به ریسک‌های آتی و عملکرد گذشته پروژه، هزینه و زمان اتمام پروژه افزایش قابل توجهی خواهد یافت.

الف) ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی

هدف این بخش این است که ثابت کند در پروژه‌های ساخت‌وساز نتایج پیش‌بینی حاصل از مدل پیشنهادی از دقت بیشتری نسبت به روش مدیریت ارزش کسب‌شده برخوردار است. در این تحقیق با استفاده از داده‌های دو پروژه ساخت‌وساز در شهر تهران به ارزیابی عملکرد مدل پیشنهادی پرداخته شد. تورم، وضعیت پرداخت و شرایط جوی به عنوان سه ریسک عمده در این دو پروژه شناسایی و مدلسازی شده‌اند. برای این منظور، براساس مدل مدیریت ارزش کسب‌شده از دو روش برای پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه شامل $E\tilde{A}C_1$ و $E\tilde{A}C_2$ (روابط ۱۱ و ۱۲) و سه روش برای تکمیل زمان تکمیل پروژه شامل $E\tilde{A}C_{(t)1}$ ، $E\tilde{A}C_{(t)2}$ و $E\tilde{A}C_{(t)3}$ (روابط ۱۳، ۱۴ و ۱۵) استفاده شد. پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه‌ها براساس روابط ۲۳ و ۲۴ است که به صورت $AE\tilde{A}C_{(t)1}$ و $AE\tilde{A}C_2$ نمایش داده می‌شود. همچنین پیش‌بینی زمان تکمیل پروژه‌ها مبتنی بر روابط ۲۴، ۲۵ و ۲۶ است که به صورت $AE\tilde{A}C_{(t)1}$ ، $AE\tilde{A}C_2$ و $AE\tilde{A}C_{(t)3}$ نمایش داده می‌شود. ۲۴، ۲۵ و ۲۶ استفاده می‌شود. خلاصه مقایسه نتایج برای مجموعه داده‌های آزمایش در جداول ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است:

جدول شماره (۱۴): مقایسه خطای بین روش مدیریت ارزش کسب‌شده و روش پیشنهادی در پیش‌بینی هزینه (اعداد به درصد)

روش	پروژه ۱	پروژه ۲	خطای پیش‌بینی (MSE)
$E\tilde{A}C_1$	۱۹/۳۷	۲۲/۷۶	۲۱/۰۷
$E\tilde{A}C_2$	۱۲/۲۹	۲۰/۸۴	۱۶/۵۶
$AE\tilde{A}C_1$	۱۰	۱۴/۵	۱۲/۲۵
$AE\tilde{A}C_2$	۱۱/۵۵	۱۰/۴۵	۱۱

جدول شماره (۱۵): مقایسه خطای بین روش مدیریت ارزش کسب‌شده و روش پیشنهادی در پیش‌بینی زمان (اعداد به درصد)

روش	پروژه ۱	پروژه ۲	خطای پیش‌بینی (MSE)
$E\tilde{A}C_{(t)1}$	۶/۰۷	۱۰/۷۴	۸/۴۱
$E\tilde{A}C_{(t)2}$	۲۰/۴۰	۴۷/۲۶	۳۳/۸۳
$E\tilde{A}C_{(t)3}$	۴۶/۳۲	۸۱/۲۱	۶۳/۷۷
$AE\tilde{A}C_{(t)1}$	۱۲/۱۱	۴/۵	۸/۳
$AE\tilde{A}C_{(t)2}$	۵/۸	۵/۳	۵/۵۵
$AE\tilde{A}C_{(t)3}$	۲/۳	۳/۷	۳

اگر حد قابل قبول خطا (MSE) را ۱۰ درصد در نظر بگیریم، با توجه به جدول ۱۴ و ۱۵، در بین روش های مدیریت ارزش کسب شده، تنها $EAC_{(t)}1$ در پیش بینی زمان تکمیل پروژه ها توانسته است با مقادیر ۸/۴۱ درصد، کمتر از این مقدار قرار گیرد و بقیه در بالای این مقدار قرار می گیرند. به طور کلی نتایج حاصل از این تکنیک دارای عملکرد ضعیفی است. همان طوری که از روی جداول مربوط به نتایج آزمایش پروژه های ۱ و ۲ مشخص است، دو مدل روش پیشنهادی دارای عملکرد بهتری نسبت به تکنیک ارزش کسب در پیش بینی هزینه و زمان نهایی است. این نشان می دهد که با اضافه کردن متغیرهای ریسک به متغیرهای ارزش کسب شده می توان با دقت بیشتری نتایج پایانی پروژه ها را پیش بینی کرد. از بین دو روش مدل پیشنهادی که برای پیش بینی هزینه نهایی این پروژه ها بکار برده شده است، عملکرد مدل اول و دوم تفاوت چندانی با هم ندارند. همچنین از بین سه روش مدل پیشنهادی که برای پیش بینی زمان تکمیل این پروژه ها بکار برده شده است، عملکرد مدل سوم نسبت به دو مدل دیگر بهتر بوده است.

همانطوری که قبلاً گفته شد، در این تحقیق از مجموعه داده های ریسک شامل ورودی های تورم، وضعیت پرداخت و شرایط جوی استفاده شده است که برای تعدیل نتایج مجموعه داده های مدیریت ارزش کسب شده در پیش بینی استفاده می شوند. مشاهده می شود با اضافه کردن مجموعه ورودی های تورم، وضعیت پرداخت و شرایط جوی به داده های ارزش کسب شده، نتایج پیش بینی متفاوتی به دست می آید. در مدل پیشنهادی از فاکتورهای ارزش کسب شده در کنار سه فاکتور ریسک محیطی استفاده شد. خطای هر دو این مدل ها در پیش بینی هزینه و زمان نهایی در مقایسه با روش های مدیریت ارزش کسب شده کمتر است. به طور خلاصه، نتایج حاصله نشان می دهد که مدل ها پیشنهادی قادر هستند پیش بینی صحیح تر و پایدارتری را ارائه دهند.

ب) بینش های مدیریتی

این مطالعه یک چارچوب مدل سازی جامع را برای ارزیابی ریسک و پیش بینی هزینه و زمان تکمیل پروژه با برجسته کردن عوامل اصلی که می تواند منجر به اختلالات و در نتیجه پیش بینی های نادقیق شود، ارائه می کند. مدل پیشنهادی به طور پیچیده ای با ریسک در پروژه ها گره خورده است و هر گونه اختلال در پروژه ها می تواند به عملکرد پایین مدل های سنتی مثل مدل مدیریت ارزش کسب شده در این حوزه منجر شود. با درک کامل ریسک های پروژه، مدیران، سیاست گذاران و پیمانکاران قادر خواهند بود تعریف کنند که به کدام ریسک ها می توان کمتر توجه کرد و کدام ریسک ها به توجه بیشتری نیاز دارند. نتایج نشان می دهد که در نظر گرفتن ریسک های تورم، وضعیت پرداخت و شرایط جوی باعث بهبود نتایج پیش بینی می شود. تعیین ریسک های تاثیرگذار بر اختلال به تصمیم گیرندگان کلیدی در پروژه های مختلف کمک می کند تا منابع و سرمایه گذاری های مالی لازم را به درستی تخصیص دهند. مدل پیشنهادی مبنایی برای شناسایی و در نظر گرفتن ریسک ها به منظور بهبود نتایج مدل ارزش کسب شده در پیش بینی هزینه و زمان تکمیل پروژه ها را فراهم می کند و از این طریق چهارچوب تصمیم گیری جامعی را در اختیار مدیران قرار می دهد. انجام تحلیل حساسیت بر روی ریسک ها به تصمیم گیرندگان اجازه می دهد تا تاثیر وقوع و برطرف کردن هر یک از ریسک ها را بر روی عملکرد پروژه ها را پیدا کنند. سیاست گذاران می توانند با شناسایی تأثیرات هر یک از ریسک ها بر روی نتایج پیش بینی، به طور مؤثر تصمیمات استراتژیک خود را اتخاذ کنند. بنابراین، دست اندرکاران و مدیران پروژه می توانند از این دانش برای شناسایی ریسک، و بهبود عملکرد پروژه و پیش بینی های خود استفاده کنند. شکست در شناسایی و غلبه بر ریسک های شناسایی شده می تواند عواقب شدیدی داشته باشد.

ج) نتیجه گیری

تحقیقاتی که در حوزه مدیریت ارزش کسب شده صورت گرفته است براساس این فرض استوار است که عملکرد آینده پروژه تابعی از عملکرد گذشته آن است. این فرض با وجود شکست هایی که خیلی از پروژه ها را در محیط کنونی احاطه کرده است نمی تواند درست باشد. در حالی که عملکرد آینده پروژه ها ممکن است به دلیل وجود شکست های مختلف به هیچ وجه با عملکرد گذشته آن ها سازگار نباشد. در این تحقیق مدلی ارائه شد که به مدیران پروژه کمک می کند تا وضعیت آینده پروژه ها را با اطمینان بیشتری تخمین بزنند. برای این کار با شناسایی تهدیدهایی که پروژه ها ممکن است در آینده با آن مواجه شوند، شاخص عملکرد آینده پروژه را برای ترکیب با شاخص های عملکرد مدیریت ارزش کسب شده محاسبه می کنیم. این شاخص در واقع شاخص های

مدیریت ارزش‌کسب‌شده را تعدیل می‌کند. علاوه بر این، هر یک از این شاخص‌ها را براساس تکنیک فازی محاسبه شد. لذا، می‌توان هزینه و زمانبندی پروژه‌ها را با اطمینان بالاتری تخمین زد. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند رابطه بین هزینه و زمانبندی و ریسک‌های مختلف پروژه‌ها را بهتر توصیف کند. این مدل می‌تواند مقدار کمی ریسک‌های مختلف را ارائه دهد که با زمانبندی برنامه‌ریزی شده تغییر می‌کند و همچنین به مدیران پروژه کمک می‌کند تا رابطه بین ریسک، هزینه و زمانبندی پروژه را با دقت بیشتری درک کنند. در تحقیقات آتی می‌توان به بررسی عملکرد و کاربرد روش پیشنهادی در محیط واقعی پرداخت. علاوه بر این می‌توان مدلی جامع‌تر از مدل کنونی را برای ارزیابی بهتر عملکرد آینده پروژه‌ها توسعه داد.

۴- منابع

1. Anbari, F. T. (2003). Earned value project management method and extensions. *Project management journal*, 34(4), 12-23.
2. Aramali, V., Gibson Jr, G. E., El Asmar, M., & Cho, N. (2021). Earned value management system state of practice: Identifying critical subprocesses, challenges, and environment factors of a high-performing EVMS. *Journal of Management in Engineering*, 37(4), 04021031.
3. Art Gowan, J., Mathieu, R. G., & Hey, M. B. (2006). Earned value management in a data warehouse project. *Information management & computer security*, 14(1), 37-50.
4. Babar, S., Thaheem, M. J., & Ayub, B. (2017). Estimated cost at completion: Integrating risk into earned value management. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(3), 04016104.
5. Clausing, D., & Frey, D. D. (2005). Improving system reliability by failure-mode avoidance including four concept design strategies. *Systems engineering*, 8(3), 245-261.
6. Christensen, D. S. (1994). Using performance indices to evaluate the estimate at completion. *The Journal of Cost Analysis*, 11(1), 17-23.
7. Dubois, D., & Prade, H. (1980). Systems of linear fuzzy constraints. *Fuzzy sets and Systems*, 3(1), 37-48.
8. De Marco, A., Rosso, M., & Narbaev, T. (2016). Nonlinear cost estimates at completion adjusted with risk contingency. *The Journal of Modern Project Management*, 4(2).
9. De Andrade, P. A., Martens, A., & Vanhoucke, M. (2019). Using real project schedule data to compare earned schedule and earned duration management project time forecasting capabilities. *Automation in Construction*, 99, 68-78.
10. Enayati Fatollah, S., Dabbagh, R., & Shahsavari Jalavat, A. (2022). An extended approach using failure modes and effects analysis (FMEA) and weighting method for assessment of risk factors in the petrochemical industry. *Environment, Development and Sustainability*, 1-26.
11. Gargama, H., & Chaturvedi, S. K. (2011). Criticality assessment models for failure mode effects and criticality analysis using fuzzy logic. *IEEE Transactions on Reliability*, 60(1), 102-110.
12. Henderson, K. (2003). Earned schedule: A breakthrough extension to earned value theory? A retrospective analysis of real project data. *The Measurable News*, 1(2), 13-23.
13. Henderson, K. (2004). Further developments in earned schedule. *The measurable news*, 1(1), 15-22.
14. Jacob, D. (2003). Forecasting project schedule completion with earned value metrics. *The Measurable News*, 1(1), 7-9.
15. Kim, E., Wells, W. G., & Duffey, M. R. (2003). A model for effective implementation of Earned Value Management methodology. *International Journal of Project Management*, 21(5), 375-382.

16. Kamyabniya, A., Seyedhoseini, S. M., & Yaghoubi, S. (2015). Project time and cost estimate at completion based on non-parametric resampling with interval risk. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 21(4), 458-473.
17. Liu, H. C., Liu, L., Bian, Q. H., Lin, Q. L., Dong, N., & Xu, P. C. (2011). Failure mode and effects analysis using fuzzy evidential reasoning approach and grey theory. *Expert Systems with Applications*, 38(4), 4403-4415.
18. Lipke, W. (2003). Schedule is different. *The Measurable News*, 31(4), 31-34.
19. Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., & Anbari, F. (2009). Prediction of project outcome: The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. *International journal of project management*, 27(4), 400-407.
20. Naeni, L. M., & Salehipour, A. (2011). Evaluating fuzzy earned value indices and estimates by applying alpha cuts. *Expert systems with Applications*, 38(7), 8193-8198.
21. Narbaev, T., & De Marco, A. (2017). Earned Value and Cost Contingency Management: A Framework Model for Risk Adjusted Cost Forecasting. *The Journal of Modern Project Management*, 4(3).
22. Mandal, S., & Maiti, J. (2014). Risk analysis using FMEA: Fuzzy similarity value and possibility theory based approach. *Expert Systems with Applications*, 41(7), 3527-3537.
23. Mortaji, S. T. H., Noori, S., & Bagherpour, M. (2021). Directed earned value management based on ordered fuzzy numbers. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 40(5), 10183-10196.
24. Moradi, N., Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2017). An earned value model with risk analysis for project management under uncertain conditions. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(1), 97-113.
25. Moradi, N., Mousavi, S. M., & Vahdani, B. (2018). An Interval Type-2 Fuzzy Model for Project-earned Value Analysis Under Uncertainty. *Journal of Multiple-Valued Logic & Soft Computing*, 30(1).
26. Muriana, C., & Vizzini, G. (2017). Project risk management: A deterministic quantitative technique for assessment and mitigation. *International Journal of Project Management*, 35(3), 320-340.
27. Pajares, J., & Lopez-Paredes, A. (2011). An extension of the EVM analysis for project monitoring: The Cost Control Index and the Schedule Control Index. *International Journal of Project Management*, 29(5), 615-621.
28. Roghabadi, M. A., & Moselhi, O. (2022). Forecasting project duration using risk-based earned duration management. *International Journal of Construction Management*, 22(16), 3077-3087.
29. Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effect analysis: FMEA from theory to execution*. Quality Press.
30. Song, J., Martens, A., & Vanhoucke, M. (2022). Using Earned Value Management and Schedule Risk Analysis with resource constraints for project control. *European Journal of Operational Research*, 297(2), 451-466.
31. Tabriz, A. A., Farrokh, M., Nooshabadi, G. M., & Nia, H. H. (2013). A combined approach of the earned value management and the risk management for estimating final results of projects in fuzzy environment. *Business Management and Strategy*, 4(1), 32-52.
32. Vandevorde, S., & Vanhoucke, M. (2006). A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics. *International journal of project management*, 24(4), 289-302.

33. Wang, Y. M., Chin, K. S., Poon, G. K. K., & Yang, J. B. (2009). Risk evaluation in failure mode and effects analysis using fuzzy weighted geometric mean. *Expert systems with applications*, 36(2), 1195-1207.
34. Yager, R. R. (1981). A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval. *Information sciences*, 24(2), 143-161.
35. Yet, B., Constantinou, A., Fenton, N., Neil, M., Luedeling, E., & Shepherd, K. (2016). A Bayesian network framework for project cost, benefit and risk analysis with an agricultural development case study. *Expert Systems with Applications*, 60, 141-155.
36. Yu, F., Chen, X., Cory, C. A., Yang, Z., & Hu, Y. (2021). An active construction dynamic schedule management model: using the fuzzy earned value management and BP neural network. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 25(7), 2335-2349.
37. Zarghami, S. A. (2022). Forecasting project duration in the face of disruptive events: A resource-based approach. *Journal of Construction Engineering and Management*, 148(5), 04022016.
38. Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.



An Improvement in the Prediction of Project Performance Using Integrated Approach of Fuzzy Earned Value and Risk Analysis

Mojtaba Farrokh

Operations Management and Information Technology Department, Faculty of Management, Kharazmi University, Tehran, Iran

Email: Farrokh@khu.ac.ir

Abstract

This paper proposes an integrated approach of the earned value management and the risk management for predicting of project performance including cost and duration of estimate at completion. In spite of the abilities of earned value management technique in estimating the project future performance merely based on its past, it cannot consider the environmental change or other elements which effect on the future performance of the project. Unlike the earned value management, the risk management technique looks to the farther horizons and deals with the evaluation of the project performance by recognizing the failure modes. In this paper we intend to present the future performance index in combination with the earned value management current indices for better prediction of the projects' future performance. These indices are determined under real-life and uncertain conditions using the fuzzy approach. In the end, the performance of the proposed method is evaluated by a numerical example. The results show that the consideration of the risk evaluation index improves the prediction of cost and time of projects' completion in the value management model.

Keywords: Earned value, Risk analysis, Fuzzy theory, Failure modes, Future performance.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی