فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هجدهم/ شماره ۶۳ / بهار ۱۴۰۲

بهبود پیش‌بینی عملکرد پروژه‌ها با رویکرد یکپارچه ارزش‌کسب‌شده 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 ارزش‌کسب‌شده در ارزیابی عملکرد هزینه و زمان پروژها دارد، قادر به تخمین عملکرد آتی آن‌ها نیست. در واقع مدیریت ارزش‌کسب‌شده عملکرد آینده پروژه را صرفا 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 ارزش‌کسب‌شده 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 افزایی قابل توجه‌ای 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 ارزش‌کسب‌شده ترکیب و با شاخص‌هایی جدید به پیش‌بینی بهتر عملکرد آینده پروژه‌ها می‌پردازیم. این شاخص‌های جدید، تحت شرایط عدم‌اطمینان 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 ارزش‌کسب شده بهبود می‌دهد.

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

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 درصدد بکارگیری و پیاده‌سازی استانداردهای مدیریت پروژه نظیر PMBOK[1] 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[2] (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 نشات 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[3] (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 عدم‌قطعیت‌های 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 ارزش‌کسب‌شده از شاخص ریسک برای تعدیل نتایج پیش‌بینی شاخص‌های مدیریت ارزش‌کسب‌شده 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 ارزش‌کسب‌شده 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 تجزیه‌وتحلیل 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 ارزش‌کسب‌شده 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

علارغم اینکه استفاده‌کنندگان کنونی تکنیک مدیریت ارزش‌کسب‌شده، اعتماد و پذیرش زیادی نسبت به آن داشته‌اند، تحقیقات کمی در مورد آن صورت گرفته است. آنبری[۴] (۲۰۰۳) از تکنیک ارزش برنامه‌ریزی‌شده[۵] برای برآورد زمان تکمیل $EAC_{(t)}$ استفاده کرد و کارایی ارزش‌کسب‌شده را بهبود داد. جاکوب[۶] (۲۰۰۳) طول زمان کسب‌شده[۷]را براساس زمان کنونی[۸] و شاخص عملکرد زمانبندی[۹] بدست آورد، سپس $EAC_{(t)}$ را به کمک زمانبندی‌کسب‌شده محاسبه کرد. لیپک (۲۰۰۳) با شناسایی محدودیت‌های ارزش‌کسب‌شده در تعیین شاخص عملکرد زمانبندی، زمانبندی‌کسب‌شده[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 ارزش‌کسب‌شده به ارزش برنامه‌ریزی‌شده به عدد یک همگرا می‌شود و در نهایت چون ارزش‌کسب‌شده با ارزش برنامه‌ریزی‌شده برابر می‌شود، همیشه مقدار شاخص زمانبندی‌کسب‌شده در پایان پروژه برابر با یک خواهد شد. کیم و همکاران[۱۱] (۲۰۰۳) ارزش‌کسب‌شده 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، زمانبندی‌کسب‌شده 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 ارزش‌کسب‌شده بر حسب قضاوت‌های افراد است؛ با توجه به اینکه قضاوت‌های این افراد با درجه‌ای از عدم‌اطمینان همراه است، توجه به این واقعیت در تفسیرها، قابلیت کاربرد ارزش‌کسب‌شده را تحت شرایط غیرقطعی بهبود می‌دهد. برای این منظور، آن‌ها به معرفی شاخص‌های ارزش‌کسب‌شده 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 می‌کرد. سانگ و همکاران (۲۰۲۲) از مدیریت ارزش‌کسب‌شده و تجزیه‌وتحلیل 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 تصمیم گیرندگان 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 عدم‌قطعیت در دستیابی به منابع در طول اختلالات انجام دادند. رق‌آبادی و مصلحی (۲۰۲۲) یک مدل جدید مدیریت مدت زمان کسب شده 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 عدم‌قطعیت‌های 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 چهاچوب 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

توضیح	نماد
ارزش برنامه‌ریزی	PV
هزینه واقعی	AC

[16] de Andrade et al.,
[17] Pajares & Lopez-Paredes
[18] Babar et al.

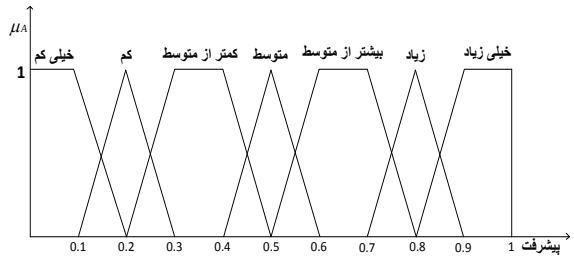
ارزش‌کسب‌شده	EV
شاخص عملکرد هزینه$(CPI = EV/AC)$	CPI
شاخص عملکرد زمانبندی$(SPI = EV/PV)$	SPI
شاخص عملکرد هزینه–زمانبندی$(SCI=CPI*SPI)$	SCI
بودجه کل پروژه	BAC
برآورد هزینه اتمام پروژه	EAC
برآورد زمان اتمام پروژه	$EAC_{(t)}$
زمانبندی‌کسب‌شده	ES
زمان برنامه‌ریزی‌شده	PD

ارزش‌کسب‌شده هزینه بودجه‌شده برای کار انجام شده است و بسته به نوع خروجی فعالیت‌ها و طول زمانی آن‌ها از تکنیک‌های مختلف محاسبه می‌شود که در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول شماره (۲): تکنیک‌های اندازه‌گیری ارزش‌کسب‌شده

خروجی فعالیت‌ها	طول فعالیت	
	۱ یا ۲ دوره	بیش از ۲ دوره
ملموس	فرمول‌های ثابت	• مایلستون وزن دهی‌شده • درصد تکمیل
ناملموس	• سطح فعالیت • فعالیت‌های واگذار شده	

براساس تحقیق نائینی و صالحی‌پور (۲۰۱۱) در شرایط بیان ذهنی درصد تکمیل پروژه استفاده از شاخص‌های ارزش‌کسب‌شده فازی مناسب است. برای این منظور از متغیرهای زبانی[19] برای تعیین درصد تکمیل هر فعالیت استفاده می‌شود. منطق فازی تکنیک معمولی است که در سال ۱۹۶۰ توسط لطفی زاده معرفی شده است. برای این منظور از اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای استفاده می‌شود. متغیرهای زبانی و اعداد فازی مربوط به درصد پیشرفت فعالیت‌های 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 ذوزنقه‌ای مربوط به متغیرهای زبانی درصد پیشرفت پروژه

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

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

[19]. Linguistic Terms

ج) تعاریف

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

$$\mu_{\tilde{A}}(x)=\begin{cases}0 & x \le a\\ \dfrac{(x-a)}{(b-a)} & a \le x \le b\\ 1 & b \le x \le c\\ \dfrac{(x-c)}{(d-c)} & c \le x \le d\\ 0 & x \ge d\end{cases}$$

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 ذوزنقه ای به صورت زیر است:

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

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:

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

$\tilde{x}_1,...,\tilde{x}_n$ n اعداد فازی هستند و $w_1,...,w_n$ وزن قطعی هر یک از اعداد فازی هستند.

تعریف ۴ (Yager, 1981). برای مقایسه اعداد فازی می‌بایست اقدام به قطعی‌سازی آن‌ها کرد. یکی از رایج ترین 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 ذوزنقه ای $\tilde{A}=[a,b,c,d]$، مرکزیت قطعی شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

براساس تعریف ۲، ارزش‌کسب‌شده فازی فعالیت i براساس درصد تکمیل فازی و بودجه برنامه‌ریزی‌شده 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 می‌باشد که براساس جدول (۳) به هر یک از فعالیت‌ها تخصیص داده می‌شود. BAC_t بودجه برنامه‌ریزی‌شده تکمیل فعالیت i را نشان می‌دهد. جمع کل ارزش‌کسب‌شده فازی در هر دوره اندازه‌گیری به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

د) شاخص‌های پیش‌بینی هزینه و زمان

۱) شاخص‌های عملکرد هزینه و زمانبندی فازی

شاخص عملکرد هزینه (CPI) نشان دهنده کارایی تیم پروژه در استفاده از منابع مالی پروژه است و از تقسیم ارزش‌کسب‌شده بر هزینه واقعی بدست می‌آید:

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

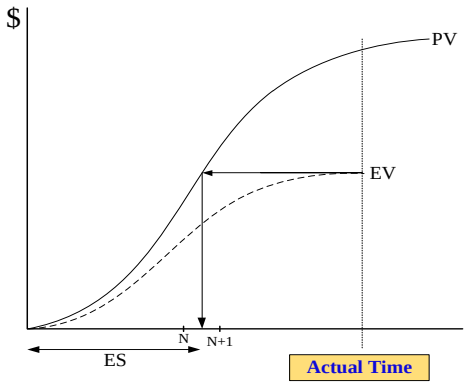
شاخص عملکرد زمانبندی (SPI) نشان دهنده کارایی تیم پروژه در استفاده از زمان است و از تقسیم ارزش‌کسب‌شده بر ارزش برنامه‌ریزی‌شده بدست می‌آید:

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

نسبت بحرآنی[۲۰] (CR) یا شاخص زمانبندی–هزینه (SCI) به طور همزمان کارایی تیم پروژه را در استفاده موثر از منابع مالی و زمان را نشان می‌دهد:

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

بررسی که توسط وآندرورد و وآن هوک (۲۰۰۳) در مورد مقایسه روش‌های مختلف برآورد زمان اتمام پروژه‌ها صورت گرفته است در تمام موارد، روش لیپک یعنی استفاده از زمانبندی‌کسب‌شده، کارایی به مراتب بالایی را نشان می‌دهد. زمانبندی‌کسب‌شده (ES) که برای اولین بار توسط لیپک (۲۰۰۳) معرفی شد، در حقیقت معادل زمانی ارزش‌کسب‌شده است. شکل (۲) مفهوم ارزش‌کسب‌شده را در مقابل زمانبندی‌کسب‌شده نشان می‌دهد:



[20] Critical Ratio

شکل شماره (۲): زمانبندی‌کسب‌شده در مقابل ارزش‌کسب‌شده (Jacob, 2003)

زمانبندی‌کسب‌شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

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

در معادله، N نشان دهنده طولانی ترین فاصله زمانی است که ارزش‌کسب‌شده (EV) از ارزش برنامه‌ریزی‌شده $\mathrm{PV_N}$ آن دوره بیشتر است. $\mathrm{PV_N}$ ارزش برنامه‌ریزی‌شده در دوره N و $PV_{\mathrm{N+1}}$ ارزش‌کسب‌شده برنامه‌ریزی دوره بعد از دوره N است (Aramali et al., 2021).

ES_{i} و $\widetilde{ES}$ به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

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

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

در مقابل(SPI)، $\mathrm{SPI_{(t)}}$ مطرح است که از نسبت زمانبندی‌کسب‌شده بر زمان‌کنونی یا $\left(\mathrm{SPI_{(t)}} = \frac{\mathrm{ES}}{\mathrm{AD}}\right)$ بدست می‌آید. فازی‌سازی آن به صورت زیر است:

$$\widetilde{\mathrm{SPI_{(t)}}} = \frac{\widetilde{\mathrm{ES}}}{\mathrm{AD}} = \left[\frac{\mathrm{ES_1}}{\mathrm{AD}}, \frac{\mathrm{ES_2}}{\mathrm{AD}}, \frac{\mathrm{ES_3}}{\mathrm{AD}}, \frac{\mathrm{ES_4}}{\mathrm{AD}}\right] \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

۲) تخمین هزینه و زمانبندی تکمیل فازی

مدیریت ارزش‌کسب‌شده 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 $(\widetilde{EAC})$

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

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

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

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

- تخمین زمانبندی تکمیل فازی $(\widetilde{EAC_{(t)}})$

فاکتور عملکرد[21] (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

رابطه (۱۳)
$$\widetilde{EAC}_{(t)} = AD + \left(\frac{PD-\widetilde{ES}}{1}\right) = \left[AD + \left(\frac{PD-ES_4}{1}\right), AD + \left(\frac{PD-ES_3}{1}\right), AD + \left(\frac{PD-ES_2}{1}\right), AD + \left(\frac{PD-ES_1}{1}\right)\right]$$

$PF = SPI_{(t)}$: با فرض اینکه مدت زمان انجام فعالیت‌های باقیمانده طبق روند $SPI_{(t)}$ پیش خواهد رفت، $EAC_{(t)}$ فازی به صورت زیر بدست می‌آید:

رابطه (۱۴)
$$\widetilde{EAC}_{(t)} = AD + \frac{PD-\widetilde{ES}}{\widetilde{SPI}_{(t)}} = [AD + \frac{PD-ES_4}{SPI_{(t)4}}, AD + \frac{PD-ES_3}{SPI_{(t)3}}, AD + \frac{PD-ES_2}{SPI_{(t)2}}, AD + \frac{PD-ES_1}{SPI_{(t)1}}]$$

$PF = SCI_{(t)}$: با فرض اینکه مدت زمان انجام فعالیت‌های باقیمانده طبق روند $SCI_{(t)}$ پیش خواهد رفت، $EAC_{(t)}$ فازی به صورت زیر بدست می‌آید ($\widetilde{SCI}_{(t)} = \widetilde{CPI} * \widetilde{SPI}_{(t)}$):

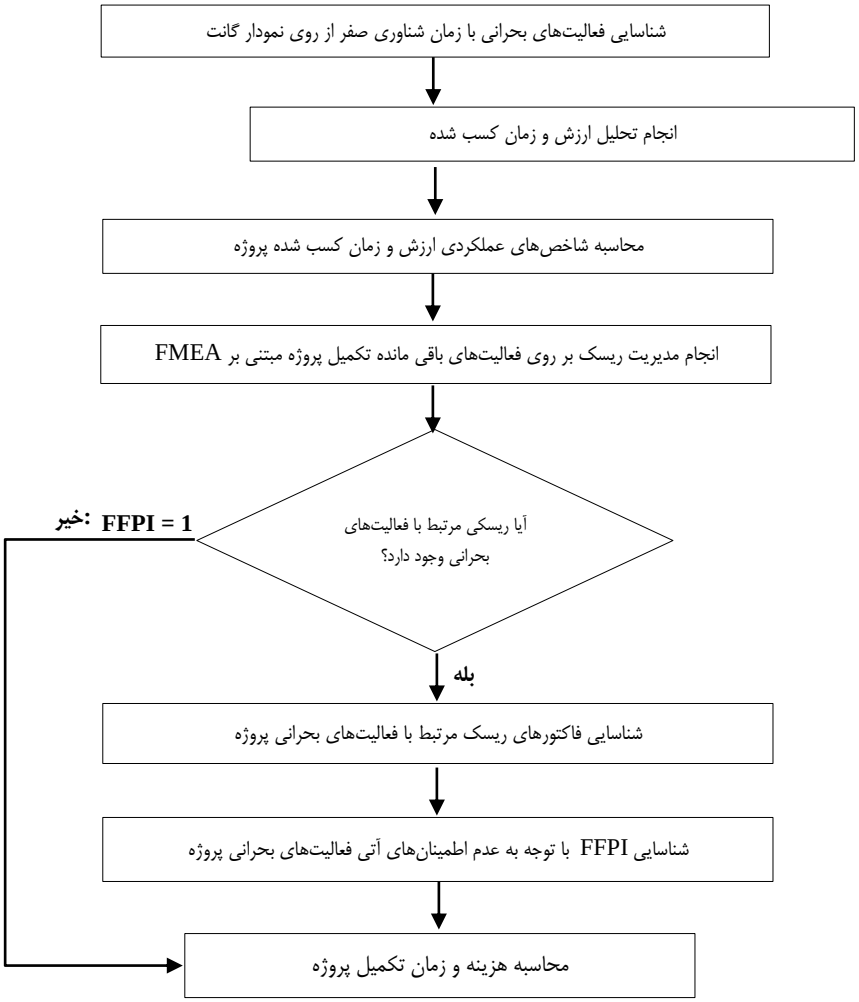
رابطه (۱۵)
$$\widetilde{EAC}_{(t)} = AD + \frac{PD-\widetilde{ES}}{\widetilde{SCI}_{(t)}} = [AD + \frac{PD-ES_4}{SCI_{(t)4}}, AD + \frac{PD-ES_3}{SCI_{(t)3}}, AD + \frac{PD-ES_2}{SCI_{(t)2}}, AD + \frac{PD-ES_1}{SCI_{(t)1}}]$$

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، فوق‌العاده ارزشمند است. این ریسک و عدم‌اطمینان از شرایط آینده پروژه شامل فرصت‌های مناسب و تهدیدات است که می‌تواند باعث ایجاد ابهامات و تغییراتی در عملکرد آینده پروژه شود (Muriana & Vizzini, 2017). در پژوهش حاضر، برای در نظر گرفتن ریسک‌های آتی جهت بهبود پیش‌بینی هزینه و زمان تکمیل پروژه‌ها در روش ارزش‌کسب‌شده، یک مدل جدید پیشنهاد می‌شود که مراحل آن در شکل ۳ آورده شده است.

با توجه به اینکه عملکرد پروژه تحت تاثیر عوامل تشکیل دهنده آن شکل می‌گیرد، می‌بایست نسبت به تهیه فهرستی از عوامل تاثیرگذار بر عملکرد پروژه اقدام کرد. برای تهیه این فهرست می‌توان 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 می‌گیرد. هدف اصلی FMEA تمرکز بر مهمترین حالت‌های ریسک با توجه به محدودیت منابع و ارائه اطلاعات ارزشمند برای دستیابی به بهبود مستمر است. FMEA یک رویکرد ساختاریافته و گام‌به‌گام برای تعیین کمیت اثرات حالت‌های شکست بالقوه است و معمولاً توسط یک تیم چند رشته‌ای و چند نهادی انجام می‌شود. در کاربرد عملی، سه مرحله اصلی زیر اغلب در فرآیند FMEA گنجانده می‌شود. مرحله اول به شناسایی حالت‌های خرابی احتمالی و اثرات آن‌ها بر اجزای پروژه مربوط می‌شود. مرحله دوم مربوط به انجام تجزیه‌وتحلیل بحرانی برای تعیین شدت حالت‌های شکست با ارزیابی سطوح ریسک عوامل خطر در هر حالت شکست است. در نهایت، اقدامات کاهش ریسک حالت‌های شکست بحرانی برای کمک به بهبود قابلیت اطمینان سیستم با اجتناب از حالت شکست پیشنهاد و اجرا می‌شوند (Clausing and Frey, 2005). مرحله دوم از این مراحل در اینجا مورد بررسی قرار می گیرد، زیرا این مرحله پایه‌ای برای توسعه و اجرای استراتژی‌های 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 براین، 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 کرده اند (Mandal & Maiti, 2014).

وانگ و همکاران[25] (۲۰۰۹) از نظرات خبرگان در مورد پارامترهای ریسک با استفاده از تابع عضویت مثلثی برای احتمال وقوع و تابع عضویت ذوزنقه ای 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

[25] Wang et al.

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. نهایتا مقادیر قطعی شده رتبه‌بندی و حالات شکست بر این اساس اولویت‌بندی شد.

ساختار شکست ریسک کمک می‌کند تا عدم‌قطعیت‌های 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 عدم‌اطمینان 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 متخصصآن 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

متغیرهای زبانی احتمال وقوع	اعداد فازی
رویداد به طور کامل قابل پیشگیری است	(۰/۲، ۰/۱، ۰ ، ۰)
امکان وقوع رویداد پایین است	(۰/۳، ۰/۲، ۰/۲، ۰/۱)
امکان وقوع رویداد نسبتا پایین است	(۰/۵، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲)
امکان وقوع رویداد متوسط است	(۰/۶، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۴)
امکان وقوع رویداد نسبتا بالا است	(۰/۸، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۵)
امکان وقوع رویداد بالا است	(۰/۹، ۰/۸، ۰/۸، ۰/۷)
از این رویداد را نمی‌توان پیشگیری کرد	(۱، ۱، ۰/۹، ۰/۸)

جدول شماره (۵): متغیرهای زبانی و اعداد فازی مربوط به میزان شدت یک شکست

متغیرهای زبانی		اعداد فازی
هزینه	زمانبندی	
تقریبا بدون افزایش	تقریبا بدون دیرکرد	(۰/۲، ۰/۱، ۰ ، ۰)
افزایش کمتر از ۱۰٪	دیرکرد کمتر از ۱۰٪	(۰/۳، ۰/۲، ۰/۲، ۰/۱)
افزایش بین ۱۰٪ – ۲۰٪	دیرکرد بین ۱۰٪ – ۲۰٪	(۰/۵، ۰/۴، ۰/۳، ۰/۲)
افزایش بین۲۰٪ – ۳۰٪	دیرکرد بین ۲۰٪ – ۳۰٪	(۰/۶، ۰/۵، ۰/۵، ۰/۴)
افزایش بین۳۰٪ – ۴۰٪	دیرکرد بین ۳۰٪ – ۴۰٪	(۰/۸، ۰/۷، ۰/۶، ۰/۵)
افزایش بین۴۰٪ – ۵۰٪	دیرکرد بین ۴۰٪ – ۵۰٪	(۰/۹، ۰/۸، ۰/۸، ۰/۷)
افزایش بیش از ۵۰٪	دیرکرد بیش از ۵۰٪ در برهه ها	(۱، ۱، ۰/۹، ۰/۸)

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 نسبتا 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 نسبتا 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)

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

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

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

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

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 و wd به ترتیب وزن نسبی قطعی هر یک از سه جزء باشد ($wo + ws + wd = 1$)، در این صورت برای FRPN داریم:

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

حال مجموع کل عدد اولویت ریسک فازی را بدست می آوریم:

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

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، $\tilde{FRPN}$ 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:

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

این شاخص عملکرد آتی پروژه را نشان می‌دهد.

در روش‌ها و فرمول‌های رایج در سیستم EVM، عملکرد آینده پروژه صرفا 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 تقریبا 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، $\widetilde{FFPI}$ می‌تواند به همراه شاخص‌های مدیریت ارزش‌کسب‌شده جهت تخمین بهتر هزینه و زمان اتمام پروژه‌ها به کار رود. این تخمین‌ها تحت عنوان برآورد تعدیل شده هزینه و زمان تکمیل[۲۶] نام برده می‌شود.

در اینجا با توجه به فرضیات مختلفی که در رابطه با محاسبه تخمین هزینه و زمانبندی تکمیل ذکر شده و شاخص ریسکی که برای پروژه‌ها فرموله کرده‌ایم، برآورد تعدیل شده هزینه و زمان تکمیل به صورت زیر توسعه داده می‌شود:

الف) تخمین تعدیل شده هزینه تکمیل فازی[۲۷] $(\widetilde{AEAC})$

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

رابطه (۲۲)
$$\widetilde{AEAC} = AC + \frac{BAC-\widetilde{EV}}{\widetilde{CPI}*\widetilde{FFPI}} = \left[AC + \frac{BAC-EV_4}{CPI_4*FFPI_4}, AC + \frac{BAC-EV_3}{CPI_3*FFPI_3}, AC + \frac{BAC-EV_2}{CPI_2*FFPI_2}, AC + \frac{BAC-EV_1}{CPI_1*FFPI_1}, \right] = [AEAC_1, AEAC_2, AEAC_3, AEAC_4]$$

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

رابطه (۲۳)
$$\widetilde{AEAC} = AC + \frac{BAC-\widetilde{EV}}{\widetilde{SCI}*\widetilde{FFPI}} = \left[AC + \frac{BAC-EV_4}{SCI_4*FFPI_4}, AC + \frac{BAC-EV_3}{SCI_3*FFPI_3}, AC + \frac{BAC-EV_2}{SCI_2*FFPI_2}, AC + \frac{BAC-EV_1}{SCI_1*FFPI_1}, \right] = [AEAC_1, AEAC_2, AEAC_3, AEAC_4]$$

ب) تخمین تعدیل شده زمانبندی تکمیل فازی[۲۸] $(\widetilde{\mathrm{AEAC}}_{(t)})$

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

رابطه (۲۴)
$$\widetilde{\mathrm{AEAC}}_{(t)} = \mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\widetilde{\mathrm{ES}}}{\widetilde{\mathrm{FFPI}}} = \left[\mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\mathrm{ES}_4}{\mathrm{FFPI}_4}, \mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\mathrm{ES}_3}{\mathrm{FFPI}_3}, \mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\mathrm{ES}_2}{\mathrm{FFPI}_2}, \mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\mathrm{ES}_1}{\mathrm{FFPI}_1}, \right] = \left[\mathrm{AEAC}_{(t)_1}, \mathrm{AEAC}_{(t)_2}, \mathrm{AEAC}_{(t)_3}, \mathrm{AEAC}_{(t)_4}\right]$$

$PF = SPI_{(t)}$: با فرض اینکه مدت زمان انجام فعالیت‌های باقیمانده طبق روند $SPI_{(t)}$ پیش خواهد رفت $AEAC_{(t)}$ فازی به صورت زیر بدست می‌آید:

رابطه (۲۵)
$$\widetilde{\mathrm{AEAC}}_{(t)} = \mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\widetilde{\mathrm{ES}}}{\widetilde{\mathrm{SPI}_{(t)}}*\widetilde{\mathrm{FFPI}}} = \left[\mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\mathrm{ES}_4}{\mathrm{SPI}_{(t)4}*\mathrm{FFPI}_4}, \mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\mathrm{ES}_3}{\mathrm{SPI}_{(t)3}*\mathrm{FFPI}_3}, \mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\mathrm{ES}_2}{\mathrm{SPI}_{(t)2}*\mathrm{FFPI}_2}, \mathrm{AD} + \frac{\mathrm{PD}-\mathrm{ES}_1}{\mathrm{SPI}_{(t)1}*\mathrm{FFPI}_1}, \right] = \left[\mathrm{AEAC}_{(t)_1}, \mathrm{AEAC}_{(t)_2}, \mathrm{AEAC}_{(t)_3}, \mathrm{AEAC}_{(t)_4}\right]$$

$PF = SCI_{(t)}$: با فرض اینکه مدت زمان انجام فعالیت‌های باقیمانده طبق روند $SCI_{(t)}$ پیش خواهد رفت $AEAC_{(t)}$ فازی به صورت زیر بدست می‌آید :

رابطه (۲۶)
$$\widetilde{AEAC}_{(t)} = AD + \frac{PD-\widetilde{ES}}{\widetilde{SCI_{(t)}}*\widetilde{FFPI}} = \left[AD + \frac{PD-ES_4}{SCI_{(t)4}*FFPI_4}, AD + \frac{PD-ES_3}{SCI_{(t)3}*FFPI_3}, AD + \frac{PD-ES_2}{SCI_{(t)2}*FFPI_2}, AD + \frac{PD-ES_1}{SCI_{(t)1}*FFPI_1}, \right] = \left[AEAC_{(t)_1}, AEAC_{(t)_2}, AEAC_{(t)_3}, AEAC_{(t)_4}\right]$$

مقایسه با مقادیر برنامه‌ریزی‌شده

براساس تعریف ۴ مقدار قطعی هزینه و زمان تکمیل فازی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه (۲۷)
$$AEAC = \frac{AEAC_1 + AEAC_2 + AEAC_3 + AEAC_4}{4}$$

رابطه (۲۸)
$$AEAC_{(t)} = \frac{AEAC_{(t)1} + AEAC_{(t)2} + AEAC_{(t)3} + AEAC_{(t)4}}{4}$$

مقایسه این مقادیر با هزینه بودجه شده و زمان برنامه‌ریزی و تفاسیر مربوط به آن‌ها 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 $AEAC$

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

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

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

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): AC و PV 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

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

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، $\widetilde{EV}_i$براساس فرمول (۱) بدست می‌آید.

جدول شماره (۱۱): محاسبه $\widetilde{\boldsymbol{EV}}_{\boldsymbol{I}}$ هر یک از فعالیت‌ها

فعالیت	BAC_{i}	میزان پیشرفت	$\widetilde{L_I}$	$\widetilde{EV_I}$
۱	۱۲۰۰	خیلی زیاد	(۰/۸ ،۰/۹ ،۱ ،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 می آید :

$\widetilde{\mathrm{EV}} = \sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}} \widetilde{\mathrm{EV}_{\mathrm{i}}} = [1780,2100,2700,3180]$

راساس ارزش‌کسب‌شده فازی می‌توانیم شاخص‌های هزینه و زمانبندی فازی را تعیین کنیم:

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

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

ارزش‌های واقعی و برنامه‌ریزی‌شده ماه چهارم به ترتیب ۳۱۰۰ و۳۸۰۰ است. براساس توضیحات ارائه شده محاسبات مربوط به ES_{i}در جدول (۱۲) آورده شده است.

جدول شماره (۱۲): محاسبات مربوط به $\boldsymbol{ES_{\mathrm{i}}}$

i	EV_{i}	N_{i}	$EV_{\mathrm{i}} - \mathrm{PV}_{\mathrm{N_i}}$	$\mathrm{PV}_{\mathrm{N_{i+1}}} - \mathrm{PV}_{\mathrm{N_i}}$	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:

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

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

در نهایت زمانبندی‌کسب‌شده فازی به صورت زیر بدست می‌آید:

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

$\widetilde{SPI_{(t)}}$ طبق فرمول (۱۰) به صورت زیر به دست می‌آید:

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

در این مثال فرض می‌کنیم سه شکست شناسایی شده است. جدول (۱۳) مربوط به داده‌های 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	$\tilde{O}_i$	$\tilde{S}_i$	$\tilde{D}_i$	$\widetilde{FRPN}_i$
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)
		$\widetilde{FRPN}$		(۰/۴۰، ۰/۵۰، ۰/۵۵، ۰/۶۵)

شاخص عملکرد آتی فازی ($\widetilde{FFPI}$) جهت ارزیابی وضعیت آینده پروژه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\widetilde{FFPI} = (1,1,1,1) - (0.4, 0.5, 0.55, 0.65) = (0.35, 0.45, 0.5, 0.6)$$

بعد از محاسبه شاخص‌های هزینه و زمانبندی مدیریت ارزش‌کسب‌شده 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 فعالیت‌های باقیمانده طبق روند $\widetilde{SPI_{(t)}}$ پیش خواهد رفت):

$$A\tilde{E}AC = [3800 + \frac{6000-3180}{1.026*0.6}, 3800 + \frac{6000-2700}{0.87*0.50}, 3800 + \frac{6000-2100}{0.68*0.45},$$
$$3800 + \frac{6000-1780}{0.57*0.35}] = [8381, 11386, 16545, 24953]$$
$$A\tilde{E}AC_{(t)} = [4 + \frac{8-4.11}{1.03*0.6}, 4 + \frac{8-3.5}{0.87*0.50}, 4 + \frac{8-2.6}{0.65*0.45}, 4 + \frac{8-1.97}{0.49*0.35}] =$$
$$[10.29, 14.34, 22.46, 39.16]$$

با محاسبه مقدار قطعی هزینه و زمان تکمیل فازی به مقادیر ۱۵۳۱۶ و ۲۱/۵۶ برای هزینه و زمان قطعی می رسیم. 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 پروژهای ساخت‌وساز نتایج پیش‌بینی حاصل از مدل پیشنهادی از دقت بیشتری نسبت به روش مدیریت ارزش‌کسب‌شده 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 ارزش‌کسب‌شده از دو روش برای پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه شامل $E\tilde{A}C1$ و $E\tilde{A}C2$ (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 $E\tilde{A}C_{(t)}2$ (روابط ۱۳، ۱۴ و ۱۵) استفاده شد. پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه‌ها براساس رویکرد پیشنهادی براساس روابط ۲۳ و ۲۴ است که به صورت $A\tilde{E}AC_{(t)}1$ و $A\tilde{E}AC2$ نمایش داده می‌شود. همچنین پیش‌بینی زمان تکمیل پروژه‌ها مبتنی بر روابط ۲۴، ۲۵ و ۲۶ است که به صورت $A\tilde{E}AC_{(t)}1$، $A\tilde{E}AC2$ و $A\tilde{E}AC_{(t)}3$ 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 ارزش‌کسب‌شده و روش پیشنهادی در پیش‌بینی هزینه (اعداد به درصد)

روش	پروژه ۱	پروژه ۲	خطای پیش‌بینی (MSE)
$E\tilde{A}C1$	۱۹/۳۷	۲۲/۷۶	۲۱/۰۷
$E\tilde{A}C2$	۱۲/۲۹	۲۰/۸۴	۱۶/۵۶
$A\tilde{E}AC1$	۱۰	۱۴/۵	۱۲/۲۵
$A\tilde{E}AC2$	۱۱/۵۵	۱۰/۴۵	۱۱

جدول شماره (۱۵): مقایسه خطای بین روش مدیریت ارزش‌کسب‌شده 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
$A\tilde{E}AC_{(t)}1$	۱۲/۱۱	۴/۵	۸/۳
$A\tilde{E}AC_{(t)}2$	۵/۸	۵/۳	۵/۵۵
$A\tilde{E}AC_{(t)}3$	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 روش‌های مدیریت ارزش‌کسب‌شده، تنها $E\tilde{A}C_{(t)}1$ در پیش‌بینی زمان تکمیل پروژه‌ها توانسته است با مقادیر ۸/۴۱ درصد، کمتر از این مقدار قرار گیرد و بقیه در بالای این مقدار قرار می‌گیرند. به طور کلی نتایج حاصل از این تکنیک دارای عملکرد ضعیفی است. همان‌طوری که از روی جداول مربوط به نتایج آزمایش پروژه‌های ۱ و ۲ مشخص است، دو مدل روش پیشنهادی دارای عملکرد بهتری نسبت به تکنیک ارزش کسب در پیش‌بینی هزینه و زمان نهایی است. این نشان می‌دهد که با اضافه کردن متغیرهای ریسک به متغیرهای ارزش‌کسب‌شده می‌توان با دقت بیشتری نتایج پایانی پروژه‌ها را پیش‌بینی کرد. از بین دو روش مدل پیشنهادی که برای پیش‌بینی هزینه نهایی این پروژه‌ها بکار برده شده است، عملکرد مدل اول و دوم تفاوت چندانی با هم ندارند. همچنین از بین سه روش مدل پیشنهادی که برای پیش‌بینی زمان تکمیل این پروژه‌ها 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 داده‌های ریسک شامل ورودی‌های تورم، وضعیت پرداخت و شرایط جوی استفاده شده است که برای تعدیل نتایج مجموعه داده‌های مدیریت ارزش‌کسب‌شده در پیش‌بینی استفاده می‌شوند. مشاهده می‌شود با اضافه کردن مجموعه ورودی‌های تورم، وضعیت پرداخت و شرایط جوی به داده‌های ارزش‌کسب‌شده، نتایج پیش‌بینی متفاوتی به دست می‌آید. در مدل پیشنهادی از فاکتورهای ارزش‌کسب‌شده در کنار سه فاکتور ریسک محیطی استفاده شد. خطای هر دو این مدل‌ها در پیش‌بینی هزینه و زمان نهایی در مقایسه با روش‌های مدیریت ارزش‌کسب‌شده کمتر است. به طور خلاصه، نتایج حاصله نشان می‌دهد که مدل‌ها پیشنهادی قادر هستند پیش‌بینی صحیح‌تر و پایدارتری را ارائه دهند.

ب) بینش‌های مدیریتی

این مطالعه یک چارچوب مدل‌سازی جامع را برای ارزیابی ریسک و پیش‌بینی هزینه و زمان تکمیل پروژه با برجسته کردن عوامل اصلی که می‌تواند منجر به اختلالات و در نتیجه پیش‌بینی‌های نادقیق شود، ارائه می‌کند. مدل پیشنهادی به طور پیچیده‌ای با ریسک در پروژه‌ها گره خورده است و هر گونه اختلال در پروژه‌ها می‌تواند به عملکرد پایین مدل‌های سنتی مثل مدل مدیریت ارزش‌کسب‌شده در این حوزه منجر شود. با درک کامل ریسک‌های پروژه، مدیران، سیاست‌گذاران و پیمانکاران قادر خواهند بود تعریف کنند که به کدام ریسک‌ها می‌توان کمتر توجه کرد و کدام ریسک‌ها به توجه بیشتری نیاز دارند. نتایج نشان می‌دهد که در نظر گرفتن ریسک‌های تورم، وضعیت پرداخت و شرایط جوی باعث بهبود نتایج پیش‌بینی می‌شود. تعیین ریسک‌های تاثیرگذار بر اختلال به تصمیم‌گیرندگان کلیدی در پروژه‌های مختلف کمک می‌کند تا منابع و سرمایه‌گذاری‌های مالی لازم را به درستی تخصیص دهند. مدل پیشنهادی مبنایی برای شناسایی و در نظر گرفتن ریسک‌ها به منظور بهبود نتایج مدل ارزش‌کسب‌شده در پیش‌بینی هزینه و زمان تکمیل پروژه‌ها را فراهم می‌کند و از این طریق چهارچوب تصمیم‌گیری جامعی را در اختیار مدیران قرار می‌دهد. انجام تحلیل حساسیت بر روی ریسک‌ها به تصمیم‌گیرندگان اجازه می‌دهد تا تاثیر وقوع و برطرف کردن هر یک از ریسک‌ها را بر روی عملکرد پروژها را پیدا کنند. سیاست‌گذاران می‌توانند با شناسایی تأثیرات هر یک از ریسک‌ها بر روی نتایج پیش‌بینی، به طور مؤثر تصمیمات استراتژیک خود را اتخاذ کنند. بنابراین، دست اندرکاران و مدیران پروژه می‌توانند از این دانش برای شناسایی ریسک، و بهبود عملکرد پروژه و پیش‌بینی‌های خود استفاده کنند. شکست در شناسایی و غلبه بر ریسک‌های شناسایی شده می‌تواند عواقب شدیدی داشته باشد.

ج) نتیجه‌گیری

تحقیقاتی که در حوزه مدیریت ارزش‌کسب‌شده صورت گرفته است براساس این فرض استوار است که عملکرد آینده پروژه تابعی از عملکرد گذشته آن است. این فرض با وجود شکست‌هایی که خیلی از پروژه‌ها را در محیط کنونی احاطه کرده است نمی‌تواند درست باشد. در حالی که عملکرد آینده پروژه‌ها ممکن است به دلیل وجود شکست‌های مختلف به هیچ وجه با عملکرد گذشته آن‌ها سازگار نباشد. در این تحقیق مدلی ارائه شد که به مدیران پروژه کمک می‌کند تا وضعیت آینده پروژه‌ها را با اطمینان بیشتری تخمین بزنند. برای این کار با شناسایی تهدیدهایی که پروژه‌ها ممکن است در آینده با آن مواجه شوند، شاخص عملکرد آینده پروژه را برای ترکیب با شاخص‌های عملکرد مدیریت ارزش‌کسب‌شده محاسبه می‌کنیم. این شاخص در واقع شاخص‌های

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 می کند و همچنین به مدیران پروژه کمک می کند 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.

٤-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., & Shahsavar 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. Vandevoorde, 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.