

فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۸۷، تابستان ۱۳۹۷، ۲۱۴-۱۸۷

تحلیل حساسیت بر آورد هزینه انجام کار در پروژه‌ها با تکنیک مدیریت ارزش حاصله و در نظر گرفتن عوامل کیفیت و ریسک

سید علی بنی‌هاشمی*

محمد خلیل‌زاده**

پذیرش: ۹۷/۳/۱۹

دریافت: ۹۶/۱۱/۱۷

مدیریت ارزش حاصله / مدیریت ریسک / عدم قطعیت / مدیریت کیفیت پروژه

چکیده

تخمین هزینه انجام پروژه، یکی از مهم‌ترین مسائل در انجام و اجرای پروژه‌ها می‌باشد. روش مدیریت ارزش حاصله (EVM) یک تکنیک برای پاسخگویی به این سؤال مهم و کلیدی است. در روابط ارائه شده برای ارزیابی و تخمین هزینه انجام پروژه، عملکرد پروژه براساس داده‌ها و اطلاعات قبلی مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از انجام این پژوهش، ارائه تخمین دقیق‌تری از هزینه انجام پروژه در هر مرحله از آن است. از این رو، علاوه بر عملکرد هزینه‌ای و زمان‌بندی گذشته در پروژه، دو عامل کیفیت و ریسک نیز مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین عدم قطعیت در زمان انجام فعالیت‌ها، به عنوان یک متغیر در محاسبات و پیش‌بینی‌ها لحاظ گردیده است. نتایج پژوهش که با استفاده از یک مثال تشریح شده، نشان می‌دهد که اضافه شدن دو عامل ریسک و کیفیت در محاسبات مربوط به تخمین هزینه انجام کار، حدود ۴۰ درصد بر پیش‌بینی هزینه انجام پروژه و پیش‌بینی عملکرد آینده پروژه تأثیرگذار هستند و

banihashemi@pnu.ac.ir

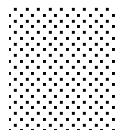
*. مربی، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.

** گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

mo.kzadeh@gmail.com

■ سید علی بنی‌هاشمی، نویسنده مسئول.

اطلاعات دقیق‌تری در جهت اجرای مؤثر پروژه، به مدیران و ذینفعان خواهند داد. همچنین عدم قطعیت در پیش‌بینی مدت زمان انجام فعالیت‌ها نیز تأثیر حدود ۳۵٪ بر تخمین هزینه انجام کار دارد.



مقدمه

گرفتن بازخورد از پروژه، فعالیتی مهم در راستای افزایش نرخ موفقیت پروژه می‌باشد. بازخوردهای دوره‌ای و هدفمند پروژه، مدیران پروژه را قادر به شناسایی زود هنگام مشکلات پروژه و انجام اقدامات اصلاحی در جهت حفظ زمان و هزینه پروژه می‌سازد. تکنیک مدیریت ارزش حاصله یکی از مؤثرترین روش‌های سنجش عملکرد و گرفتن بازخورد از پروژه، برای مدیران پروژه می‌باشد. این تکنیک، مدیریت با چراغ روشن نیز نامیده می‌شود، زیرا این روش بطور عینی و شفاف مشخص می‌سازد که پروژه در چه موقعیتی قرار دارد و به کجا می‌رود (در مقایسه با موقعیتی که قرار بوده آنجا باشد و قرار بوده به آنجا برود)^۱. مدیریت ارزش حاصله یک تکنیک مدیریتی برای مشاهده و بررسی عملکرد پروژه است. با توجه به تعریف مدیریت ارزش حاصله توسط مؤسسه مدیریت پروژه، اگر مفهوم مدیریت ارزش حاصله^۲ EVM به درستی مورد استفاده قرار گیرد، یک سیستم هشداردهنده مشکلات در پروژه را فراهم می‌کند. اندازه‌گیری عملکرد یک پروژه و کارایی مدیریت پروژه در این مفهوم، با سه معیار هزینه، زمان و دامنه در ارتباط است^۳. سیستم مدیریت ارزش حاصله اطلاعاتی اساسی و مهم را جمع‌آوری می‌کند و مدیران پروژه را قادر می‌سازد که پس از تکمیل کردن ۱۵ درصد از کار پروژه، پیش‌بینی‌های آماری مناسبی از نتایج پایانی پروژه داشته باشند. در واقع با استفاده از سیستم مدیریت ارزش حاصله، برای شناسایی مشکلات و وضعیت آینده پروژه، به پیشرفت زمانی پروژه تا حدود ۹۰ درصد نیازی نخواهد بود. چراکه پروژه‌ای که تا این حد پیشرفت کرده باشد، کار مناسبی در حل مشکلات بوجود آمده پروژه نمی‌توان انجام داد^۴. بنابراین به منظور به‌روزرسانی اطلاعات هزینه‌ای در یک زمان مناسب، مدیریت باید رویکردی مؤثر بکار گیرد. یکی از شاخص‌هایی که در مبحث مدیریت ارزش حاصله، آینده پروژه را از لحاظ هزینه‌ای پیش‌بینی می‌کند، هزینه انجام کار (EAC) است. این شاخص کلیه هزینه‌هایی که برای انجام کل کار مورد نیاز است، را پیش‌بینی می‌کند. این هزینه‌ها شامل همه موارد یک پروژه (زمان، کیفیت) می‌باشد.

۱. مهدوی مزده و همکاران، ۱۳۹۱.

2. Earned Value Management (EVM).

3. Moslemi N. & Salehipour, 2011.

4. Fleming & Koppelman, 2000.

در این پژوهش به منظور ارائه یک پیش‌بینی دقیق‌تر از برآورد هزینه انجام کار پروژه در طول زمان، علاوه بر دو عامل زمان و هزینه، دو عامل دیگر کیفیت و ریسک نیز در نظر گرفته شده است. ریسک یک پروژه، رویدادها یا وضعیت‌های ممکن‌الوقوع نامعلومی است که در صورت وقوع به صورت پیامدهای منفی یا مثبت بر اهداف پروژه تأثیر می‌گذارد. پیامد این رویدادها مستقیماً بر زمان، هزینه و کیفیت پروژه اثرگذار است. همچنین عامل کیفیت در پروژه شامل معیارها و شاخص‌هایی است که قابل قبول بودن فعالیت‌های پروژه را تأیید یا رد می‌کند. مردود شدن یک فعالیت از لحاظ کیفیت، هزینه‌های مجدد و تلف شدن زمان را در پی خواهد داشت.

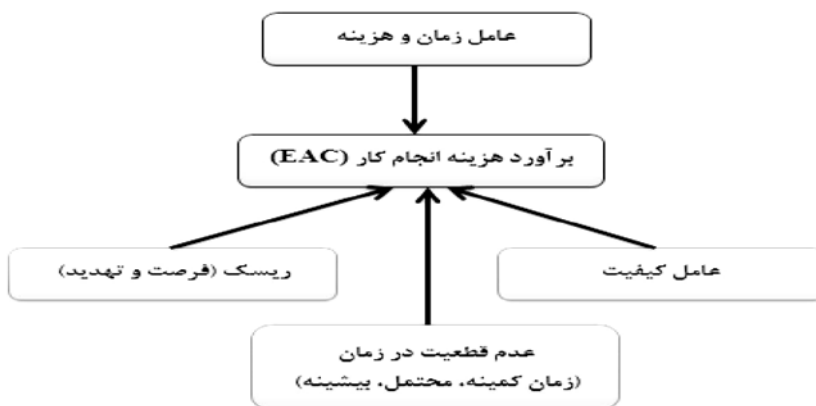
تحقیقاتی که تاکنون در زمینه مدیریت ارزش حاصله انجام گرفته، کمتر عوامل کیفیت و ریسک را در برآورد هزینه انجام کار لحاظ نموده‌اند. در این پژوهش تحلیل حساسیت میزان تأثیر هر کدام از عوامل کیفیت و ریسک‌های کلی پروژه بر برآورد هزینه انجام کار در حالت‌های مختلف عدم قطعیت در پیش‌بینی زمان (عامل سوم) انجام فعالیت‌های پروژه ارائه می‌شود.

این پژوهش با بررسی ادبیات و تعاریف مدیریت ارزش حاصله شروع می‌گردد. سپس تحقیقات انجام شده از سال‌های ۱۹۸۱ تا ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفته، و با توجه به ۲ شاخص روش تحقیق و معیارهای مورد تحقیق، طبقه‌بندی گردیده است. در ادامه فرمول‌های ارائه شده درخصوص برآورد هزینه انجام کار و ضریب عملکرد پروژه بیان می‌شود و با توجه به معیارهای مورد بررسی در پژوهش، حالت‌های مختلف فرمول تدوین می‌گردد. در نهایت با ارائه یک مثال عددی، تحلیل حساسیت پاسخ‌های به دست آمده از تخمین هزینه انجام پروژه در حالت‌های عدم قطعیت زمانی پروژه انجام خواهد گرفت.

۱. بیان مسئله و اهمیت موضوع

به منظور مدیریت و کنترل یکپارچه پروژه‌ها، گزارشات وضعیت و عملکرد آن‌ها باید جامع باشند و تمامی ارکان و محدودیت‌های موجود را در نظر بگیرند. مدیریت ارزش حاصله شیوه‌ای پر کاربرد در ارائه گزارشات عملکرد و کنترل وضعیت زمان، هزینه و محدوده پروژه‌ها است که فاکتور بسیار مهم و اساسی کیفیت را در معیارها و گزارشات لحظه به لحظه در نظر نمی‌گیرد. همین‌طور در EVM سنتی با نگاه به گذشته و پروژه‌های پیشین، وضعیت آینده پروژه و عدم قطعیت و تغییرپذیری در تک تک فعالیت‌ها و اجزای پروژه‌های واقعی

لحاظ نمی‌شود. از این رو در پژوهش حاضر معیارهای جدیدی به معیارهای پیشین EVM اضافه می‌کنیم تا در عین حفظ سادگی روش سنتی، مباحث مدیریت کیفیت، عدم قطعیت در زمان و مدیریت ریسک نیز با آن ترکیب شود. همانگونه که در پروژه‌ها مقید بودن به برنامه زمانی و هزینه‌ای و کنترل دقیق آن‌ها مهم است، کیفیت که فاکتور سوم مثلث محدودیت‌های پروژه است نیز باید لحاظ شده و تحت کنترل قرار گیرد تا خواست ذینفعان فراهم گردد و مدیران پروژه توانایی تشخیص هزینه و زمان هدررفت را داشته باشند و در تخمین‌ها تأثیر تغییراتی که در هزینه و زمان پروژه تحت تأثیر فاکتور کیفیت به وجود آمده را مد نظر قرار دهند. ذکر این موضوع ضروری است که عدم رعایت کیفیت نیز هزینه بی‌کیفیتی و دوباره کاری را به هزینه‌های نهایی پروژه اضافه می‌کند که این خود برنامه‌ریزی هزینه‌ای و زمانی پروژه را به هم می‌ریزد. از طرف دیگر، ریسک در فعالیت‌ها که بر هر سه حوزه زمان، هزینه و کیفیت می‌تواند تأثیرگذار باشد، در برآورد هزینه انجام کار، تغییرات محسوس و قابل توجهی برجای می‌گذارد. عامل سوم در محاسبات این پژوهش، عدم قطعیت در زمان انجام فعالیت می‌باشد. بنابراین در این پژوهش، حساسیت محاسبات مربوط به هزینه نهایی انجام کار با سه عامل کیفیت، ریسک و عدم قطعیت در زمان مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت تا نتایج به سمت پروژه‌های واقعی در عمل پیش رود. نمودار ۱ معیارهای تأثیرگذار بر برآورد هزینه انجام کار که محور اصلی این پژوهش می‌باشد، را نشان می‌دهد.



نمودار ۱- معیارهای تأثیرگذار بر برآورد هزینه انجام کار در پژوهش فعلی

- با توجه به توضیحات ارائه شده، در این پژوهش به دنبال پاسخ به سؤالات زیر خواهیم بود:
۱. در نظر گرفتن عامل کیفیت در پروژه‌ها، چه تأثیری بر تخمین برآورد هزینه انجام کار دارد؟
 ۲. در نظر گرفتن عامل ریسک در پروژه‌ها، چه تأثیری بر تخمین برآورد هزینه انجام کار دارد؟
 ۳. عدم قطعیت در پیش‌بینی زمان انجام هر فعالیت در پروژه‌ها، چه تأثیری بر تخمین برآورد هزینه انجام کار دارد؟
 ۴. حساسیت فرمول محاسبه برآورد هزینه انجام کار پروژه‌ها، با توجه به عوامل کیفیت، ریسک و عدم قطعیت زمانی در پیش‌بینی مدت زمان انجام هر فعالیت، به چه صورتی خواهد بود؟

۲. ادبیات تحقیق

۱. تعاریف و مفاهیم مدیریت ارزش حاصله

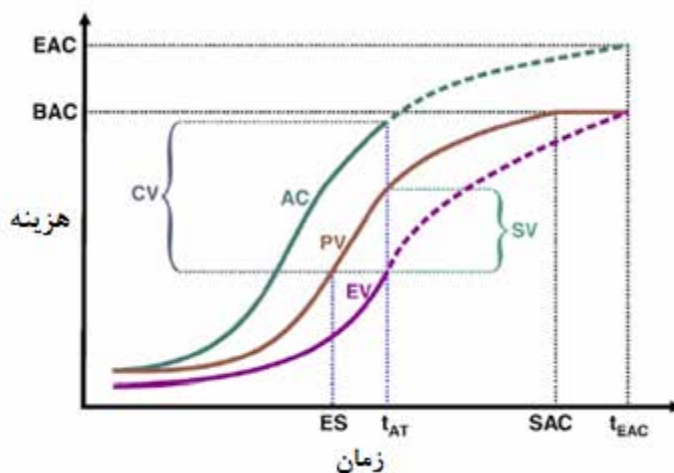
در سال ۱۹۶۷، مدیریت ارزش حاصله توسط مؤسسات دولتی آمریکا به عنوان بخش اصلی معیار سیستم‌های کنترل زمان‌بندی و هزینه معرفی گردید و به‌طور گسترده در پروژه‌های بزرگ دولتی مورد استفاده قرار گرفت. مدیریت ارزش حاصله بر پایه سه مفهوم اساسی، استوار می‌باشد: ارزش برنامه‌ای (PV) یا میزان هزینه پیش‌بینی شده (بودجه) لازم برای انجام کار به میزان زمان‌بندی شده تا لحظه مورد نظر، هزینه واقعی (AC) یا هزینه‌های واقعی صرف شده برای مقدار کاری که تا لحظه مورد نظر به انجام رسیده، و ارزش حاصله (EV) یا میزان بودجه مورد نیاز، برای انجام کار به مقداری که تا لحظه مورد نظر انجام یافته است.^۱ به منظور بررسی و تحلیل وضعیت فعلی پروژه و پیش‌بینی وضعیت آینده، از داده‌های ارزش برنامه‌ای، ارزش حاصله و هزینه‌های واقعی استفاده می‌شود. این تحلیل‌ها در سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند، که در جدول ۱ تشریح شده است.

نمودار ۲ تکامل ارزش‌های تجمعی PV، AC و EV را در زمان‌های متفاوت پیشرفت پروژه نشان می‌دهد. از آنجایی که انتظار می‌رود بیشترین تلاش‌ها در پروژه، اواسط چرخه عمر انجام می‌شود، نمودارها بصورت S-شکل می‌باشند.

1. Pajares & Paredes, 2011.

جدول ۱- معیارهای تحلیل مدیریت ارزش حاصله

پیش‌بینی‌ها	شاخص‌ها	انحرافات
برآورد زمان نهایی پروژه $EAC(t)$	شاخص کارایی زمان‌بندی $SPI = \frac{EV}{PV}$	انحراف زمان‌بندی $SV = EV - PV$
برآورد هزینه کار $EAC(t) = AC + ETC$	شاخص کارایی هزینه $CPI = \frac{EV}{AC}$	انحراف هزینه $CV = EV - AC$
برآورد بودجه مورد نیاز جهت تکمیل ETC	شاخص عملکرد تکمیل $TCPI = \frac{BAC - EV}{BAC - AC}$	انحراف در تکمیل $VAC = BAC - EAC$



نمودار ۲- ارزش تجمعی معیارهای مدیریت ارزش حاصله

۳. پیشینه تحقیق

کنترل و نظارت در پروژه‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برای مدیران پروژه برخوردار است. بررسی تحقیقات پیشین نشان می‌دهد، محققان بسیاری مانند کواچ^۱ و همکاران (۱۹۸۱)، برای و

1. Covach

هوارد^۱ (۱۹۸۱) و ریدل و چانس^۲ (۱۹۸۹) گام‌های اولیه را در جستجوی عوامل تأثیرگذار بر عملکرد پروژه برداشته‌اند، که هدف اصلی همه این محققان، بهبود نتایج موردانتظار در پروژه بوده است.

تکنیک مدیریت ارزش حاصله از اواخر دهه ۱۹۸۰ در آمریکا شکل گرفت. EVMS در جولای ۱۹۹۸ با ۳۲ معیار در انستیتوی استاندارد ملی آمریکا به عنوان استاندارد ANSI/EIA#748 ثبت شد. در دسامبر ۱۹۹۶ توسط وزارت دفاع آمریکا توسعه و بهبود اساسی یافت و در قالب استاندردی به نام سیستم مدیریت ارزش حاصله (EVMS) عرضه شد و با ۳۲ معیار به تصویب رسید. در سال ۱۹۹۸ مالکیت EVMS به بخش خصوصی انتقال یافت و در جولای ۱۹۹۸ در انستیتوی استاندارد ملی آمریکا به عنوان استاندارد ANSI/EIA#748 ثبت شد.^۳

در سال ۲۰۰۰ میلادی، مؤسسه مدیریت پروژه، مجموعه‌ای از اصطلاحات و مفاهیم ساده را در راهنمای دانش مدیریت پروژه قرار داد. لپکه و وانگهن^۴ (۲۰۰۰) مفهوم زمان‌بندی حاصله را برای اولین بار مطرح نمودند. در ادامه لپکه (۲۰۰۳، ۲۰۰۴) در جهت بهبود و تقویت تکنیک ارزش حاصله و خصوصاً استفاده از این تکنیک به منظور پیش‌بینی شرایط اتمام پروژه، تحقیقات گسترده‌ای انجام داد و ایده‌هایی برای استفاده از ابزارهای کنترل کیفیت برای شاخص‌های عملکردی ارائه نمود. نتایج تحقیقات وی موجب کاربردی‌تر شدن آن شده و امکان تشخیص زودهنگام و شرایط خارج از کنترل را تسهیل می‌نماید. هیلسون^۵ (۲۰۰۴) اثربخشی مدیریت ریسک را در تکنیک مدیریت ارزش حاصله مورد بررسی قرار داد و ارتباطی بین مدیریت ریسک و شاخص‌های CPI و SPI برقرار نمود. کوچتا^۶ (۲۰۰۵) عدم قطعیت در تکنیک ارزش حاصله را به صورت فازی بررسی و انجام داد. هاروی^۷ (۲۰۰۵) در مقاله خود برای محاسبه درصد پیشرفت پروژه، از مدل موجود در

1. Bright & Howard.

2. Riedel & Chance.

3. Guide PMBOK, 2005.

4. Lipke & Vaughn.

5. Hillson.

6. Kuchta.

7. Harvey.

روش ترافیک داده‌ها استفاده کرد. کیوفی^۱ (۲۰۰۶) در پژوهش خود که به منظور طراحی مدیریت پروژه بود، پس از بررسی شاخص‌های تکنیک ارزش حاصله، شاخص جدیدی ارائه کرده است. لیانگ^۲ (۲۰۰۶) با تحقیق بر روی روش ارزش حاصله، شاخصی را ارائه می‌دهد که بتوان پیشرفت پروژه را به‌طور مناسب‌تری پیگیری و مشاهده نمود. انبری^۳ (۲۰۰۳)، فلمینگ و کوپلمن (۲۰۰۵) و PMI (۲۰۰۵) جنبه‌های اصلی متدولوژی EVM و چگونگی بیان آن را توضیح دادند. کیم^۴ و همکاران (۲۰۰۳) طی پژوهشی دو ساله دریافتند که پذیرش و کاربرد EVM به‌طور قابل توجهی ارتقا یافته است و کاربران آن مشکلاتی از قبیل هزینه‌های گزاف و کاغذ بازی زیاد را گزارش نکرده‌اند. همینطور نتایج تحقیقات، استفاده از این روش را بدون تغییرات زیادی، برای پروژه‌ها با سایزها و انواع مختلف پیشنهاد کرده است.

واضح است که سلامت یک پروژه در سه بعد زمان، هزینه و کیفیت مورد بررسی قرار می‌گیرد. اما در شرایط موجود، این شاخص‌ها از اهمیت‌های متفاوتی برخوردار هستند. بررسی پیشینه تحقیق نشان می‌دهد که برخی محققان بر زمان به‌عنوان محور اصلی در پروژه‌ها تأکید کرده‌اند و برخی دیگر هزینه را یک معیار مهم در مدیریت پروژه می‌دانند. دسته سوم، معیارهای مؤثر دیگری را عملکرد مدیریت پروژه مورد بررسی قرار می‌دهند. زارنیگوسفکاه (۲۰۰۸) دقت روش مدیریت ارزش حاصله را در پیش‌بینی‌های هزینه‌ای پروژه بررسی نموده است. وی معتقد است روش مدیریت ارزش حاصله تنها یک روش پیش‌بینی زمان و هزینه در پروژه نیست، بلکه ابزاری جهت تسهیل نظارت و کنترل پروژه و در جهت مدیریت مؤثر آن است. پاچارس و لویزپارادس (۲۰۱۱) از روش مدیریت ریسک پروژه و مدیریت ارزش حاصله به کنترل و ارزیابی پروژه پرداخته‌اند. آن‌ها در مدل پیشنهادی خود از کارایی هزینه و زمان استفاده کرده و شاخص مدیریت ریسک را بر آن افزوده‌اند. مسلمی‌نائینی و صالحی‌پور (۲۰۱۱) در مقاله‌ای، یک روش جدید جهت شاخص‌های ارزش حاصله فازی ارائه داده‌اند. این روش ارائه شده شامل توسعه روش قبلی

1. Cioffi.

2. Liang.

3. Anbari.

4. Kim.

5. Czernigowska.

تحت شرایط فازی و ارزیابی آن با استفاده از مدل برش آلفا می‌باشد. الشار^۱ (۲۰۱۳) معتقد است که در مدیریت ارزش حاصله، روش مدیریت برنامه حاصله (ESM) به طور متوسط از دو روش مدت زمان حاصله (EDM) و ارزش برنامه‌ریزی (PVM) بهتر است. علی‌وردی^۲ و همکاران (۲۰۱۳) جهت تعیین انحرافات زمان و هزینه در چرخه عمر پروژه از نمودارهای کنترل کیفیت آماری استفاده کرده‌اند. آن‌ها حدود کنترل X و MR را برای شاخص‌های CPI و SPI محاسبه نمودند تا عملکرد شاخص‌های زمان و هزینه را در هشدارهای ایجاد شده، بهتر کنترل کنند. حاجی کاظمی^۳ و همکاران (۲۰۱۳) معتقدند که مؤثرترین روش جهت تشخیص هشدارهای پروژه و اقدام اصلاحی در زمان مناسب، به نوع پروژه، فرهنگ سازمانی و محیط پروژه وابسته است. آن‌ها در پژوهش خود ۱۴ روش (تحلیل ریسک، تجزیه و تحلیل ذینفعان، ارزیابی عملکرد، مدیریت ارزش حاصله، تحلیل ریسک علت و معلول و ...) را مورد بررسی قرار داده و آن‌ها را بر مبنای تجزیه و تحلیل نقاط قوت و ضعف مقایسه کرده‌اند. طبق نظر کارن^۴ و همکاران (۲۰۱۳)، پیش‌بینی‌ها در مدیریت پروژه، هسته مرکزی و اصلی است. برآورد تکمیل پروژه از نظر زمان و هزینه، اطلاعاتی اساسی به منظور هدایت و کنترل پروژه و همچنین اقدامات اصلاحی در زمان مناسب به مدیران پروژه می‌دهد. آن‌ها به منظور بهبود روند پیش‌بینی در پروژه، یک مدل بیزی را در چارچوب مدیریت ارزش حاصله با هدف محاسبه فاصله اطمینان جهت تخمین هزینه و زمان‌بندی در تمام پروژه ارائه داده‌اند. مدل پیشنهادی محققان بر پایه داده‌ها و نظرات کیفی کارشناسان پروژه استوار بوده و در پروژه‌های نفت و گاز تست شده است. کولین و وانهوک^۵ (۲۰۱۴) در پژوهش خود به بررسی رویکرد کنترل پروژه بالا به پایین و پایین به بالا پرداخته‌اند. در رویکرد کنترل پروژه بالا به پایین، سیستم کنترل پروژه براساس معیارهای عملکرد، به صورت یک دید کلی بررسی می‌گردد (بررسی فعالیت‌های کلی پروژه) و در رویکرد کنترل پروژه پایین به بالا، اطلاعات تفصیلی فعالیت‌ها در طول فرآیند کنترل پروژه مورد نیاز است. آن‌ها در این مقاله رویکرد جدیدی پیشنهاد نموده‌اند که عناصر هر دو رویکرد

-
1. Elshar
 2. Aliverdi
 3. Haji-Kazemi
 4. Caron
 5. Colin & Vanhoucke

کنترل پروژه را با استفاده از سیستم مدیریت ارزش حاصله ترکیب می‌کند. کولین و وانهوک (۲۰۱۵) برای فعالیت‌ها و موضوعات پروژه که تخمین زده می‌شوند، یک حدود کنترل آماری ارائه داده‌اند. آن‌ها در پژوهش خود از نمودارهای X و R در کنترل کیفیت آماری استفاده کرده و دو دیدگاه متفاوت را در این زمینه بیان می‌کنند. دیدگاه اول که کنترل فرآیند آماری بر مبنای کنترل پروژه است و دیدگاه دوم که کنترل پروژه آماری بر مبنای حدود تفرانس می‌باشد. داسون^۱ و همکاران (۲۰۱۵) ارزش حاصله کیفیت (QEV) را به عنوان بعد سوم مدیریت پروژه (زمان، هزینه، کیفیت) بررسی کرده‌اند. آن‌ها بیان می‌کنند هدف ارزش حاصله کیفیت، اندازه‌گیری توانایی پروژه جهت پاسخ به نیازمندی‌های تعریف شده توسط ذینفعان پروژه است. جدول ۲ اجزای ارزش حاصله کیفیت را در EVM بیان می‌کند.

جدول ۲- فرمول‌ها و تعاریف بعد کیفیت در مدیریت ارزش حاصله

شاخص‌ها	تعاریف	فرمول
نیازمندی‌های کیفیت (QR)	کیفیت مورد نیاز برای فعالیت تعریف شده است.	
شاخص عملکرد کیفیت (QPI)	کارایی فعالیت محول شده از نظر نیازمندی‌های کیفیت را محاسبه می‌کند.	زمانی که QR انجام گرفته باشد: $QPI = 1$ زمانی که QR انجام نگرفته باشد: $QPI = 0$
تعداد شاخص کیفیت (QIN)	این شاخص از تقسیم مجموع شاخص عملکرد کیفیت بر جمع تعداد نیازمندی‌های کیفیت یک فعالیت بدست می‌آید.	$QIN = \frac{\sum QPI}{\sum NQR}$ $1 QR = 1 NQR$
ارزش حاصله کیفیت (QEV)	ارزش حاصله را بر اساس هزینه‌های پولی محاسبه می‌کند.	زمانی که یک QR داشته باشیم: $QEV = QPI * AC$ زمانی که بیش از یک QR داشته باشیم: $QEV = QIN * AC$
تغییرات کیفیت (QV)	نشان‌دهنده کارایی کیفیت تجمعی پروژه است.	$QV = QEV - AC$

1. Dodson.

وانگک^۱ و همکاران (۲۰۰۶، ۲۰۱۷) برای اندازه‌گیری هزینه و زمان در پروژه، از طریق ارزش حاصله و کنترل فرآیندهای آماری، مدلی جدید ارائه می‌کنند. آن‌ها یکی از دلایل عدم اجرای دقیق و منظم پروژه‌ها را وجود حوادث غیرمنتظره در سطوح استراتژیکی و عملیاتی پروژه می‌دانند. آن‌ها از مدل پویایی‌شناسی سیستم جهت نظارت و کنترل پروژه با وجود عدم قطعیت در اجرا استفاده کرده‌اند. در این مدل، رفتار اختلالات پروژه و تأثیر آن بر اهداف کلی پروژه بررسی گردیده است. بنابراین آستانه اقدامات اصلاحی در سیستم‌های نظارت و کنترل پروژه باید طوری تعیین شود که از رفتار تشدیدکننده و اتلاف بیش از حد منابع جلوگیری نماید. جدول ۳ خلاصه پژوهش‌های انجام شده در سال‌های اخیر را در زمینه مدیریت ارزش حاصله بیان می‌کند.

جدول ۳- خلاصه برخی پژوهش‌های اخیر در حوزه مدیریت ارزش حاصله

معیارهای مورد بررسی	روش تحقیق	عنوان مقاله	سال	نام نویسندگان
زمان - هزینه	فازی	ارائه یک دیدگاه فازی بر روش مدیریت ارزش حاصله.	۲۰۱۴	Moslemi N. & et al.
زمان - هزینه	روش جدید مدیریت مدت زمان حاصله	مدیریت مدت زمان حاصله: یک رویکرد جدید جهت اندازه‌گیری و مدیریت عملکرد زمان‌بندی.	۲۰۱۴	Khamooshi & Golafshani
هزینه	مدل رگرسیون غیرخطی	ارائه یک مدل رگرسیونی مبتنی بر برنامه کسب‌شده برای بهبود برآورد هزینه انجام کار.	۲۰۱۴	Narbaev & De Marco
هزینه	شبکه‌های بیزی	تجزیه و تحلیل ریسک هزینه: روش شبکه‌های بیزی جهت مدل‌سازی وابستگی‌های بین اقلام هزینه.	۲۰۱۴	Khodakarami & Abdi
هزینه	شیوه‌های مدیریتی نظارت و کنترل	بهبود نظارت و کنترل هزینه از طریق سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده.	۲۰۱۴	Hunter & et al.
زمان - هزینه	توسعه سیستم پیچیده محصول	مدیریت ارزش کسب‌شده برای زمان‌بندی، نظارت و ارزیابی توسعه سیستم‌های پیچیده محصول.	۲۰۱۴	Magnaye & et al.

1. Wang

معیارهای مورد بررسی	روش تحقیق	عنوان مقاله	سال	نام نویسندگان
زمان	شبیه‌سازی و تحلیل مؤلفه‌های اصلی	یک رویکرد چندمتغیره برای کنترل پروژه از بالا به پایین با استفاده از مدیریت ارزش کسب شده.	۲۰۱۵	Colin & et al.
زمان - هزینه	شبیه‌سازی مونت کارلو و رگرسیون	تجزیه و تحلیل ارزش کسب شده احتمالی با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت کارلو و تکنیک‌های یادگیری آماری.	۲۰۱۵	Acebes & et al.
زمان - هزینه و شاخص‌های کلیدی (کیفیت، ایمنی، رضایت ذینفعان و سایر)	مدیریت ریسک	برآورد هزینه تکمیل: ادغام ریسک در مدیریت ارزش کسب شده.	۲۰۱۶	Babar & et al.
زمان	برنامه ریزی خطی و غیرخطی	برآورد مدت زمان نهائی و مدت زمان کسب شده پروژه.	۲۰۱۶	Warburton & Cioffi
زمان - هزینه	توسعه روش EVM سنتی و بررسی انحراف شاخص‌ها	توسعه مدیریت ارزش کسب شده با استفاده از متریک انگیزشی کسب شده برای بهبود کیفیت سیگنال.	۲۰۱۷	Kerkhove & Vanhoucke
زمان - هزینه	روش هموارسازی نمایشی در محاسبات ضرب عمکرد	بهبود دقت پیش‌بینی پروژه با ادغام روش مدیریت ارزش کسب شده و پیش‌بینی هموارسازی نمائی.	۲۰۱۷	Batselier & Vanhoucke

با توجه به بررسی پیشینه تحقیق، تاکنون بررسی بر روی برآورد هزینه انجام کار با تأکید بر هر سه معیار زمان، هزینه و کیفیت انجام نگرفته است که مبحث مدیریت ریسک و عدم قطعیت در زمان را نیز شامل شود. بنابراین در این پژوهش، برآورد EAC در پروژه با توجه به مدیریت ریسک و عدم قطعیت در زمان پیگیری می‌شود.

۴. برآورد هزینه انجام پروژه در مرحله تکمیل

پیش‌بینی، فرآیندی است که هدف آن، اطلاع از اتفاقات و شرایط آینده است. روابط EAC نیز اتفاقی در آینده که همان هزینه نهایی پروژه است را پیش‌بینی می‌کنند. طی سالیان متمادی، فرمول‌های زیادی برای تخمین نتایج پایانی پروژه ارائه شده است که از بین آن‌ها برخی از فرمول‌ها دارای اعتبار و کاربرد بیشتری هستند. فرمول پایه برای EAC به صورت زیر ارائه شده است.

$$EAC = AC + ETC \quad (1)$$

در این فرمول، AC نشان‌دهنده مقدار هزینه واقعی صرف شده در پروژه تا مقطع زمانی t و ETC مقدار بودجه مورد نیاز برای تکمیل پروژه می‌باشد. در تخمین هزینه پایانی پروژه، بیشتر بحث‌ها و فرمول‌های موجود به خاطر اختلاف نظر در روش تخمین بودجه مورد نیاز برای کارهای باقیمانده به وجود آمده‌اند. به‌طور کلی بودجه مورد نیاز برای تکمیل پروژه را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$ETC = \frac{BAC - EV}{RF} \quad (2)$$

در فرمول (۲)، BAC بیانگر کل بودجه مصوب پروژه، EV میزان ارزش حاصله تا مقطع زمانی t از پروژه و RF ضریب عملکرد پروژه می‌باشند. آنچه که در تخمین بودجه مورد نیاز برای تکمیل پروژه، بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرد، نحوه محاسبه عامل عملکرد پروژه (RF) است. برای محاسبه RF پنج فرمول به شرح زیر پیشنهاد شده است:

۱. عملکرد هزینه‌ای آینده براساس نرخ بودجه است، به عبارت دیگر، ضریب عملکرد پروژه ۱۰۰ درصد است:

$$RF = 100\%$$

۲. عملکرد هزینه‌ای آینده همانند عملکرد هزینه‌ای گذشته پروژه است:

$$RF = CPI = \frac{EV}{AC}$$

۳. عملکرد هزینه‌ای آینده همانند عملکرد هزینه‌ای سه مقطع زمانی گذشته پروژه است:

$$RF = CPI_{i,j,k} = \frac{EV_i + EV_j + EV_k}{AC_i + AC_j + AC_k}$$

$$RF = CPI * SPI$$

۴. عملکرد هزینه‌ای آینده منطبق با عملکرد هزینه جمعی و زمان‌بندی جمعی پروژه است:

$$RF = 0.8 CPI * 0.2 SPI$$

۵. عملکرد هزینه‌ای آینده منطبق با عملکرد هزینه جمعی و زمان‌بندی جمعی پروژه به صورت وزنی است:

با توجه به فرمول‌های ارائه شده، دو عامل ریسک و کیفیت نیز در ارزیابی عملکرد پروژه تأثیرگذار هستند و همچنین عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های زمان انجام فعالیت بر هزینه انجام کار مؤثر می‌باشد. یکی از ضعف‌های اصلی در سیستم مدیریت ارزش حاصله، اتکای آن به نظریه‌ای کلیدی است که عنوان می‌کند کارایی آینده پروژه توسط کارایی گذشته آن پیش‌بینی شود. شاخص‌های عملکردی محاسبه شده در ارزش حاصله برای پیش‌بینی آینده پروژه به کار رفته و نتایج نهائی پروژه را تخمین می‌زنند. به دلیل گذشته‌نگر بودن این شاخص‌ها و مشخص شدن آن‌ها براساس عملکرد گذشته پروژه، توجهی به سایر عوامل حاکم بر شرایط آینده پروژه نمی‌شود. این عوامل می‌تواند تا حد زیادی بر ضریب عملکرد پروژه تأثیر بگذارد. بنابراین ریسک یا عدم اطمینان از شرایط آینده پروژه هم شامل فرصت‌های مناسب و هم تهدیدات اساسی است که می‌تواند باعث ایجاد ابهامات و تغییراتی در عملکرد آینده پروژه شود.

ریسک‌های پروژه، موقعیت‌ها یا رویدادهایی هستند که در خارج از کنترل گروه کار پروژه (و یا ممکن است در کنترل گروه کاری پروژه) باشند، وجود دارند. در صورت وقوع اثر منفی و یا مثبت بر روی هزینه اجرای پروژه، برنامه زمان‌بندی و محدوده پروژه خواهند داشت. به عبارت دیگر ریسک، یک مشکل بالقوه می‌باشد که هنوز رخ نداده است. اکثر پروژه‌ها شامل ریسک‌هایی هستند ولی نمی‌توان آن‌ها را پیش‌بینی و مدیریت کرد! مدیریت ارزش حاصله و مدیریت ریسک هر دو سعی دارند تا تخمین نتایج آینده پروژه را بر پایه اطلاعاتی که اخیراً درباره پروژه بدست آمده است، پیش‌بینی کنند. مدیریت ارزش حاصله با استفاده از شاخص‌های کارایی هزینه، کارایی زمان‌بندی و کارایی کیفیت پروژه، این تخمین را به سمت واقعیت نزدیک می‌کند. با توجه به ضریب ریسک پروژه، می‌توان تخمین دقیق‌تری از نتایج آینده پروژه بدست آورد. برای محاسبه شاخص ریسک در پروژه، دو مقدار

احتمال وقوع ریسک و شدت ریسک تعیین می گردند. احتمال وقوع ریسک را می توان عددی در فاصله $(x, 1)$ مشخص کرد. بزرگ تر بودن عدد به معنای احتمال بالاتر وقوع ریسک می باشد. شدت تأثیر ریسک می تواند در سه بخش مثلث پروژه (هزینه ای، زمان بندی، کیفیت) بررسی گردد. با توجه به این که تأثیر ریسک در هر بخش، در دو قسمت فرصت و تهدید مورد بررسی قرار می گیرد، در قسمت فرصت ها تأثیر ریسک با عددی در بازه $(y+, 1)$ و در قسمت تهدیدها در بازه $(y-, -1)$ مشخص می شود. بنابراین حداکثر مقدار عددی هر ریسک که از حاصل ضرب احتمال وقوع در شدت تأثیر $(\theta = x.y)$ به دست می آید، عددی در بازه $(-\theta, +\theta)$ است. چنان چه فعالیتی در پروژه دارای تعداد n ریسک باشد، حداکثر مقدار ریسک برای آن فعالیت $n\theta$ خواهد بود. مقدار موجود ریسک در هر فعالیت نیز با جمع جبری اعداد ریسک در هر فعالیت به دست می آید (λ) که این مقدار عدد ریسک فعلی پروژه را نشان می دهد. مقدار λ نیز عددی در فاصله $(n\theta+, n\theta-)$ خواهد بود. نسبت دو عدد λ و θ ، نیز در بازه $(+1, -1)$ قرار می گیرد. مثبت بودن عدد نشان دهنده وجود فرصت در آن فعالیت و منفی بودن نشان دهنده تهدید در فعالیت است. صفر بودن نیز بیانگر آن است که در این فعالیت ریسکی موجود نیست. برای محاسبه شاخص ریسک کلی در پروژه و به جهت از بین بردن تأثیر عدد منفی، حاصل کسر فوق را با عدد یک جمع می کنیم. بنابراین مقدار ضریب ریسک پروژه از رابطه زیر حاصل می شود.

$$RI = 1 + \frac{\lambda}{\theta} \quad (3)$$

حاصل ضریب ریسک عددی در بازه صفر تا ۲ خواهد بود. اگر جمع جبری ریسک فعالیت ها (λ) برابر صفر باشد، حاصل رابطه (۳) برابر یک خواهد بود $(RI = 1)$ و این بدان معنی است که این پروژه دارای هیچگونه ریسکی نیست و عملکرد پیش بینی شده با دقتاً عملکرد گذشته منطبق است. مثبت بودن مقدار $(RI > 1)$ به این معنی است که فرصت هایی برای بهبود عملکرد آینده پروژه در مقایسه با گذشته وجود دارد و باعث می شود ضریب عملکرد پروژه افزایش یابد. منفی بودن مقدار $(RI < 1)$ از وجود تهدیدات در آینده پروژه هشدار می دهد و باعث کاهش ضریب عملکرد پروژه می شود و افزایش هزینه ها و زمان را در بر خواهد داشت. در زیر برآورد هزینه انجام کار با استفاده از ضرایب کارایی هزینه، کارایی زمان بندی، کارایی کیفیت و ضریب ریسک پروژه در هر مقطع زمانی محاسبه می شود.

$$EAC_{(C)} = AC + \frac{BAC - EV}{SPI * CPI * QIN * RI} \quad (۴)$$

این فرمول در مقایسه با فرمول‌های گذشته EAC دو تغییر عمده دارد. اول وارد شدن معیار کیفیت پروژه و دوم افزوده شدن شاخص ریسک پروژه. تغییرات QIN و RI در برآورد نهایی هزینه انجام کار تأثیر زیادی خواهد گذاشت. حال با توجه به عدم قطعیت در مدت زمان و هزینه انجام هر فعالیت، و تعیین میزان ریسک در مثلث پروژه، حدود کنترلی EAC تجزیه و تحلیل می‌گردد.

اگر در تخمین مدت زمان انجام فعالیت، a زمان کمینه، m زمان محتمل و b زمان بیشینه باشد، براساس روش PERT، زمان نرمال و واریانس آن از روابط زیر به دست می‌آیند:

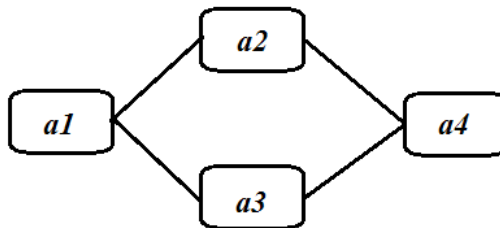
$$t_i = \frac{a_i + 4m_i + b_i}{6} \quad (۵)$$

$$v_i = \frac{(b_i - a_i)^2}{6} \quad (۶)$$

در ادامه با یک مثال، تخمین هزینه انجام کار با وجود عدم قطعیت در زمان، در حالت‌های مختلف محاسبه گردیده است.

مثال کاربردی

فرض کنید یک پروژه دارای ۴ فعالیت با شبکه زیر و اطلاعات داده شده در جدول ۴ باشد. ریسک هر فعالیت (شامل ریسک زمان، هزینه و کیفیت)، نیز براساس محاسبات رابطه (۳) به دست آمده است. جدول ۵ مقادیر θ و λ را برای فعالیت‌های پروژه نشان می‌دهد.



نمودار ۳- شبکه فعالیت در پروژه

جدول ۴- مشخصات پروژه

هزینه کل فعالیت			هزینه پیش بینی (روز)	مدت زمان فعالیت			پیش نیاز	فعالیت
بیشینه	محتمل	کمینه		بیشینه	محتمل	کمینه		
۵۶۰	۳۲۰	۱۶۰	۸۰	۷	۴	۲	-	a1
۶۰۰	۳۶۰	۱۲۰	۱۲۰	۵	۳	۱	a1	a2
۵۴۰	۴۵۰	۱۸۰	۹۰	۶	۵	۲	a1	a3
۴۰۰	۲۵۰	۱۵۰	۵۰	۸	۵	۳	a2,a3	a4

جدول ۵- ریسک فعالیت‌های پروژه

فعالیت	کد ریسک	احتمال وقوع	شدت تأثیر	مقدار θ	مقدار λ	مقدار RI
a1	R1	۲	+۳	۵۰	+۸	۱/۱۶
	R2	۲	+۱			
a2	R3	۳	-۳	۵۰	-۱۷	۰/۶۶
	R4	۴	-۲			
a3	R5	۴	-۱	۵۰	-۸	۰/۸۴
	R6	۱	-۴			
a4	R7	۵	+۱	۷۵	-۶	۰/۹۲
	R8	۳	-۵			
	R9	۲	+۲			

احتمال وقوع ریسک براساس اعداد ۱ تا ۵ (دور از دسترس، غیرمحتمل، محتمل، بسیار محتمل، نزدیک به قطعیت) و شدت تأثیر بین ۵- تا ۵+ (تهدید، فرصت) تعیین شده‌اند. با توجه به مطالب بیان شده در مبحث کیفیت پروژه، معیارهای مورد بررسی و امتیاز آن‌ها نیز براساس جدول ۲، به شرح زیر طبقه‌بندی شده‌اند.

جدول ۶. معیارهای کیفیت فعالیت‌های پروژه

فعالیت	کد معیار کیفیت	بازه هدف	QPI	QIN
a1	Q1	(۱,۳)	۱	$\frac{\sum QPI}{2}$
	Q2	(۷,۵,۶,۵)	۱	
a2	Q3	(۱۳,۱۰)	۱	$\frac{\sum QPI}{2}$
	Q4	(۱۰۷,۱۰۵)	۱	
a3	Q5	> ۵	۱	$\frac{\sum QPI}{2}$
	Q6	< ۲	۱	
a4	Q7	(۹,۵)	۱	$\frac{\sum QPI}{3}$
	Q8	> ۲۱۷	۱	
	Q9	(۲,۱,۵)	۱	

اطلاعات پروژه در پایان روز پنجم از شروع پروژه، که شامل میزان پیشرفت فعالیت‌ها، هزینه واقعی هر فعالیت، مدت زمان واقعی هر فعالیت و وضعیت کیفیت هر فعالیت به شرح جدول ۷ داده شده است:

جدول ۷- اطلاعات پروژه در پایان روز پنجم

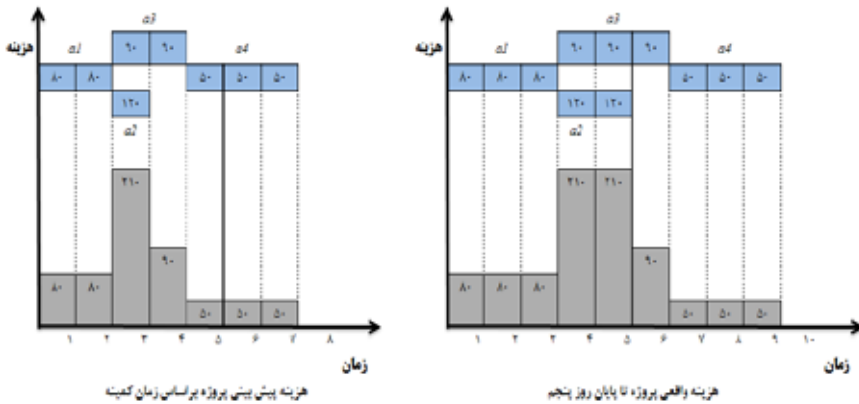
فعالیت	مدت زمان	هزینه فعالیت	میزان پیشرفت	عدد معیار کیفیت
a1	۳	۲۴۰	%۱۰۰	Q1 = ۲ Q2 = ۷/۵
a2	۲	۲۴۰	%۱۰۰	Q3 = ۱۴ Q4 = ۱۰۶
a3	۲	۱۸۰	%۶۶/۶	Q5 = ۵/۵ Q6 = ۲/۵
a4	۰	۰	۰	-

با توجه به اطلاعات داده شده، زمان نرمال و واریانس آن در هر فعالیت با استفاده از روش پرت و روابط (۵) و (۶)، محاسبه می‌گردد.

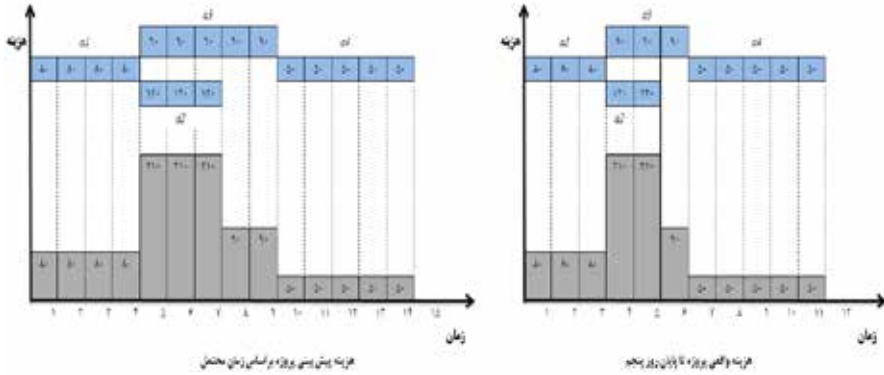
جدول ۸- محاسبات زمان و هزینه به روش PERT

فعالیت	زمان نرمال	واریانس زمان نرمال	هزینه نرمال کل فعالیت
a1	۴/۱۶	۴/۱۶	۳۳۳/۳
a2	۳	۲/۶	۳۶۰
a3	۴/۶	۲/۶	۴۲۰
a4	۵/۱۶	۴/۱۶	۲۵۸/۳

پیش‌بینی هزینه‌ها در سه مرحله انجام شده است. پیش‌بینی با استفاده از زمان کمینه فعالیت‌ها، پیش‌بینی براساس زمان محتمل و پیش‌بینی بر مبنای زمان بیشینه فعالیت‌ها. بنابراین هزینه پیش‌بینی پروژه (PV) در هر کدام از حالت‌ها متفاوت خواهد بود. با استفاده از اطلاعات پیشرفت پروژه، فعالیت‌های اول و دوم، به صورت صددرصد تکمیل شده‌اند و ۶۶/۶٪ فعالیت سوم نیز انجام گرفته است. با توجه به اینکه در پایان روز پنجم از پروژه قرار داریم، پیش‌بینی ادامه پروژه نیز براساس عدم قطعیت زمان (کمینه، محتمل، بیشینه) در سه حالت محاسبه می‌گردد. نمودارهای ۴ و ۵ و جداول ۹ تا ۱۱، محاسبات مربوط به مدیریت ارزش حاصله و شاخص‌های SPI و CPI را نشان می‌دهند.



نمودار ۵- هزینه پیش‌بینی و واقعی پروژه براساس زمان کمینه



نمودار ۵- هزینه پیش‌بینی و واقعی پروژه براساس زمان محتمل

جدول ۹- محاسبات EVM براساس زمان کمینه

زمان جاری پروژه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
PV	۸۰	۱۶۰	۳۷۰	۴۶۰	۵۱۰	۵۶۰	۶۱۰	-	-
EV	۵۳/۵	۱۰۷	۱۶۰/۵	۲۸۰/۵	۴۰۰/۵				
AC	۸۰	۱۶۰	۲۴۰	۴۵۰	۶۶۰				
SPI	%۶۶	%۶۲	%۴۳	%۶۰	%۷۸				
CPI	%۶۶	%۶۶	%۶۶	%۶۲	%۶۰				

جدول ۱۰- محاسبات EVM براساس زمان محتمل

زمان جاری پروژه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
PV	۸۰	۱۶۰	۲۴۰	۳۲۰	۵۳۰	۷۴۰	۹۵۰	۱۰۴۰	۱۱۳۰	۱۱۸۰	۱۲۳۰	۱۲۸۰	۱۳۲۰	۱۳۸۰
EV	۱۰۶/۶	۲۱۳/۲	۳۱۹/۸	۴۴۹/۸	۹۷۹/۸									
AC	۸۰	۱۶۰	۲۴۰	۴۵۰	۶۶۰									
SPI	%۱۳۳	%۱۳۳	%۱۳۳	%۲۰۳	%۱۸۴									
CPI	%۱۳۳	%۱۳۳	%۱۳۳	%۱۴۴	%۱۴۸									

جدول ۱۱- محاسبات EVM براساس زمان بیشینه

زمان جاری پروژه	PV	EV	AC	SPI	CPI
۱	۸۰	۱۸۶/۶	۸۰	٪۲۳۳	٪۲۳۳
۲	۱۶۰	۳۷۳/۲	۱۶۰	٪۲۳۳	٪۲۳۳
۳	۲۴۰	۵۵۹/۸	۲۴۰	٪۲۳۳	٪۲۳۳
۴	۳۲۰	۷۴۶/۴	۴۵۰	٪۲۳۳	٪۱۶۵
۵	۴۰۰	۹۳۳	۶۶۰	٪۲۳۳	٪۱۴۱
۶	۴۸۰				
۷	۵۶۰				
۸	۷۷۰				
۹	۹۸۰				
۱۰	۱۱۹۰				
۱۱	۱۴۰۰				
۱۲	۱۶۱۰				
۱۳	۱۷۰۰				
۱۴	۱۷۵۰				
۱۵	۱۸۰۰				
۱۶	۱۸۵۰				
۱۷	۱۹۰۰				
۱۸	۱۹۵۰				
۱۹	۲۰۰۰				
۲۰	۲۰۵۰				
۲۱	۲۱۰۰				

با توجه به محاسبات مربوط به مدیریت ارزش حاصله در زمان‌های کمینه، محتمل و بیشینه، برآورد هزینه انجام کار با توجه به هر چهار پارامتر زمان، هزینه، کیفیت و ریسک، به شرح ذیل بدست می‌آید. شاخص ریسک که بیان‌کننده ریسک فعالیت‌ها از نظر زمان، هزینه و کیفیت می‌باشد، بر روی عملکرد کلی پروژه و تخمین هزینه انجام کار تأثیر دارد. اگر براساس زمان کمینه فعالیت‌ها، محاسبات را بررسی کنیم، ریسک زمان و همچنین هزینه افزایش خواهد یافت. در زمان بیشینه فعالیت‌ها نیز برعکس عمل خواهد کرد. بنابراین داریم:

$$RI < 1$$

۱. زمان کمینه فعالیت‌ها

$$RI \cong 1$$

۲. زمان محتمل فعالیت‌ها

$$RI > 1$$

۳. زمان بیشینه فعالیت‌ها

همچنین براساس اطلاعات محاسبه شاخص‌های کیفیت داده شده در جدول ۷، معیارهای کیفیت Q3 و Q6 خارج از حدود کنترل و هدف می‌باشند و بنابراین مقدار QIN فعالیت‌های a1، a2 و a3 به ترتیب ۱، ۰/۵ و ۰/۵ خواهد شد.

با توجه به اطلاعات داده شده در مثال و محاسبات صورت گرفته، مقادیر پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه هزینه انجام پروژه در پایان روز پنجم به صورت زیر خواهد بود:

جدول ۱۲- مقادیر پارامترها

AC	a1	a2	a3	$\sum AC$
	۲۴۰	۲۴۰	۱۸۰	۶۶۰
$BAC = \sum PV$	زمان کمینه	زمان محتمل	زمان بیشینه	$\overline{BAC} = \frac{\sum BAC}{3}$
	۶۱۰	۱۳۸۰	۲۱۰۰	۱۳۶۳,۳۴
EV	زمان کمینه	زمان محتمل	زمان بیشینه	$\overline{EV} = \frac{\sum EV}{3}$
	۴۰۰/۵	۹۷۹/۸	۹۳۳	۷۷۱/۱
$\overline{SPI} = \frac{\sum SPI}{5}$	زمان کمینه	زمان محتمل	زمان بیشینه	$\overline{SPI} = \frac{\sum SPI}{3}$
	٪۶۱/۸	٪۱۵۷/۴	٪۲۳۳	٪۱۵۰/۷
$\overline{CPI} = \frac{\sum CPI}{5}$	زمان کمینه	زمان محتمل	زمان بیشینه	$\overline{CPI} = \frac{\sum CPI}{3}$
	٪۶۴	٪۱۳۸/۲	٪۲۰۱	٪۱۳۴/۴
QIN	a1	a2	a3	$\overline{QIN} = \frac{\sum QIN}{3}$
	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۶۷
RI	a1,a2	a3	a4	$\overline{RI} = \frac{\sum RI}{2}$
	-	۰/۸۴	۰/۹۲	۰/۸۸

معیارهای مختلف جدول ۱۳، محاسبات هزینه انجام کار را براساس عوامل مختلف محاسبه کرده است.

جدول ۱۳- تحلیل حساسیت برآورد هزینه انجام کار

مقدار EAC(5)			فرمول محاسبه	عوامل مورد بررسی
زمان بیشینه	زمان محتمل	زمان کمینه		
۹۰۹/۳۵	۸۴۵/۲۷	۱۱۹۷/۱۷	$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI * SPI}$	عامل زمان و هزینه
۹۴۳/۲۵	۸۷۰/۶۳	۱۲۷۶/۱۷	$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI * SPI * RI}$	عامل زمان و هزینه - ریسک
۱۰۳۲/۸۴	۹۳۶	۱۴۶۵/۷۶	$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI * SPI * QIN}$	عامل زمان و هزینه - کیفیت
۱۰۸۲/۸۲	۹۷۵/۱۱	۱۵۷۰/۸۶	$EAC = AC + \frac{BAC - EV}{CPI * SPI * QIN * RI}$	عامل زمان و هزینه - کیفیت، ریسک

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۱۳ درمی یابیم، عدم قطعیت در زمان بر روی مقدار پارامتر EAC تأثیر قابل توجهی داشته و حدود ۳۰ درصد از مقدار میانگین برآورد هزینه انجام کار (زمان محتمل) تغییر می کند. همچنین عوامل کیفیت، ریسک و هر دو به صورت توأمان نیز حدود ۲۰ درصد باعث افزایش هزینه ها خواهند شد. شاخص عملکرد که در مخرج کسر قرار دارد، براساس معیارهای ریسک و کیفیت، از ۳۹٪ به ۲۳٪ در زمان کمینه، از ۲۱۶٪ به ۱۲۷٪ در زمان محتمل و از ۴۶۸٪ به ۲۷۶٪ در زمان بیشینه تغییر می کند، که دقیقاً با کاهش ۴۱ درصدی در هر سه زمان (کمینه، محتمل و بیشینه) همراه بوده است.

نتیجه گیری و پیشنهادها

برای برنامه ریزی بهتر و مؤثرتر در مدیریت پروژه، باید پروژه ها همواره تحت کنترل مناسب بوده و براساس برخی شاخص های تعریف شده، مورد پایش قرار گیرند و از طریق تحلیل نتایج بدست آمده، درخصوص ادامه پروژه تصمیم گیری نمایند. این پژوهش با هدف

کمک به مدیران جهت ارزیابی و پیش‌بینی دقیق‌تر هزینه انجام پروژه با استفاده از روش EVM انجام شده است. چراکه پیش‌بینی هزینه انجام پروژه در هر مقطع زمانی از پروژه، برای مدیران پروژه و سایر ذینفعان، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سه عامل هزینه، زمان و کیفیت که به عنوان مثلث پروژه تعریف می‌شوند، از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پروژه هستند. این عوامل بر روی تخمین هزینه انجام پروژه (EAC) در هر بازه زمانی از شروع پروژه، نیز تأثیر قابل توجهی دارند. در این پژوهش، چهار عامل که بر محاسبات برآورد هزینه انجام کار مؤثر هستند، بررسی شده‌اند. این چهار عامل تحت شاخص ضریب عملکرد پروژه، آینده پروژه را پیش‌بینی می‌کنند. این چهار عامل عبارتند از هزینه (شاخص عملکرد هزینه‌ای)، زمان (شاخص عملکرد زمان‌بندی)، کیفیت (شاخص عملکرد کیفیت) و ریسک (شاخص عملکرد ریسک). نتایج پژوهش نشان داد که به کارگیری هر چهار عامل به صورت توأمان با هم، نتایج دقیق‌تری از هزینه انجام پروژه را در بر خواهد داشت. ترکیب این چهار عامل به عنوان ضریب عملکرد پروژه، باعث تغییرات هزینه‌ای تا ۴۰ درصد می‌شوند. عموماً مدیران پروژه در انجام پروژه‌ها، به دو عامل هزینه و زمان، دقت بیشتری دارند، حال آنکه دو عامل دیگر (ریسک و کیفیت) نیز هم از نظر زمانی و هم از نظر هزینه‌ای، عملکرد پروژه را تحت تأثیر قرار می‌دهند. از طرف دیگر، عدم قطعیت در پیش‌بینی مدت زمان انجام فعالیت‌های پروژه، نیز باعث بروز تغییرات زیادی بر برآورد EAC خواهد شد، به طوری که می‌تواند حدود ۳۵٪ بر افزایش تخمین هزینه انجام کار پروژه مؤثر باشد. تمامی اطلاعات ارائه شده در این پژوهش، راهنمای بسیار خوبی برای راهبران پروژه‌ها می‌باشد تا بتوانند پروژه‌های مد نظر خود را به درستی و مطلوبیت بالا کنترل، نظارت و ارزیابی نمایند.

در ادامه این پژوهش، پژوهشگران می‌توانند معیارهای دیگر تأثیرگذار بر پروژه (رضایت ذینفعان، ایمنی و سلامت پروژه، شاخص‌های زیست‌محیطی و ...) را شناسایی کنند و میزان تأثیر آن‌ها را بر ارزیابی و پیش‌بینی هزینه انجام پروژه شناسایی نمایند. همچنین ارزیابی عدم قطعیت در هزینه و زمان انجام فعالیت‌ها به وسیله سایر روش‌های شبیه‌سازی مانند روش مونت کارلو، می‌تواند راه‌گشای مدیران در برآوردها و پیش‌بینی‌ها گردد.

منابع

فلسفی، رضا و احمدعلی یزدان‌پناه و سید بدرالدین احمدی و لوزا احمدی (۱۳۹۱)؛ طبقه‌بندی شاخص‌های کلیدی در تبیین الگوی منشور پروژه برای مدیریت پروژه‌های شهری، فصلنامه مدیریت شهری، ش ۳۰، صص ۲۳۸-۲۲۳.

مهدوی مزده، محمد و مرتضی باقرپور و آزاده صوفی‌پور (۱۳۹۱)؛ بررسی اثر متغیرهای کیفی در پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه، مجله علمی و پژوهشی کیفیت و بهره‌وری در صنعت برق ایران، سال اول، ش دوم، صص ۳۷-۲۹.

Acebes, F., Pereda, M., Poza, D., Pajares, J., & Galán, J. M. (2015), Stochastic Earned Value Analysis Using Monte Carlo Simulation and Statistical Learning Techniques, *International Journal of Project Management*, 33(7), pp.1597-1609.

Anbari, F. T. (2003), Earned Value Project Management Method and Extensions, *Project management journal*, 34(4), pp.12-23.

Aliverdi, R., Naeni, L. M., & Salehipour, A. (2013), Monitoring Project Duration and Cost in a Construction Project by Applying Statistical Quality Control Charts, *International Journal of Project Management*, 31(3), pp.411-423.

Babar, S., Thaheem, M. J., & Ayub, B. (2016), Estimated Cost at Completion: Integrating Risk into Earned Value Management, *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(3), pp.04016104.

Batselier, J., & Vanhoucke, M. (2017), Improving Project Forecast Accuracy by Integrating Earned Value Management with Exponential Smoothing and Reference Class Forecasting, *International Journal of Project Management*, 35(1), pp 28-43.

Bright, H., & Howard, T. (1981), 'Weapon System Cost Control: Forecasting Contract Completion Costs, Comptroller/Cost Analysis Division, US Army Missile Command, Redstone Arsenal, Alabama.

Caron, F., Ruggeri, F., & Merli, A. (2013), A Bayesian Approach to Improve Estimate at Completion in Earned Value Management, *Project Management Journal*, 44(1), pp 3-16.

Cioffi, D. F. (2006). Designing Project Management: A Scientific Notation and an Improved Formalism for Earned Value Calculations, *International Journal of Project Management*, 24(2), 136-144.

Covach, J., Haydon, J. J., & Reither, R. O. (1981), A Study to Determine Indicators and Methods to Compute Estimate at Completion (EAC), Virginia: *ManTech International Corporation*, 30.

Colin, J., & Vanhoucke, M. (2015). A Comparison of the Performance of Various Project Control Methods Using Earned Value Management Systems. *Expert Systems with Applications*, 42(6), pp 3159-3175.

Colin, J., & Vanhoucke, M. (2014). Setting Tolerance Limits for Statistical Project Control

- Using Earned Value Management, *Omega*, 49, pp. 107-122.
- Colin, J., Martens, A., Vanhoucke, M., & Wauters, M. (2015), A Multivariate Approach for Top-Down Project Control Using Earned Value Management, *Decision Support Systems*, 79, 65-76.
- Czernigowska, A. (2008), Earned Value Method as a Tool for Project Control, *Budownictwo i Architektura*, 3, pp. 15-32.
- Dodson, M., Defavari, G., & de Carvalho, V. (2015), Quality: the Third Element of Earned Value Management, *Procedia Computer Science*, 64, pp 932-939.
- Elshaer, R. (2013), Impact of Sensitivity Information on the Prediction of Project's Duration Using Earned Schedule Method, *International Journal of Project Management*, 31(4), pp. 579-588.
- Fleming, Q. W., & Koopelman, J. M. (2000), *Earned Value Project Management*, Project Management Institute.
- Guide, P.M.B.O.K. (2004), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, In Project Management Institute (Vol. 3).
- Haji-Kazemi, S., Andersen, B., & Krane, H. P. (2013), A review on Possible Approaches for Detecting Early Warning Signs in Projects, *Project Management Journal*, 44(5), pp. 55-69.
- Harvey, R. J. (2005), *Data Traffic as an Indicator of Project Progress: Earned Information*. *VDI BERICHTE*, 1925, 61.
- Hillson, D. (2004), Earned Value Management and Risk Management: A Practical Synergy. In PMI 2004 Global Congress Proceedings (pp. 1-7).
- Hunter, H., Fitzgerald, R., & Barlow, D. (2014), Improved Cost Monitoring and Control Through the Earned Value Management System, *Acta Astronautica*, 93, pp. 497-500.
- Khamooshi, H., & Golafshani, H. (2014). EDM: Earned Duration Management, A New Approach to Schedule Performance Management and Measurement, *International Journal of Project Management*, 32(6), pp. 1019-1041.
- Khodakarami, V., & Abdi, A. (2014), Project Cost Risk Analysis: A Bayesian Networks Approach for Modeling Dependencies Between Cost Items, *International Journal of Project Management*, 32(7), pp. 1233-1245.
- Kerkhove, L. P., & Vanhoucke, M. (2017), Extensions of Earned Value Management: Using the Earned Incentive Metric to Improve Signal Quality, *International Journal of Project Management*, 35(2), 148-168.
- 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), pp. 375-382.
- Kuchta, D. (2005), Fuzzyfication of the Earned Value Method, *WSEAS Transactions on Systems*, 4(12), pp. 2222-2229.
- Liang, C. (2006). Research on Earned Value Method for Software Project Tracking,

- Computer Engineering*, 32(15), pp. 70-74.
- Lipke, W. (2003), Schedule is Different, *The Measurable News*, 31(4), pp. 31-34.
- Lipke, W. (2004), The Probability of Success, *The Journal of Quality Assurance Institute*, pp. 14-21.
- Lipke, W., & Vaughn, J. (2000), Statistical Process Control Meets Earned Value. *CrossTalk: The Journal of Defense Software Engineering*, 13.
- Magnaye, R., Sauser, B., Patanakul, P., Nowicki, D., & Randall, W. (2014), Earned Readiness Management for Scheduling, Monitoring and Evaluating the Development of Complex Product Systems, *International Journal of Project Management*, 32(7), pp. 1246-1259.
- Moslemi Naeni, L., Shadrokh, S. & Salehipour, A. (2014), A Fuzzy Approach for the Earned Value Management, *International Journal of Project Management*, 32, pp. 709-716.
- Moslemi Naeni, L., & Salehipour, A. (2011), Evaluating Fuzzy Earned Value Indices and Estimates by Applying Alpha Cuts, *Expert systems with Applications*, 38(7), pp. 8193-8198.
- Narbaev, T., & De Marco, A. (2014), An Earned Schedule-Based Regression Model to Improve Cost Estimate at Completion, *International Journal of Project Management*, 32(6), pp. 1007-1018.
- 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), pp. 615-621.
- Project Management Institute. (2005). *Practice Standard for Earned Value Management*. Project Management Institute, Incorporated.
- Riedel, M., & Chance, J. (1989). Estimates at Completion (EAC): A Guide to Their Calculation and Application for Aircraft, Avionics, and Engine Programs. Aeronautical Systems Division, Wright-Patterson Air Force Base, OH.
- Warburton, R. D., & Cioffi, D. F. (2016), Estimating a Project's Earned and Final Duration. *International Journal of Project Management*, 34(8), pp. 1493-1504.
- Wang, Q., Jiang, N., Gou, L., Che, M., & Zhang, R. (2006, May), *Practical Experiences of Cost/schedule Measure Through Earned Value Management and Statistical Process Control*. In *Software Process Workshop* (pp. 348-354). Springer, Berlin, Heidelberg
- Wang, L., Kunc, M., & Bai, S. J. (2017). Realizing Value from Project Implementation Under Uncertainty: An Exploratory Study Using System Dynamics, *International Journal of Project Management*, 35(3), pp.341-352.