ارایه‌ی رویکردی نوین برای کنترل آماری پروژه با استفاده از تحلیل ریسک یکپارچه هزینه-زمان‌بندی

سیامک نوری*
سیدطه‌حسین مرتجی**

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۰
تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۶/۰۱

چکیده:

نیاز به مفاهیم و روش‌های کاراتر در مدیریت پروژه یکی از مهم‌ترین عواملی است که در سالیان اخیر منجر به توسعه‌وتدوین استانداردها، پیکره‌های دانش، و روش‌شناسی‌های بین‌المللی متعددی در این زمینه شده است. مدیریت ارزش کسب‌شده یکی از این روش‌هاست که با ارایه‌ی شاخص‌های متعدد، عملکرد هزینه‌ای و زمانی پروژه‌ها را مورد سنجش قرار می‌دهد. در سالیان اخیر، استفاده از فنون آماری برای پایش عملکرد شاخص‌های مدیریت ارزش کسب‌شده مد نظر محققان و دست‌اندرکاران پروژه‌ها بوده است. با این حال، تقریبا تمامی این روش‌ها، فنون آماری را بدون در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص پروژه‌ها، به شکل سنتی مورد استفاده قرار داده‌اند. این در حالی است که این فنون اساسا برای کنترل فرایندهایی توسعه یافته‌اند که از لحاظ ماهیتی تفاوت‌های بسیاری با پروژه‌ها دارند. این امر سبب شده است تا تحلیل‌های حاصل از این روش‌ها نادرست بوده و منجر به تصمیمات اشتباه گردد. در این مقاله رویکردی نوین برای کنترل آماری پروژه ارایه شده است که با استفاده از تحلیل ریسک یکپارچه هزینه-زمان‌بندی، ویژگی‌های خاص پروژه را مدنظر قرار می‌دهد. برای بررسی عملکرد رویکرد ارایه شده، از یک شبیه‌سازی گسترده استفاده شده است که تمامی حالات ممکن را دربر می‌گیرد. همان‌طور که انتظار می‌رفت، نتایج بررسی عملکرد حاکی از توانایی نمودار ارایه شده در شناسایی تغییرات عملکرد، و اجتناب از صدور هشدارهای اشتباه است.

واژگان کلیدی:
تحلیل ریسک، مدیریت ارزش، کنترل آماری

۱. مقدمه

حرکت سریع سازمان‌ها به سمت کسب و کارهای مبتنی بر پروژه خالی از ریسک نبوده است، به‌طوری‌که درصد بالایی از پروژه‌ها در تحویل به موقع و مطابق بودجه، و همچنین تامین سطح کیفیت مورد انتظار، شکست می‌خورند. گروه مشاوره استندیش[1] که یکی از شرکت‌های پیشرو در امر مشاوره مدیریت پروژه می‌باشد، این نرخ شکست را بیش از ٪۷۰ برآورد کرده است، بدین معنی که بیش از ٪۷۰ پروژه‌ها در برآوردن نیازهای ذی‌نفعان خود دچار مشکل می‌شوند. برای جلوگیری از شکست پروژه‌ها و کمک به بهبود آن‌ها در برآورده‌کردن محدودیتهای پروژه از قبیل کیفیت، هزینه و زمان، در سال‌های اخیر استانداردها، پیکره‌های دانش و روش‌شناسی‌های متفاوتی توسعه‌یافته یا درحال توسعه‌اند. از جمله استانداردهای بین‌المللی تدوین شده در حوزه مدیریت پروژه می‌توان به ایزو ۲۱۵۰۰:۲۰۱۲، ایزو ۲۱۵۰۴:۲۰۱۵، ایزو ۲۱۵۰۵:۲۰۱۷ اشاره کرد. همچنین استانداردهای بین‌المللی متعددی نیز مانند ایزو ۲۱۵۰۳، ایزو ۲۱۵۰۶، ایزو ۲۱۵۰۸، ایزو ۲۱۵۱۰، و ایزو ۲۱۵۱۱ در حال تدوین هستند. مهم‌ترین پیکره دانش تدوین شده در حوزه مدیریت پروژه، با نام "پیکره دانش مدیریت پروژه" نیز تا کنون پنج بار مورد بازنگری قرار گرفته و ویرایش ششم آن در سه ماهه آخر سال ۲۰۱۷ منتشر خواهدشد. همچنین روش‌شناسی "پروژه‌ها در محیط‌های تحت‌کنترل" که با نام اختصاری "پرینس۲" شناخته می‌شود، در بسیاری از پروژه‌ها به‌کار گرفته می‌شود.

توسعه استانداردها، پیکره‌های دانش و روش‌شناسی‌های بین‌المللی، نشان‌دهنده‌ی اهمیت مدیریت پروژه در موفقیت سازمان‌ها است. یکی از مهم‌ترین جنبه‌های مدیریت پروژه، سنجش عملکرد و کنترل کیفیت، هزینه و زمان پروژه، و ارایه

* دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران؛
** دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران.

1. www.StandishGroup.com

بازخورد به مدیران پروژه برای اجرای اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی مورد نیاز می‌باشد. مدیریت ارزش کسب‌شده یکی از شناخته‌شده‌ترین روش‌هایی است که بدین‌منظور مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدیریت ارزش کسب‌شده دارای شاخص‌هایی است که عملکرد پروژه را از حیث هزینه، زمان و محدوده محاسبه می‌کند. همچنین این روش، برای پیش‌بینی هزینه و زمان نهایی پروژه نیز کاربرد دارد. از زمان پیدایش این روش، تحقیقات بسیاری در زمینه سنجش عملکرد پروژه با به‌کارگیری سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده از سوی محققان و دست‌اندرکاران پروژه‌ها صورت گرفته است. با این وجود هر کدام از این تحقیقات دارای نقاط قوت و ضعفی بوده و همواره نیاز برای بهبود روش‌های موجود وجود داشته است.

یکی از تازه‌ترین روندهای تحقیقاتی در حوزه مدیریت پروژه، استفاده از فنون آماری برای پایش عملکرد شاخص‌های مدیریت ارزش کسب‌شده می‌باشد. با این‌حال، همان‌طور که در قسمت بعد به تفصیل بحث خواهد شد، اکثریت قریب به اتفاق این روش‌ها که برای پایش عملکرد پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند، از فنون آماری سنتی که برای کنترل فرایندها به‌وجود آمده‌اند، استفاده می‌کنند. این موضوع، باعث عدم توجه به ویژگی‌های خاص پروژه شده، که در نتیجه منجر به تحلیل‌های نادرست و غیرواقعی، و در نهایت تصمیمات اشتباه خواهد شد. در این مقاله، رویکردی نوین برای کنترل آماری پروژه‌ها ارایه می‌شود که ویژگی‌های خاص پروژه را مد نظر قرار داده و با توجه به تحلیل یکپارچه ریسک هزینه-زمان‌بندی، حدود کنترلی مناسبی را برای تغییرات عملکرد هزینه و زمان پروژه محاسبه می‌نماید. با استفاده از رویکرد ارایه شده در این مقاله، تیم پروژه قادر خواهد بود تغییرات مجاز در عملکرد پروژه را که ناشی از علل ذاتی پروژه‌هاست، از تغییرات غیرمجاز متمایز کرده، و در نتیجه اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی را به‌صورت اثربخشتر اتخاذ کرده و اجرا نماید. بدین منظور در بخش دو، مروری جامع بر ادبیات موضوع انجام می‌شود. در این بخش همچنین، شکاف پژوهشی و مساله اصلی پژوهش مطرح می‌شود. در بخش سه روش‌شناسی و رویکرد ارایه شده برای کنترل آماری عملکرد پروژه‌ها بیان می‌شود. بخش چهار به تحلیل عملکرد رویکرد ارایه شده در تشخیص درست مشکلات بالقوه در پروژه‌ها، و اجتناب از صدور هشدارهای اشتباه اختصاص دارد. در بخش پنج، رویکرد ارایه‌شده در این پژوهش مورد بحث و بررسی قرار گرفته و در نهایت در بخش شش، مطالب ارایه شده جمع‌بندی خواهد شد.

پژوهش پیش رو ازحیث هدف از نوع پژوهش‌های توسعه‌ای و کاربردی است، چرا که به ارایه مدلی می‌پردازد که به‌منظور بهبود و به کمال رساندن یک روش موجود و با هدف توسعه دانش کاربردی در زمینه مدیریت پروژه به انجام رسیده است. همچنین از حیث روش از روش تحقیق تحلیلی یا مدل‌سازی پیروی می‌کند. در روش تجزیه و تحلیل این پژوهش دو بعد اصلی وجود دارد. بعد اول بعد کمی است که با استفاده از محاسبات آماری و شبیه‌سازی و به کمک نرم افزارهای Matlab، Minitab، و Excel انجام می‌شود. بعد دوم نیز بعد کیفی است که تحلیل‌ها، استدلال‌ها و استنتاج‌هایی را شامل می‌شود که در خلال مقاله ارایه می‌شوند.

۲ مروری بر ادبیات و پیشینه‌ی پژوهش

بازخورد برای موفقیت هر پروژه‌ای ضروری است. بازخوردهای هدف‌دار و زمان‌بندی شده، مدیران پروژه را قادر می‌سازد تا به‌نحوی سریع مشکلات پروژه را مشخص و اقدامات لازم را به منظور کنترل بهتر پروژه بر مبنای زمان و بودجه مقرر انجام دهند. مدیریت ارزش کسب‌شده به عنوان یکی از مهم‌ترین فنون اندازه‌گیری و تحلیل عملکرد پروژه‌ها به شمار می‌رود. این روش مدیران پروژه را قادر می‌سازد که چرخه‌ی برنامه‌ریزی، اجرا، بررسی و اقدام اصلاحی را به نحوی موثر اجرا نمایند [۵]. مدیریت ارزش کسب‌شده در سال ۱۹۶۰ میلادی توسط وزارت دفاع آمریکا و به منظور ارزیابی عملکرد پروژه‌ها ارایه شد [۳]. این سیستم دارای معیارهای دقیقی است که با استفاده از آن‌ها سلامت عمومی پروژه مورد اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. این معیارها معمولا به‌عنوان علائم زودهنگام هشدار برای شناسایی مشکلات و فرصت‌های پروژه به‌کار می‌روند [۶]. سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده معمولا پاسخهای مناسبی برای سوالاتی از قبیل سوالات زیر ارایه می‌دهد:

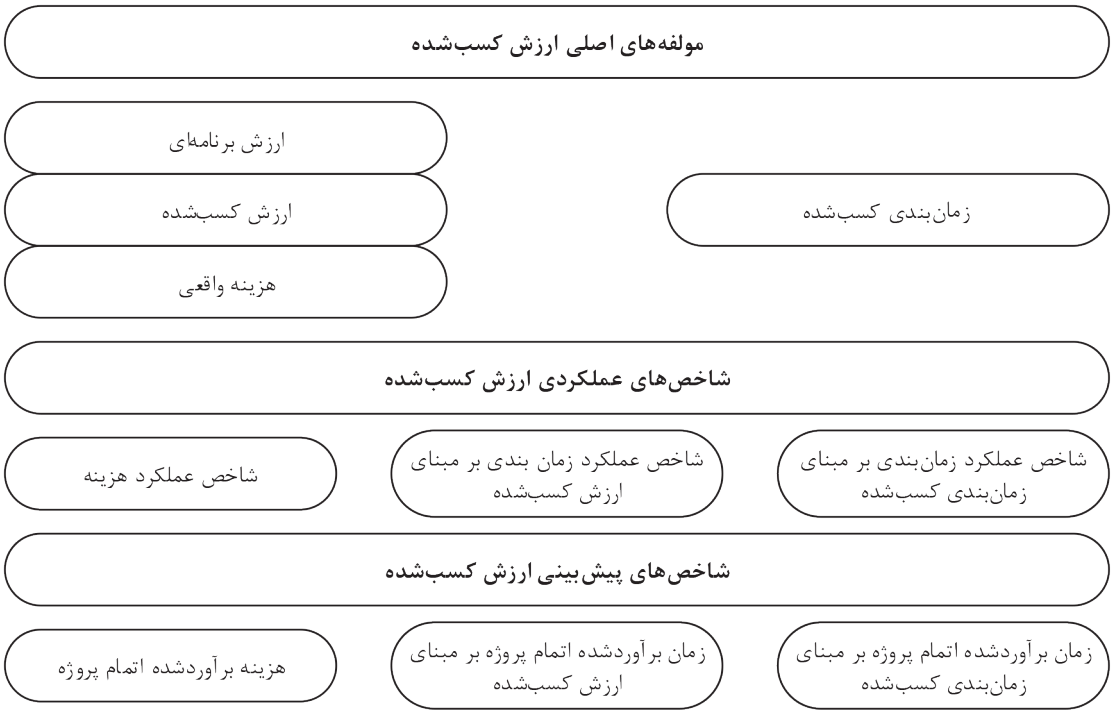
- آیا بودجه و زمان درنظر گرفته شده برای تکمیل پروژه کافی است؟
- آیا ارزش حاصل از کارهای انجام شده با مخارج هزینه‌شده همخوانی دارند؟
- چه قسمت‌هایی از پروژه مطابق با هزینه و زمان‌بندی برنامه‌ریزی شده است، و در چه قسمت‌هایی نیاز به تصحیح

داریم؟

- پیشبینی بودجه و زمان مورد نیاز جهت تکمیل طرح چه میزان است؟

سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده با اندازه‌گیری و ارزیابی کار تکمیل‌شده، زمان، و هزینه صرف‌شده به مدیریت همزمان هزینه، زمان، و کیفیت پروژه می‌پردازد. مفاهیم اصلی مدیریت ارزش کسب‌شده و نحوه استفاده از آن در عمل، در منابع بسیاری ارایه شده است، با این حال در ادامه به شرح مختصری از اصطلاحات و مفاهیم این سیستم می‌پردازیم. خواننده علاقمند می‌تواند برای مطالعه بیشتر در این زمینه به منابع [۵ ,۷] مراجعه نماید.

به‌طور کلی می‌توان گفت مدیریت ارزش کسب‌شده از سه جزء اصلی تشکیل شده که در شکل زیر نمایش داده شده‌است. جزء اول مدیریت ارزش کسب‌شده، پارامترهای کلیدی است. جزء دوم سنجه‌ها و شاخص‌های عملکردی، و جزء سوم شاخص‌های مربوط به پیش‌بینی وضعیت آتی پروژه با در نظر گرفتن روند فعلی می‌باشد. در ادامه این بخش به تشریح جزء اول می‌پردازیم که مدنظر این مقاله می‌باشد.



شکل (۱-۱) شمای کلی پارامترهای مدیریت ارزش کسب‌شده [۱]

۲-۱ مولفه‌های اصلی مدیریت ارزش کسب‌شده

مدیریت ارزش کسب‌شده دارای سه مولفه‌ی اصلی است که پایه‌های اندازه‌گیری عملکرد پروژه را تشکیل می‌دهند. این سه مولفه عبارتند از:

- ارزش برنامه‌ای

هزینه بودجه‌شده برای کار زمان‌بندی شده یا ارزش برنامه‌ای، مجموع بودجه‌های بسته‌های کاری زمان‌بندی شده می‌باشد که در مدت زمان تعیین‌شده می‌بایست تکمیل گردند. به عبارت دیگر این مقدار انعکاسی عددی از کار بودجه‌بندی شده‌است که برای اجرا زمان‌بندی شده و خط مبنایی است که می‌توان با استفاده از آن، میزان پیشرفت واقعی پروژه را اندازه‌گیری کرد.

- هزینه واقعی

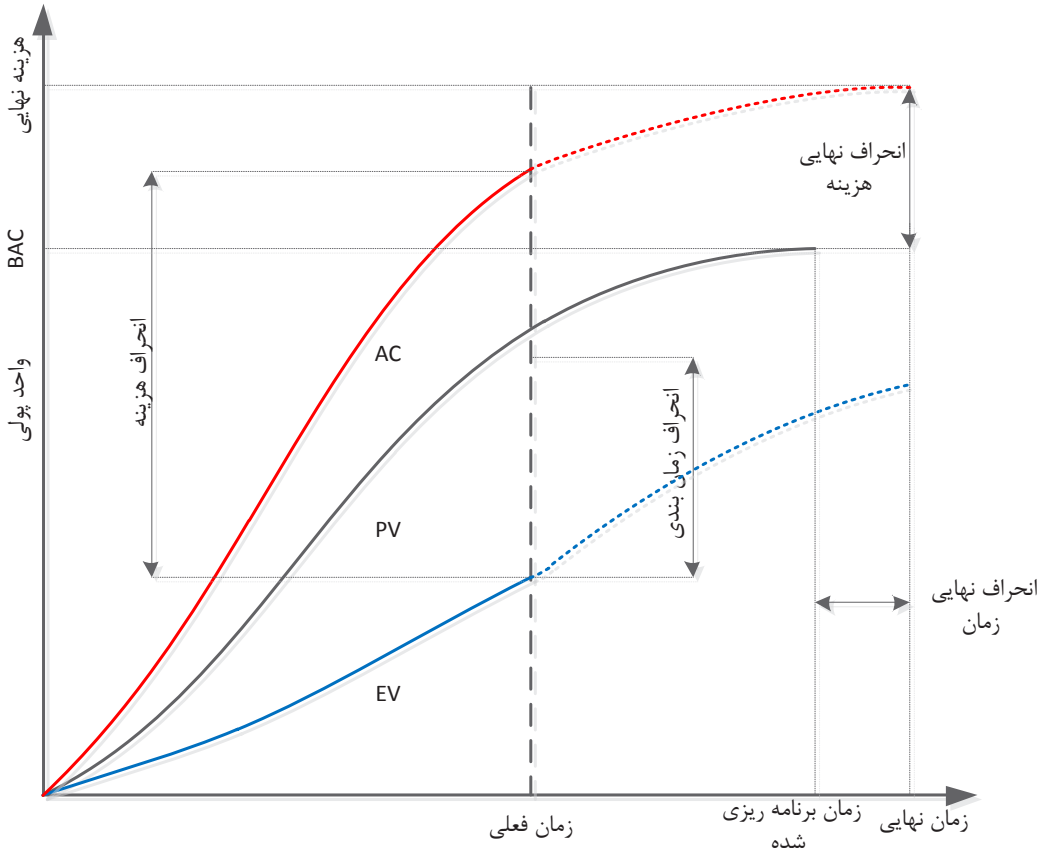
هزینه واقعی برای کار انجام‌شده یا هزینه واقعی، به‌عنوان نماینده‌ای از سطح منابعی است که برای دستیابی به کار واقعی انجام شده تا تاریخ مورد نظر، مصرف شده است. هزینه واقعی، هزینه تکمیل هر فعالیت است که اغلب از گزارشهای مالی پروژه که با استفاده از ساختار شکست کار تهیه شده‌اند، به دست می‌آید. مقایسه هزینه واقعی با ارزش کسب‌شده می‌تواند نشان دهد که آیا میزان هزینه مصرفی پروژه در مقابل مقدار کار تکمیل‌شده صحیح بوده است یا خیر. توانایی انجام مقایسه بین هزینه کار تکمیل‌شده و ارزش کار تکمیل‌شده از فواید

کلیدی مدیریت ارزش کسب‌شده به شمار می‌رود.

• ارزش کسب‌شده

هزینه بودجه شده برای کار انجام شده یا ارزش کسب‌شده، مجموع بودجه‌هایی است که برای بسته‌های کاری تکمیل‌شده برنامه‌ریزی شده است. ارزش کسب‌شده نشان‌دهنده پیشرفت کار در یک نقطه مشخص زمان است و به‌عنوان نتیجه تکمیل فعالیت‌ها حاصل می‌شود. به‌عبارت دیگر تکمیل هر فعالیت منجر به ایجاد ارزش کسب‌شده در پروژه می‌گردد. در آغاز پروژه، ارزش کسب‌شده کل برابر صفر است اما با پیشرفت پروژه و تکمیل هر فعالیت به ارزش کسب‌شده کل پروژه اضافه خواهد شد. در پایان پروژه، به‌دلیل تکمیل تمامی کارهای زمان‌بندی شده، ارزش کسب‌شده معادل با ارزش برنامه‌ای تجمعی می‌باشد.

شکل زیر نمایی از سه مولفه اصلی مدیریت ارزش کسب‌شده را نشان می‌دهد، که محور افقی آن زمان و محور عمودی آن هزینه می‌باشد. این سه مولفه به‌صورت تجمعی در طول چرخه‌ی عمر پروژه رسم شده و شکلی شبیه به S را پدید می آورند، به همین جهت به آن‌ها منحنی S نیز می‌گویند [۱].



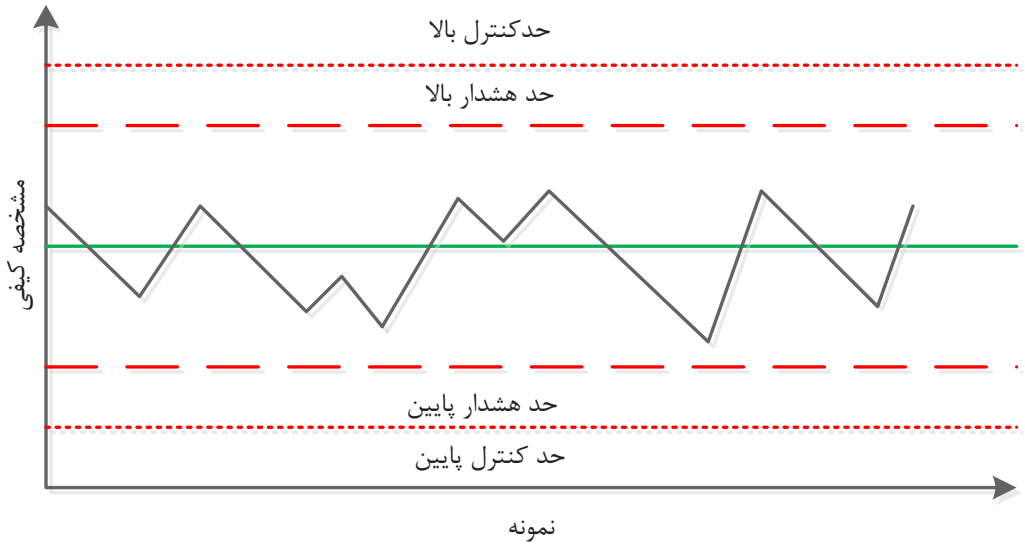
شکل (۲-۱) مولفه های مدیریت ارزش کسب‌شده

با تعیین مقادیر ارزش برنامه‌ای، هزینه واقعی و ارزش کسب‌شده، مدیر پروژه می‌تواند از این مقادیر جهت تحلیل این‌که پروژه در چه وضعیتی قرار دارد و همچنین پیش‌بینی این‌که در کجا جلوتر و یا عقب‌تر از برنامه است، استفاده نماید.

۲-۲ نمودار کنترل آماری

همواره علی‌رغم طراحی و نگهداری خوب، در هر فرایند مقدار خاصی تغییرپذیری ذاتی وجود دارد. این تغییرپذیریهای ذاتی از تعداد زیادی انحرافات کوچک و بعضا غیرقابل‌اجتناب به‌وجود می‌آیند. در ساختار کنترل کیفیت این تغییرپذیری‌ها را انحرافات تصادفی یا شایع می‌نامند که حتی با وجود آن‌ها عملکرد فرایند قابل قبول است. نوع دیگری از تغییرپذیری نیز ممکن است در فرایند وجود داشته باشد که به دلایلی به جز دلایل قبلا ذکر شده، بوجود میآیند. منابع ایجاد این تغییرپذیری‌ها که جزء انحرافات تصادفی محسوب نمی‌شوند، معمولا انحرافات بادلیل نامیده می‌شوند. هدف اصلی کنترل فرایند آماری از بین بردن تغییرپذیری است که در این میان نمودار کنترل ابزاری موثر جهت کاهش تغییرپذیری فرایند به شمار می‌رود [۲].

شکل زیر تصویر عمومی یک نمودار کنترل را نشان می‌دهد. این نمودار روش ارایه یک مشخصه کیفی خاص را بر حسب شماره نمونه یا زمان نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است، یک نمودار کنترل شامل یک خط مرکزی (CL) است که مقدار متوسط مشخصه کیفی را درحالت تحت‌کنترل نشان می‌دهد. همچنین دو خط افقی دیگر که حد کنترل بالا (UCL) و حد کنترل پایین (LCL) نامیده می‌شوند در شکل دیده می‌شوند. این حدود به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که اگر فرایند تحت‌کنترل باشد آنگاه تمامی نمونه‌های حاصل از فرایند بین آن‌ها قرار گیرند. بنابراین در صورتی که تمامی نقاط بین خطوط مذکور باشد، فرایند تحت‌کنترل بوده و نیازی به اقدامات اصلاحی نیست. اما چنانچه نقطه یا نقاطی خارج از این حدود قرار گیرند نشانگر این است که فرایند خارج از کنترل بوده و اقدامات اصلاحی نیاز است [۸].



شکل (۳-۱) شکل کلی یک نمودار کنترل

فصل‌نامه علمی - ترویجی مدیریت استاندارد و کیفیت
سال هفتم- شماره ۲ - پیاپی ۲۴ - تابستان ۱۳۹۶

۲-۳ تحقیقات مرتبط با کنترل پروژه آماری

مدیریت ارزش کسب‌شده با به‌کارگیری مجموعه‌ای از معیارها و شاخص‌ها به سنجش و ارزیابی سلامت عمومی پروژه می‌پردازد. این شاخص‌ها معمولا به‌عنوان علایم زودهنگام هشداردهنده برای شناسایی مشکلات پروژه و یا برای استفاده بهینه از فرصت‌ها به کار می‌روند. اصول اولیه و نحوه به‌کارگیری این تکنیک در منابع بسیاری به‌صورت مشروح بیان شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به منبع [۵] اشاره کرد.

در طی سالهای اخیر، استفاده از مدیریت ارزش کسب‌شده در پروژه‌ها به‌طور چشم‌گیری افزایش یافته است. شاید به همین دلیل است که در یک دهه‌ی اخیر شاهد افزایش چشم‌گیری در تعداد مقالات و پژوهش‌های مرتبط با این تکنیک بوده‌ایم. با این حال، علی‌رغم توصیه‌هایی که پیشگامان مدیریت ارزش کسب‌شده به استفاده فنون آماری، به خصوص کنترل فرایند آماری، برای بهبود مدیریت ارزش کسب‌شده داشته‌اند، پژوهش‌های اندکی در زمینه تلفیق این دو روش صورت پذیرفته است که در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت [۳].

شاید بتوان اولین پژوهشی که سعی در به‌کارگیری کنترل فرایند آماری در مدیریت ارزش کسب‌شده داشته است، مقاله‌ای دانست که والتر لیپکه [۱۱] در سال ۲۰۰۰ در مجله کراس‌تاک منتشر نمود. لیپکه در این مقاله از نمودار مشاهدات انفرادی[۲] و دامنه متحرک[۳] (I-MR) برای منعکس‌کردن وضعیت شاخص‌های عملکرد زمان‌بندی[۴] (SPI) و عملکرد هزینه[۵] (CPI) استفاده نموده است. شاخص‌های مذکور به‌طور متداول از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند و توزیع آماری آن‌ها دارای چولگی به راست است [۱۲]. برای برطرف‌کردن این مشکل وی پیشنهاد نمود تا از معکوس شاخص‌های فوق استفاده شود تا مشکل نرمال بودن آن‌ها حل شود، بدین ترتیب از SPI^{-1} و CPI^{-1} استفاده نمود.

لیپکه [۱۳] کار خود را همچنان ادامه داد تا جایی‌که در سال ۲۰۰۲ مقاله دیگری در همین راستا منتشر کرد. در این

2. Individual Observations
3. Moving Range
4. Schedule Performance Index
5. Cost Performance Index

مقاله همچنان از نمودار کنترل I و MR برای شاخص‌های عملکرد هزینه و زمان‌بندی استفاده شده‌است. وی در این مقاله مقایساتی در به‌کارگیری تبدیل‌های مختلف که بتوانند توزیع شاخص‌ها را به توزیع نرمال نزدیک کنند انجام داده‌است و در نتیجه استفاده از Ln را برای شاخص‌های مذکور توصیه کرده است.

یک سال بعد، یعنی در سال ۲۰۰۳، فرانک انبری [۱۴] مقاله‌ای مرتبط را در مجله‌ی مدیریت پروژه به‌چاپ رساند. در این مقاله ابتدا شرح مفصلی بر مدیریت ارزش کسب‌شده، شاخص‌های عملکردی، و شاخص‌های پیش‌بینی کننده آن آورده شده است. انبری در ادامه نمودار کنترلی را تحت عنوان نمودار کنترل هدف ارایه نمود. نمودار کنترل هدف مقادیر CPI، SPI و CR[6] را در طول چرخه‌ی عمر پروژه نمایش می‌داد.

در سال ۲۰۰۵ خالد نصار[7] و همکاران [۱۵] پژوهشی در به‌کارگیری کنترل فرایند آماری برای ارزیابی مازاد هزینه‌ها در پروژه‌های آسفالت‌کاری انجام دادند. در این پژوهش آن‌ها ۲۱۹ پروژه آسفالت‌کاری را مدنظر قرار دادند و ریشه مازاد هزینه در این پروژه‌ها را با استفاده از نمودار پارتو و نمودار علت و معلول بررسی کردند. آن‌ها در ادامه این مقاله، پس از این‌که نرمال‌بودن هزینه‌های پروژه‌های مذکور را نشان دادند، با استفاده از نمودار های کنترل I و MR به بررسی تغییرات در هزینه‌ها پرداختند و نتیجه گرفتند که به‌طور متوسط مقدار مازاد هزینه‌ای که بر این‌گونه پروژه‌ها وارد می‌شود برابر با ۴٪ مبلغ قرارداد است. اگرچه در این پژوهش به‌طور مستقیم از مدیریت ارزش کسب‌شده استفاده نشده است، اما این پژوهش در یک بخش به محدودیت‌های استفاده از نمودارهای کنترل مشاهدات انفرادی و دامنه متحرک پرداخته است که قابل توجه است.

وانگ[8] و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۰۶ در مقاله‌ی خود ابتدا از اهمیت استفاده از کنترل فرایند آماری برای بهبود مدیریت ارزش کسب‌شده مطالبی را بیان نموده‌اند، سپس به بررسی نرمال بودن شاخص‌ها پرداخته اند. آن‌ها در مقاله خود دو دلیل عمده برای تلفیق کنترل فرایند آماری و مدیریت ارزش کسب‌شده بیان کرده اند. اول این‌که، با استفاده از کنترل فرایند آماری قضاوت در مورد وضعیت عملکردی پروژه ساده‌تر خواهد شد، و دوم این‌که با استفاده از قوانین کنترل فرایند آماری می‌توان به نحوی موثرتر علائم غیرطبیعی را تشخیص داد.

در همین سال (۲۰۰۶)، سو-سن لئو و همکاران [۱۷] با بیان این‌که مدیریت ارزش کسب‌شده به بررسی روند تغییرات در طول چرخه‌ی عمر پروژه نمی‌پردازد، نتیجه‌گیری کردند که با بررسی روند تغییرات و الگوهای مشخص که ممکن است در تمامی پروژه‌ها وجود داشته باشد، می‌توان به نحوی موثرتر به علل وجود مشکلات در عملکرد پروژه از حیث زمان و هزینه پی برد. آن‌ها همچنین بیان کردند استفاده از کنترل فرایند آماری، سیستمی را بوجود خواهد آورد که می‌توان از طریق آن سریع‌تر از روش مدیریت ارزش کسب‌شده به وجود انحرافات و مشکلات بالقوه پی برد و یک سیستم کنترل پیشگیرانه را ایجاد نمود. در انتهای این تحقیق آن‌ها اذعان کردند که با تلفیق کنترل فرایند آماری و مدیریت ارزش کسب‌شده افق‌های تحقیقاتی جدیدی به روی علاقمندان و محققان باز خواهد شد.

یکی از پیشگامان اصلی مدیریت ارزش کسب‌شده لیپکه می‌باشد، که اگرچه ممکن است به دلیل توسعه مفهوم ارزش کسب‌شده شهرت داشته باشد [۱۸]، با اینحال از کسانی است که در حدود دو دهه مقالات متعددی در زمینه بهبود مدیریت ارزش کسب‌شده منتشر نموده است. یکی از این مقالات، مقاله‌ای است که در سال ۲۰۰۶ در مجله کراس تالک منتشر نمود [۱۹]. در این مقاله لیپکه افق‌های جدیدی را در به‌کارگیری روش‌های آماری در مدیریت ارزش کسب‌شده پیش روی محققان و علاقمندان قرار داد، که البته در سال ۲۰۰۹ آن را بهبود بخشیده و مجددا ارایه کرد [۲۰].

در این مقاله لیپکه مجددا بر توزیع آماری شاخص‌های مدیریت ارزش کسب‌شده بحث نمود و مجددا تصمیم گرفت تا از Ln شاخص‌ها استفاده کند تا آن‌ها را به توزیع نرمال نزدیک کند. در ادامه این مقاله، لیپکه برخی از مشکلاتی که در استفاده از کنترل فرایند آماری برای بهبود مدیریت ارزش کسب‌شده وجود دارد را بیان نموده است. همان‌طور که در مقاله فوق آمده است، نرمال نبودن شاخص‌ها، ماهیت پروژه که باعث محدود شدن مشاهدات خواهد شد، و مشاهدات کمتر از ۳۰ مورد که اغلب در پروژه‌ها شاهد آن هستیم، از مهم‌ترین این مشکلات هستند.

در سال ۲۰۰۸ سو-سن لئو و یو-چه لین [۲۱] کار خود را که پیشتر از این ارایه کرده بودند بهبود بخشیده و در مجله مهندسی و مدیریت ساخت به چاپ رساندند. در این مقاله

6. Critical Ratio=SPI*CPI
7. Khaled M. Nassar
8. Qing Wang

دلیل اصلی استفاده از کنترل فرایند آماری ماهیت متغیر عملکرد پروژه بیان شده است که می‌توان با استفاده از تکنیک‌های کنترل فرایند آماری آن را به نحوی موثر پایش و کنترل نمود و در نتیجه نیاز برای اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه سریع‌تر از گذشته مشخص خواهد شد. در این مقاله نیز مانند اکثر مقالات دیگر نمودارهای کنترل مشاهدات انفرادی و دامنه متحرک به‌کار گرفته شده‌است. برای برطرف‌کردن توزیع غیرنرمال شاخص‌ها نیز از تبدیلی به صورت $Ln(CPI^{-1})$ و $Ln(SPI^{-1})$ استفاده شده‌است که پیش از این توسط لیپکه پیشنهاد شده بود.

نوری و همکاران [۲۲] در سال ۲۰۰۸ مقاله‌ای را منتشر کردند که در آن از نمودار کنترل فازی در مدیریت ارزش کسب‌شده استفاده شده‌است. در این مقاله مدیریت ارزش کسب‌شده یکی از مهم‌ترین ابزار مدیریت پروژه معرفی شده که نه تنها وضعیت فعلی پروژه، بلکه وضعیت آتی پروژه را نیز به خوبی تخمین می‌زند. با این‌حال از نبود یک مکانیزم برای کنترل شاخص‌های عملکرد هزینه و زمان‌بندی به عنوان شکاف تحقیقاتی یاد شده است. ایده‌ی اصلی این مقاله بهبود نمودار کنترل هدف بود که پیشتر توسط انبری [۱۴] توسعه یافت، به این ترتیب که آن‌ها نمودار مذکور را با به‌کارگیری اعداد فازی مثلثی توسعه دادند. در سال ۲۰۰۹ لیپکه و همکاران [۲۳] پژوهش قبلی خود را در رابطه با به‌کارگیری روش‌های آماری در مدیریت ارزش کسب‌شده بهبود بخشیده و مجددا به چاپ رساندند.

لیپکه [۲۴] در سال ۲۰۱۰ مجددا ایده خود را پیگیری کرده و با استفاده از روش‌های آماری گفته شده، به بررسی میزان ذخیره مدیریت (از حیث زمان) نیز پرداخته است. با استفاده از مقدار به‌دست‌آمده مدیر پروژه می‌تواند دریابد که با توجه به شرایط فعلی و حداکثر زمان موجود برای اتمام پروژه چه مقدار زمان اضافی به عنوان ذخیره مدیریت دارد.

اخیرا، منبع [۲۵] نیز استفاده از کنترل فرایند آماری را برای پایش و کنترل عملکرد پروژه‌ها پیشنهاد نموده است. در این منبع، ابتدا با استفاده از تبدیل باکس-کاکس[9]، شاخص‌های عملکرد هزینه و زمان‌بندی به توزیع نرمال تبدیل می‌شوند. بعد از آن با استفاده از نمودار کنترل I-MR روند تغییرات شاخص‌ها در طول یک پروژه ساختمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این منبع نیز بر لزوم به‌کارگیری روش‌های کنترل فرایند آماری در افزایش کارایی شاخص‌های مدیریت ارزش کسب‌شده تاکید شده است.

اگر چه با دقت در پژوهش‌های انجام شده می‌توان به موارد بیشتری نیز دست یافت، با این حال به این دلیل که برخی از این پژوهش‌ها مستقیما با موضوع مورد بحث این مقاله مرتبط نیستند، از بررسی آن‌ها صرف‌نظر شده‌است. خواننده علاقمند می‌تواند به منظور مطالعه بیشتر به منابع [۲۶] [۲۷] [۲۸] مراجعه نماید.

در پژوهش‌های بررسی شده، اهمیت استفاده نمودارهای کنترل به‌منظور کنترل تغییرات عملکرد پروژه به‌طور مکرر ذکر شده‌است، با این‌حال تقریبا در تمامی موارد، ویژگی‌های خاص پروژه‌ها و تفاوت‌های ذاتی آن‌ها با فرایندها و محیط تولید نادیده گرفته شده‌است. در جدول زیر تمامی تحقیقات انجام شده به‌همراه نقاط اشتراک و تمایز آن ها ارایه شده‌است.

جدول (۱-۱) مقایسه پژوهش‌های انجام‌شده

ردیف	فرض نرمال بودن داده‌ها	تبدیل مورد استفاده	نمودار کنترل	حساسیت به تغییرات کوچک	تحلیل دقیق‌تر شیب تغییرات	ویژگی‌های خاص پروژه	پیش‌بینی هزینه	پیش‌بینی زمان
[11]	-	$Indicator^{-1}$	IMR[10]	-	-	-	-	-
[29]	-	- LN(Indicator)	IMR	-	-	-	-	-
[14]	*	-	TPC[11]	-	-	-	-	-
[15]	*	-	IMR	-	-	-	-	-
[16]	*	-	IMR	-	-	-	-	-

9. Box-Cox Transformation
10. Individual and Moving Range Chart
11. Target Performance Chart

منبع	فرض نرمال بودن داده‌ها	تبدیل مورد استفاده	نمودار کنترل	حساسیت به تغییرات کوچک	تحلیل دقیق‌تر شیب تغییرات	ویژگی‌های خاص پروژه	پیش‌بینی هزینه	پیش‌بینی زمان
[17]	-	$Indicator^{-1}$	IMR	-	-	-	-	-
[19]	-	- LN(Indicator)	۱۲RC	-	-	-	*	*
[21]	-	- LN(Indicator)	IMR	-	-	-	-	-
[22]	-	-	۱۳FTPC	*	*	-	-	-
[20]	-	- LN(Indicator)	-	-	-	-	*	*
[28]	-	-	FCC	*	-	-	-	-
[25]	بررسی می‌کند	در صورت نیاز	IMR	-	-	-	-	-
علامت * به این معناست که منبع مورد نظر، ویژگی ذکرشده در آن ستون را در نظر گرفته است.								

۳ مدیریت پروژه آماری

رویکرد ارایه‌شده در این مقاله برای کنترل آماری پروژه دارای دو فاز می‌باشد. فاز اول پیش از آغاز پروژه انجام می‌شود. در این فاز، حدود کنترلی نمودار با استفاده از تحلیل هزینه-زمان‌بندی محاسبه می‌شود. این حدود نشان‌دهنده‌ی بازه مجازی است که عملکرد پروژه می‌تواند در آن بازه تغییر کند. فاز دوم با آغاز پروژه شروع می‌شود. در این فاز، مقادیر واقعی عملکرد محاسبه شده و با حدود کنترلی که پیش از این در فاز یک محاسبه شده‌اند مقایسه می‌شود.

۳-۱ فاز یک: محاسبه حدود کنترلی

محاسبه حدود کنترلی بر مبنای تحلیل ریسک یکپارچه هزینه-زمان‌بندی انجام می‌شود. بدین منظور لازم است برای هر یک از فعالیت‌های پروژه، بازه مورد انتظار برای زمان و هزینه را تعریف نمود. برای این‌کار می‌توان از اطلاعات فعالیت‌های مشابه در سایر پروژه‌ها، و نظر خبرگان استفاده کرد. لازم به ذکر است در تحلیل یکپارچه ریسک هزینه-زمان‌بندی، هزینه هر فعالیت در درجه اول می‌تواند به‌صورت تصادفی در بازه تعریف شده تغییر کند. علاوه بر این، با افزایش (کاهش) زمان فعالیت، هزینه مرتبط با آن نیز افزایش (کاهش) خواهد یافت. پس از تکرار این کار برای nrs مرتبه، هزینه و زمان پروژه در nrs سناریوی ممکن به دست خواهد آمد. با استفاده از مقادیر به دست آمده، تعداد nrs شاخص عملکرد هزینه و زمان‌بندی در هر دوره بازنگری به‌دست خواهد آمد. برای تعیین حدود کنترلی، لازم است از این شاخص‌ها بازه تلورانسی 1-α درصدی را محاسبه کرد. برای این کار فرض کنید $\{X_{(1)j}.....X_{(nrs)j}\}$ شاخص‌های دوره j باشند که به‌صورت صعودی مرتب شده‌اند. بدین ترتیب حدود پایین و بالای تلورانس 1-α درصدی به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$LTL^{\alpha}_{X_j} = \hat{Q}(\alpha)_j = (1-\theta)X_{(k)j} + \theta X_{(k+1)j} \quad (۱)$$

$$UTL^{\alpha}_{X_j} = \hat{Q}(1-\alpha)_j \quad (۲)$$

که در این فرمول ها

$$\frac{k-\alpha+1}{nrs} \le \alpha < \frac{k-2+\alpha}{nrs}$$

و

$$\theta = \alpha nrs - \alpha - k + 1$$
$$k = \lfloor \alpha nrs - \alpha + 1 \rfloor$$

بازه تلورانسی فوق یک بازه ناپارمتریک است، بنابراین مستقل از توزیع آماری داده ها عمل می‌کند. با این حال، با توجه به این‌که مقدار nrs معمولا حداقل برابر با ۱۰۰۰ است، طبق قضیه حد مرکزی این بازه بدون ملاحظات خاصی می‌تواند محاسبه شود.

۳-۲ فاز دو: پایش عملکرد واقعی پروژه

هنگامی که پروژه آغاز به‌کار می‌کند، مقادیر پیشرفت واقعی و هزینه واقعی صرف‌شده به دست می‌آیند. با در اختیار داشتن

12. Run Chart
13. Fuzzy Target Performance Chart

مقادیر واقعی در هر دوره بازنگری، شاخص‌های عملکردی هزینه و زمان‌بندی دوره‌های قابل محاسبه می‌باشند. با استفاده از حدود کنترلی به‌دست‌آمده در فاز یک، و شاخص‌های واقعی در فاز دو می‌توان مقایسه بین عملکرد برنامه‌ای و عملکرد واقعی را انجام داد. با این‌حال در این مقاله، به‌منظور بالابردن حساسیت نمودار کنترلی به تغییرات کوچک و متوسط عملکرد، استفاده از آماره میانگین موزون متحرک نمایی پیشنهاد می‌شود. برای محاسبه این آماره می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود:

$$z_j = \lambda x_j + (1-\lambda) z_{j-1} \quad (۳)$$

که در آن z_j مقدار آماره میانگین موزون متحرک نمایی در دوره بازنگری ژام، x_j مقدار شاخص عملکردی واقعی در دوره ژام، λ مقدار ثابتی بین صفر و یک، و z_0 برابر با مقدار هدف شاخص عملکردی مورد نظر، یعنی ۱، می‌باشد. با مقایسه مقادیر z با حدود محاسبه شده در فاز یک برای هر دوره کنترلی می‌توان وضعیت پروژه را مورد پایش قرار داد. بدین‌منظور همچنین می‌توان از یک آزمون فرض به شرح زیر استفاده کرد.

$$H_0: LCL \le z_j \le UCL \quad (۴)$$

$$H_1: (z_j \le LCL) \vee (z_j \ge UCL) \quad (۵)$$

در صورتی‌که مقدار آماره z بین حدود کنترلی بالا و پایین باشد، عملکرد پروژه از لحاظ آماری تحت‌کنترل بوده و تغییرات شاخص‌های عملکردی ناشی از تغییرات ذاتی پروژه است. در غیر این‌صورت، یعنی هنگامی که مقدار z در یک دوره کنترلی خارج از حدود باشد، یک سیگنال صادر می‌شود. این سیگنال به این مفهوم است که تغییرات عملکرد بیش از حد مجاز بوده و یک علت غیرذاتی باعث این تغییر شده‌است. بنابراین تیم پروژه ساختار شکست کار را مورد بررسی قرار داده، و اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی را اتخاذ کرده و اجرا می‌نماید.

۴ تحلیل عملکرد

به‌عنوان مدیر پروژه مطلوب ما این‌است که رویکرد ارایه‌شده در این مقاله برای کنترل آماری پروژه، سیگنال‌های درستی را با فاصله اندکی از زمان وقوع واقعی تغییر در عملکرد فرایند ارایه نماید. به‌علاوه مایلیم نمودار کنترلی ارایه شده، از صادر نمودن سیگنال‌های نادرست در زمان هایی که عملکرد پروژه تحت‌کنترل است اجتناب نماید. برای بررسی این موارد، در این قسمت یک شبیه‌سازی گسترده در سناریوهای مختلفی که ممکن است رخ دهد انجام می‌شود. این‌کار این امکان را به ما می‌دهد که تا از عملکرد نمودار کنترلی ارایه شده در این مقاله در تمامی حالات ممکن، اطمینان حاصل نماییم.

برای بررسی عملکرد پروژه از شاخص "متوسط زمان تا صدور سیگنال" استفاده می‌کنیم. اگر این زمان را در حالتی که شاخص‌های عملکردی تحت‌کنترل است، محاسبه نماییم، عملکرد نمودار را در خصوص اجتناب از صدور سیگنال‌های اشتباه مدنظر قرار داده‌ایم. بنابراین مایلیم که این مقدار حداکثر باشد. اگر متوسط زمان تا صدور سیگنال را در حالتی بررسی کنیم که تغییری غیر مجاز در عملکرد هزینه‌ای یا زمانی پروژه رخ داده‌است، عملکرد نمودار را در خصوص توانایی آن در صدور سیگنال‌های صحیح مدنظر قرار داده‌ایم. بنابراین مایلیم که این مقدار حداقل باشد تا در اسرع وقت انحرافات رخ داده را نمایان سازد. جدول زیر مقادیر شاخص متوسط زمان تا صدور سیگنال را برای مواقعی که تغییری به اندازه δ انحراف معیار در عملکرد پروژه رخ داده است، نشان می‌دهد. برای محاسبه این مقادیر در هر سناریو تعداد ۱۰۰۰۰۰ پروژه شبیه‌سازی شده، و میانگین متوسط زمان تا صدور سیگنال محاسبه شده‌است.

جدول ۱. نتایج حاصل از شبیه سازی ۱۰۰۰۰۰ پروژه در هر سلول

ردیف	δ	سناریو ۱ (تغییر در شاخص عملکرد زمان‌بندی)	سناریو ۲ (تغییر در شاخص عملکرد هزینه)
۱	۰	۴۳۰ دوره کنترلی	۴۲۹ دوره کنترلی
۲	۰,۲۵	۸۵,۳ دوره کنترلی	۸۴,۹ دوره کنترلی
۳	۰,۵	۲۹,۲ دوره کنترلی	۲۸,۸ دوره کنترلی
۴	۱	۶,۷۳ دوره کنترلی	۶,۷۵ دوره کنترلی
۵	۱,۵	۲,۸ دوره کنترلی	۲,۷۸ دوره کنترلی
۶	۲	۱,۱ دوره کنترلی	۱,۱۲ دوره کنترلی
۷	۳	۱ دوره کنترلی	۱ دوره کنترلی

همان‌طور که مشخص است، سطر اول جدول نشان‌دهنده‌ی متوسط زمان تا صدور سیگنال در زمانی‌است که تغییری در عملکرد پروژه رخ نداده‌است. سطر های ۲ تا ۷ نیز مقادیر شاخص متوسط زمان تا صدور سیگنال را برای زمان‌هایی که تغییری به اندازه δ انحراف معیار در عملکرد زمانی یا هزینه‌ای پروژه رخ داده است نشان می‌دهد. جدول فوق نشان می‌دهد که نمودار کنترل ارایه‌شده علاوه بر توانایی در صدور سیگنال‌های درست، از سیگنال‌های نادرست نیز اجتناب می‌کند.

۵ بحث و بررسی

استفاده اثربخش از نمودار کنترلی ارایه‌شده در این مقاله در گرو توجه به چند نکته است که در این بخش به توضیح این موارد می‌پردازیم. همان‌طور که مشخص است، با افزایش مقدار α در محاسبه بازه تلورانس، این بازه افزایش یافته و با کاهش مقدار α، بازه تلورانس کاهش خواهد یافت. از لحاظ منطقی، کاهش بازه تلورانس منجر به شناسایی تغییرات کوچک‌تر در عملکرد پروژه خواهد شد. با این‌حال، احتمال صدور سیگنال‌های اشتباه در این‌حالت افزایش خواهد یافت که این امر منجربه صرف هزینه و زمان اضافه برای بررسی ساختار شکست کار و یافتن مشکلات احتمالی می‌شود. از طرفی افزایش بازه تلورانس، منجر به کاهش حساسیت نمودار کنترل به تغییرات عملکرد پروژه خواهد شد که مطلوب نیست. بنابراین همواره با توجه به سیاست کنترلی پروژه، تیم کنترل باید مقدار مناسبی را برای α انتخاب نماید.

دومین نکته‌ای که در زمان استفاده از نمودار کنترل ارایه‌شده در این مقاله می‌بایست مد نظر قرار گیرد، انتخاب مقدار λ در محاسبه آماره میانگین موزون متحرک نمایی است. با افزایش مقدار λ میزان استفاده از داده‌های فعلی افزایش یافته و وزن استفاده از داده‌های قبلی کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش مقدار λ میزان استفاده از داده‌های فعلی کاهش یافته و وزن استفاده از داده‌های قبلی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی ثابت شده‌است که با کاهش مقدار λ توانایی نمودار در شناسایی تغییرات کوچک‌تر افزایش می‌یابد. با منطقی مشابه، افزایش مقدار λ منجر به افزایش عملکرد نمودار در توانایی تغییرات بزرگ می‌شود. اگرچه مقدار λ می‌بایست با توجه به سیاست‌های کنترلی پروژه انتخاب شود، با این‌حال انتخاب مقدار ۰.۲ برای λ عموما عملکرد خوبی را برای شناسایی تغییرات کوچک، متوسط و بزرگ ارایه می‌دهد.

۶ نتیجه‌گیری

در این مقاله، رویکردی نوین برای کنترل آماری پروژه‌ها ارایه شده‌است. این رویکرد، بر خلاف نمودارهای کنترلی سنتی که برای کنترل فرایندها توسعه داده شده‌اند، ویژگی‌های مختص پروژه‌ها را مد نظر قرار می‌دهد. حدود کنترلی نمودار کنترلی ارایه‌شده در این مقاله بر مبنای تحلیل ریسک یکپارچه هزینه-زمان‌بندی و شناسایی قسمت‌های ضعیف و قوی خطوط مبنا محاسبه می‌شود. بنابراین ارتباط نزدیکی بین حدود کنترلی و میزان انحراف مجاز شاخص‌های عملکردی هزینه و زمان‌بندی پدید می‌آید. برای بررسی عملکرد نمودار کنترلی ارایه‌شده در این مقاله، از یک مطالعه گسترده شبیه‌سازی استفاده

شد، که سناریوهای ممکن را دربر می‌گیرد. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد، نمودار ارایه‌شده عملکرد خوبی در شناسایی تغییرات کوچک، متوسط و بزرگ دارد. به‌علاوه، میزان صدور سیگنال‌های اشتباه نمودار نیز در پایین‌ترین حدممکن است. پس از این‌که نمودار کنترلی ارایه شده، سیگنالی را مبنی بر تغییرات غیرمجاز یک یا چند شاخص کنترلی صادر کرد، تیم پروژه می‌بایست عملکرد پروژه را به‌صورت گذشته‌نگر مورد بررسی قرارداده و ریشه مشکلات احتمالی را بیابد. سپس اقدامات پیشگیرانه و اصلاحی را اتخاذ کرده و اجرا نماید تا مجددا عملکرد پروژه تحت‌کنترل قرار گیرد. اگرچه تحلیل عملکرد نمودار ارایه‌شده در این مقاله نشان‌دهنده عملکرد بسیار خوب آن در سناریوهای ممکن می‌باشد، با این حال با توجه به شرایط منحصربفرد هر پروژه، پیشنهاد می‌شود دست‌اندرکاران پروژه‌ها، رویکرد ارایه شده را در پروژه‌های خود در زمینه‌های مختلف به‌کار گیرند و نتایج را به‌اشتراک بگذارند. همچنین توسعه رویکرد ارایه‌شده در شرایط چندمتغیره از فرصت‌های مطالعاتی آتی است که توسط نویسندگان پیشنهاد می‌شود.

منابع

[1] Q. W. Fleming and J. M. Koppelman, Earned Value Project Management, Project Management Institute, 2010.

[2] M. Vanhoucke, Project Management with Dynamic Scheduling: Baseline Scheduling, Risk Analysis, and Project Control, Verlag Berlin Heidelberg: Springer, 2012.

[3] M. Vanhoucke, Measuring Time: Improving Project Performance Using Earned Value Management, Springer, 2009.

[4] W. H. Lipke, Earned Schedule, Chicago: Lulu, 2009.

[۵] م. باقرپور و س. ط. ح. مرتجی, مدیریت هزینه پروژه: برآورد و کنترل هزینه, تهران: ایده نگار, ۱۳۹۱.

[۶] ر. نورالسناء, کنترل کیفیت آماری, تهران: انتشارات دانشگاه علم و صنعت, ۱۳۸۹.

[7] D. C. Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, 2008.

[8] W. H. Lipke and J. Vaughn, "Statistical Process Control Meets Earned Value," Cross Talk: Journal of Defence Software Engineering, pp. 16-28, 2000.

[9] W. H. Lipke, "Further Study of the Normality of CPI and SPI(t)," The Measurable News, pp. 16-18, 2012.

[10] W. H. Lipke, "A Study of the Normality of Earned Value Management," The Measurable News, pp. 1-4, 2002.

[11] F. T. Anbari, "Earned Value Project Management, Method and Extensions," Project Management Journal, pp. 12-23, 2003.

[12] K. M. Nassar, W. M. Nassar and M. Y. Hegab, "Evaluating Cost Overruns of Asphalt Paving Project Using Statistical Process Control Methods," Journal of Construction Engineering and Management, pp. 1173-1178, 2005.

[13] Q. Wang, N. Jiang, L. Gou, M. Chel and R. Zhang, "Practical Experiences of Cost/Schedule Measure Through EVM and SPC," in SPW/Prosim, 2006.

[14] S.-S. Leu, Y.-C. Lin, T.-A. Chen and Y.-Y. Ho, "Improving Traditional Earned Value Management by Incorporating Statistical Process Charts," in International Symposium on Automation and Robotics in Construction, 2006.

[15] W. H. Lipke, "Schedule Is Different," The Measurable News, pp. 31-34, 2003.

[16] W. H. Lipke, "Statistical Methods Applied to EVM: The Next Frontier," Cross Talk: Journal of Defence Software Engineering, pp. 20-23, 2006.

[17] W. H. Lipke, "Prediction of Project Outcome, the Application of Statistical Methods to Earned Value Management and Earned Schedule Performance Indexes," International Journal of Project Management, pp. 400-407, 2009.

[18] S.-S. Leu and Y.-C. Lin, "Project Performance Evaluation Based on Statistical," Journal of Construction Engineering and Management, pp. 813-819, 2008.

[19] S. Noori, M. Bagherpour and A. Zareei, "Applying Fuzzy Control Chart in Earned Value Analysis: A New Application," World Applied Sciences Journal, pp. 684-690, 2008.

[20] W. H. Lipke, O. Zwikael, K. Henderson and F. Anbari, "Prediction of project outcome, The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes," International Journal of Project Management, pp. 400-407, 2009.

[21] W. H. Lipke, "Applying Statistical Methods to EVM, Reserve Planning and Forecasting," The Measurable News, pp. 17-24, 2010.

[22] R. Aliverdi, L. Moslemi Naeni and A. Salehipour, "Monitoring project duration and cost in a construction project by applying statistical quality control charts," International Journal of Project Management, pp. xxx-xxx, 2012.
[23] D. F. Cioffi, "Designing Project Management: A Scientific Notation and An Improved Formalism for Earned Value Calculations," International Journal of Project Management, vol. 24, no. 2, pp. 136-144, 2006.
[24] D. F. Cioffi, "Completing Projects According to Plans: An Earned Value Improvement Index," International Journal of Project Management, no. 57, pp. 290-295, 2006.
[25] A. Zareei, M. Bagherpour and S. Noori, "The Use of Earned Value Analysis in Production Control with Uncertainty Conditions," Journal of Uncertain Systems, vol. 5, no. 1, pp. 21-32, 2011.
[26] W. H. Lipke, "Statistical Process Control of Project Performance," The Measurable News, pp. 24-28, 2002.
[27] M. Vanhoucke, "Measuring the efficiency of project control using fictitious and empirical project data," International Journal of Project Management, pp. 252-263, 2012.
[28] J. S. Oakland, Statistical Process Control, Great Britain: Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2008.