فصلنامه علمی ـ پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی سال دهم، شماره ۲۷، زمستان ۹۱

صفحات ۱۳۹ تا ۱۶۱

کنترل آماری شاخص‌های عملکرد زمان و هزینه در پروژه‌های عمرانی

علی‌اکبر اکبری*

امیر صالحی‌پور**

چکیده

سیستم مدیریت ارزش‌کسب‌شده با ارائه شاخص‌های عملکردی امکان اندازه‌گیری دقیق میزان پیشرفت پروژه و اتخاذ تصمیمات به‌موقع برای پیاده‌سازی اقدامات اصلاحی را فراهم می‌آورد. این سیستم ارزشمند در تحلیل و کنترل عملکرد پروژه‌ها، مدیران پروژه را قادر می‌سازد ضمن تشخیص میزان مغایرت‌های زمانی و هزینه‌ای پروژه در مقابل برنامه، بتوانند هزینه نهایی و زمان اتمام پروژه را نیز پیش‌بینی کنند. در این مقاله با هدف ارتقای عملکرد سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده، از تلفیق نمودارهای کنترل کیفیت آماری با سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده در قالب رویکردی یکپارچه بهره‌گیری شده‌است. رویکرد توسعه داده‌شده به‌منظور کنترل و پایش آماری عملکرد زمانی و هزینه‌ای فعالیت‌های یک پروژه عمرانی به‌کار گرفته شده‌است. نتایج به‌دست آمده و مقایسه آن‌ها با رویکردهای رایج، نشان از برتری رویکرد پیشنهادی دارد.

واژگان‌کلیدی: تکنیک ارزش کسب‌شده، نمودارهای کنترل کیفیت آماری، شاخص‌های ارزش کسب‌شده، کنترل زمان و هزینه پروژه

---

* دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب (نویسنده مسئول) a_akbari@azad.ac.ir

** گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد گرمسار

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۳/۷ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۳/۱**

مقدمه

در سال‌های اخیر شاهد بهبود قابل توجهی در حوزه‌های مدیریت زمان و هزینه پروژه بوده‌ایم. یکی از مهم‌ترین بهبودها ، تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده است. این تکنیک امکان اندازه‌گیری دقیق میزان پیشرفت پروژه را میسر می‌سازد. امروزه شاهد گسترش این تکنیک و استفاده از آن در دامنه متنوعی از پروژه‌های کوچک و بزرگ هستیم. تعیین میزان اثربخشی یک برنامه کنترل زمان و هزینه پروژه بسیار مهم است به‌طوری‌که نشان‌دهنده روند پیشرفت پروژه بوده و بسیار بر هزینه‌های آتی پروژه و زمان اتمام آن اثرگذار است. این اهمیت از آنجا ناشی می‌شود که تاخیر در تحویل یک پروژه تبعات سنگین مالی و اعتباری را بر پروژه تحمیل خواهد نمود. در حال حاضر تکنیک ارزش کسب‌شده به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین تکنیک‌های کنترل و پایش عملکرد پروژه، در تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده، شاخص‌های عملکرد با مقادیر مبنا (اغلب عدد ثابت ۱) و یا با پروژه‌های مشابه و برتر مقایسه می‌شوند. این مقایسه اساس تحلیل و قضاوت در خصوص وضعیت پروژه را شکل می‌دهد. تحلیل شاخص‌ها از طریق پایش آن‌ها طی زمان روی نمودار روند، یکی از رویکردهای مرسوم است.

به‌راحتی می‌توان نشان داد که رویکردهای مذکور دارای معایب و مشکلاتی هستند و لازم است رویکردهای کاراتر توسعه یابند. برای مثال، هنگام مقایسه شاخص‌ها با مقادیر مبنا، دو سئوال مهم عبارتند از: برای پروژه‌های با حساسیت بالاتر چگونه می‌توان دانست عملکرد شاخص‌ها مطلوب است (اصطلاحا پروژه در وضعیت مناسبی قرار دارد)؟ چگونه می‌توان اثربخشی چنین سیستم کنترل پروژه را بررسی و ارزیابی نمود؟ مهمتر اینکه رویکردهای مرسوم ما را قادر نمی‌سازند دریابیم چه مقدار انحراف از مقادیر فعلی شاخص‌ها مجاز است. در این مقاله ، مدیریت ارزش کسب‌شده، مجددا بررسی شده است و با به‌کارگیری اصول کنترل کیفیت آماری، قابلیت‌ها و کاربردهای تکنیک‌های مدیریت ارزش کسب‌شده ارتقاء می‌یابند. با این هدف، شاخص‌های کنترل زمان و هزینه پروژه با بهره‌گیری از نمودارهای کنترل کیفیت آماری پایش می‌شوند. رویکرد پیشنهادی امکان ثبت و پایش تغییرات کوچک را نیز ممکن می‌سازد. ساختار مقاله بدین شرح است. در بخش دوم مروری اجمالی بر پیشینه پژوهش شده‌است. بخش

سوم اختصاص به طراحی رویکرد پیشنهادی دارد. نتایج یک مطالعه موردی نیز در این بخش آورده شده‌است. نتیجه‌گیری و بیان تحقیقات آتی خاتمه‌دهنده این مقاله هستند.

پیشینه پژوهش

مفهوم اولیه ارزش کسب‌شده در اواخر قرن بیستم میلادی توسط مهندسین صنایع در ایالات متحده آمریکا پدید آمد. این مفهوم مشتمل بر استفاده از یک رویکرد سه بعدی برای ارزیابی کارایی عملکرد هزینه کار انجام‌شده در کارخانه‌ها است. بنابراین جهت اندازه‌گیری عملکرد کارخانه‌ها "استانداردهای کسب‌شده" با "هزینه‌های صرف‌شده" مقایسه می‌شدند و در ساده‌ترین حالت حاصل مدیریت ارزش کسب‌شده بود. مفهوم ارزش کسب‌شده در سال ۱۹۶۵ توسعه یافته و در قالب ۳۵ شاخص مطرح گردید. اولین نسخه "سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده" شامل ۳۲ شاخص در سال ۱۹۹۵ معرفی گردید و اولین مجموعه مدون آن در سال ۲۰۰۰ توسط انجمن مدیریت پروژه آمریکا در راهنمای پیکره دانش مدیریت پروژه[1] معرفی گردید.

براساس مطالعات نویسندگان، تاکنون پژوهشی جامع در خصوص بهره‌گیری از نمودارهای کنترل کیفیت آماری صورت نگرفته‌است. اگرچه پژوهش‌های پراکنده‌ای با هدف بهبود فرآیندهای کنترل و مدیریت پروژه با بهره‌گیری از ابزارهای کنترل کیفیت آماری در دسترس است، ولی به استثناء چند مطالعه نسبتا ساده که بر اساس مفروضات بسیاری شکل گرفته‌است، نمی‌توان دقیقا آنها را به‌عنوان پیشینه پژوهش مطالعه پیش‌رو ملحوظ نمود. لیکن به‌دلیل نبودن پیشینه پژوهش غنی مرتبط با مسئله تحقیق، در این بخش مهمترین پژوهش‌های موجود که به مطالعه بهره‌گیری از ابزارهای کنترل کیفیت آماری برای بهبود سیستم‌های کنترل پروژه و خصوصا تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده پرداخته‌اند، آورده می‌شود.

لاروس و همکاران با در نظرگرفتن شاخص‌های منعکس‌کننده زمان، هزینه، محدوده، کیفیت و ریسک پروژه، رویکردی برای کنترل عملکرد پروژه ارائه نمودند [۱۸]. لو و لین به دنبال کشف مغایرت‌ها و تغییرات در عملکرد پروژه از نمودارهای کنترل کیفیت آماری بهره گرفتند و به مزایای آن در مقابل تکنیک مدیریت ارزش

1- PMBOK®

کسب‌شده اشاره کردند [۱۹].

با توجه به تنوع تکنیک‌ها و رویکردهای کنترل و بهبود کیفیت و عدم استفاده وسیع آنها در حوزه مدیریت کیفیت پروژه، استین به مزایای بهره‌گیری از این تکنیک‌ها در حوزه مدیریت پروژه و اهمیت آنها پرداخته‌است [۳۲]. به‌منظور کنترل برخط پروژه‌های عمرانی به‌ویژه در محل کارگاه (سایت پروژه)، ناون، ابزارها و تکنیک‌های کنترل کیفیت آماری برای برخی از مهمترین عملیات مربوطه را توسعه داده‌است [۲۹]. چئونگ و همکاران یک سیستم کنترل و پایش عملکرد پروژه‌های عمرانی با در نظرگرفتن عواملی چون نیروی انسانی، هزینه، کیفیت، زمان، ایمنی و محیط زیست را توسعه داده‌اند. این سیستم شامل شاخص‌های عملکردی و کارکردی و نحوه اندازه‌گیری آنها است [۱۰]. مک‌کیم و همکاران از طریق انجام مصاحبه با مدیران و تیم ۴۰ پروژه عمرانی، اقدام به شناسایی عوامل مهم و اثرگذار در پیشرفت پروژه و مشکلات رایج نموده‌اند [۲۸]. الطباطبایی و همکاران از شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌منظور کنترل پروژه و خصوصا پایش و پیش‌بینی عملکرد پروژه استفاده کرده‌اند. شبکه‌های عصبی آن‌ها مدیران پروژه را قادر می‌سازد بتوانند برنامه بازنگری‌شده پروژه را در بازه‌های مشخص و طی پیشرفت پروژه مشاهده نمایند [۴]. برازا و بوئنو ضمن توسعه یک رویکرد احتمالی عملکرد پایانی پروژه را پیش‌بینی کرده‌اند. رویکرد مذکور می‌تواند پیش‌بینی‌های قابل قبولی از عملکرد آتی پروژه ارائه دهد [۶]. برای اولین بار لیپکه و واگن در سال ۲۰۰۰ میلادی نحوه استفاده از نمودارهای کنترل کیفیت آماری در کنترل شاخص‌های ارزش کسب‌شده را تشریح نمودند [۲۵]. با مطرح‌شدن این موضوع تحقیقات دیگری در مورد نرمال‌بودن یا نرمال‌نبودن توزیع آماری شاخص‌ها و مغایرت‌های شاخص‌های مذکور صورت گرفت تا اثباتی بر امکان استفاده از نمودارهای کنترلی برای این شاخص‌ها باشد [۱۱، ۲۱ و ۲۳]. پس از این، تمرکز مطالعات روی استفاده از ابزارهای آماری در پیش‌بینی و تحلیل وضعیت پروژه‌ها بوده‌است [۲۴].

بهره‌گیری از نمودارهای فردی در کنترل عملکرد هزینه و زمان پروژه: مطالعه موردی در پروژه‌های عمرانی

هر فرآیندی به‌طور طبیعی دارای واریانس عملکردی است، و نمودارهای کنترل

کیفیت آماری به‌عنوان ابزارهایی توانمند در کنترل و نظارت بر فرآیندها، می‌توانند به کمک اصول آماری واریانس‌های طبیعی را از واریانس‌های غیرطبیعی تشخیص دهند. همان‌طور که در بخش ۲ اشاره گردید، پژوهش‌های محدودی در زمینه بهره‌گیری از نمودارهای کنترل کیفیت آماری در پایش شاخص‌های ارزش کسب‌شده در دسترس هستند. در تمامی این پژوهش‌ها فرض تبعیت توزیع آماری داده‌های شاخص‌ها از توزیع آماری نرمال به چشم می‌خورد که این خود می‌تواند کاربردپذیری آنها را کاهش دهد. در این مقاله با هدف جامعیت بخشیدن و توسعه کاربردپذیری، فرض خاصی برای توزیع آماری داده‌های شاخص‌ها در نظر گرفته نشده‌است. در عین حال چند رویکرد متفاوت هنگامی‌که توزیع آماری داده‌ها غیرنرمال باشد، ارائه شده‌است.

شاخص‌های عملکرد دوره‌ای

شاخص‌های عملکرد هزینه و زمان که از مهمترین شاخص‌های عملکرد تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده می‌باشند، نشان دهنده کارایی تیم پروژه در یک دوره ارزیابی هستند. این شاخص ها به‌صورت دوره‌ای محاسبه و بررسی شوند. بدین صورت که مقدار ارزش کسب‌شده در یک دوره ارزیابی نسبت به ارزش واقعی و ارزش برنامه‌ریزی شده همان دوره سنجیده می‌شود. بنابراین استفاده از نمودارهای کنترل کیفیت آماری برای این شاخص‌ها نشان می‌دهد آیا تغییرات مشاهده‌شده در عملکرد زمانی و هزینه‌ای پروژه، غیرطبیعی بوده و یا برعکس طبیعی و قابل چشم‌پوشی هستند. مهم‌ترین این شاخص‌ها SPI و CPI هستند [۱].

شاخص عملکرد هزینه

شاخص عملکرد هزینه[1] نشان‌دهنده کارایی تیم پروژه در استفاده از منابع مالی پروژه است و از تقسیم ارزش کسب‌شده بر هزینه واقعی به‌دست می‌آید. این شاخص توسط رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\mathrm{CPI} = {}^{\mathrm{EV}}/_{\mathrm{AC}} \qquad (۱)$$

1- Cost Performance Index: CPI

شاخص عملکرد زمان‌بندی

شاخص عملکرد زمان‌بندی[1] نشان‌دهنده کارایی تیم پروژه در استفاده از زمان پروژه است و از تقسیم ارزش کسب‌شده بر هزینه برنامه‌ای حاصل می‌شود (رابطه ۲).

$$SPI = {}^{EV}/_{PV} \qquad (۲)$$

انتخاب نمودار کنترلی مناسب

نمودارهای کنترلی شوهارت پایه و اساس شکل‌گیری بسیاری از نمودارهای کنترلی هستند. محاسبات ساده و دامنه کاربردپذیری وسیع آن‌ها که به دلیل شکل‌گیری این نمودارها براساس توزیع آماری نرمال می‌باشد، این نمودارها را به پراستفاده‌ترین نمودارهای کنترل کیفیت آماری تبدیل کرده‌است.به دلیل آنکه بسیاری از فرآیندها را می‌توان توسط توزیع آماری نرمال مدل نمود و یا با دقت قابل قبولی به توزیع آماری نرمال تقریب زد، امروزه این نمودارها کاربرد زیادی دارند. نمودارهای کنترلی شوهارت براساس دو فرض زیر بنا شده‌اند [۲].

- توزیع آماری داده‌ها باید از توزیع آماری نرمال پیروی کند و یا با دقت مناسبی قابل تقریب به آن باشد.
- داده‌های متوالی مستقل از یکدیگر باشند. استقلال داده‌ها بدین معنا است که مشاهده یک نمونه در مقدار مشاهده شده برای نمونه دیگر اثری نداشته‌باشد.

به‌راحتی می‌توان نشان داد مناسب‌ترین نمودار کنترلی برای کنترل و پایش شاخص‌های مورد مطالعه در این مقاله، نمودارهای کنترلی فردی می‌باشند، چراکه ۱) دو شاخص ارزش کسب‌شده مورد بررسی (CPI و SPI) دارای مقادیر کمی بوده و در بازه‌ای پیوسته تهیه می‌شوند و ۲) این دو شاخص و بسیاری از شاخص‌های دیگر تکنیک ارزش کسب‌شده در بازه‌های هفتگی و یا ماهانه جمع‌آوری می‌شوند (تعداد نمونه‌های لازم برای ترسیم نمودار کنترلی بسیار کم است).

توزیع آماری شاخص‌ها

به‌منظور درک بهتر رویکرد پیشنهادی، توسعه آن‌را با یک مطالعه موردی که برگرفته از یک پروژه عمرانی می‌باشد ادامه می‌دهیم. مقادیر شاخص‌های CPI و SPI

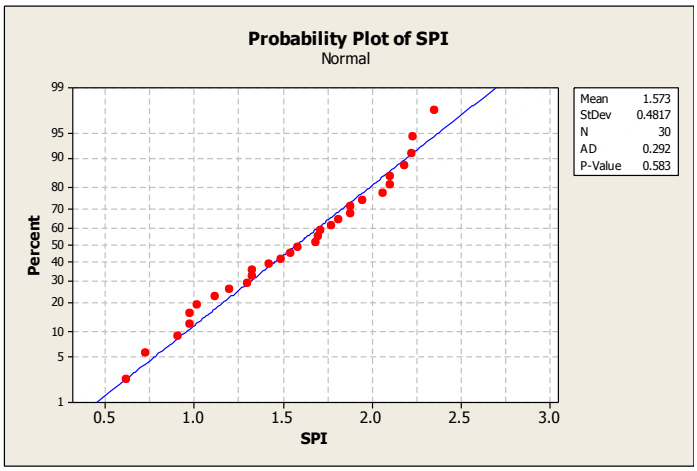
1- Schedule Performance Index: SPI

به‌صورت ماهانه محاسبه شده‌اند و برای یک بازه ۳۰ ماهه استخراج شده‌است (جدول ۱). از دو نرم‌افزار Minitab (نسخه ۱۵) و Easyfit (نسخه ۳,۴) به‌منظور تشخیص توزیع آماری داده‌ها بهره گرفته شده‌است. علی‌رغم قابلیت نرم‌افزار Minitab در ترسیم نمودارهای کنترل کیفیت آماری، قابلیت این نرم‌افزار در تعیین توزیع آماری داده‌ها محدود به انتخاب کاربر از بین چند توزیع می‌باشد. در نقطه مقابل، نرم‌افزار Easyfit توانایی منحصر به فردی در تشخیص بسیاری از توزیع‌های آماری معروف دارد. لازم به توضیح است، آزمون‌های برازندگی از طریق سه آزمون آماری متفاوت کلموگراف – اسمیرنف، اندرسون – دارلینگ و خی‌دو صورت گرفته‌اند.

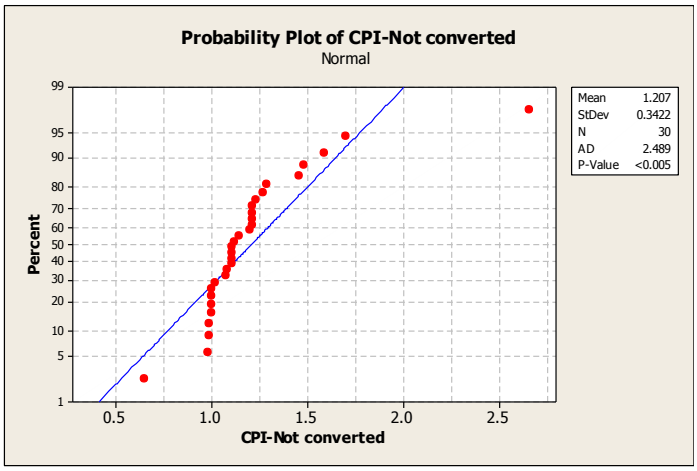
جدول ۱. اطلاعات جمع‌آوری‌شده مربوط به شاخص‌های SPI و CPI

شماره نمونه	شاخص SPI	شاخص CPI
۱	۰,۷۳	۱,۰۰
۲	۰,٦۲	۱,۲۱
۳	۰,۹۸	۱,۰۸
٤	۰,۹۱	۱,۱٥
٥	۱,۳۳	۱,۰۸
٦	۲,۱۰	۱,٥۹
۷	۱,۰۲	۱,٤٦
۸	۰,۹۸	۱,۱۱
۹	۲,۲۳	۱,۰۲
۱۰	۲,۳٥	۱,۲۰
۱۱	۱,۱۲	۰,۹۸
۱۲	۲,۲۲	۰,۹۹
۱۳	۲,۱۸	۱,۱۱
۱٤	۲,۱۰	۱,٤۸
۱٥	۱,۹٥	۱,۲۱
۱٦	۱,۳۳	۲,٦٦
۱۷	۱,٥٤	۱,۱۲
۱۸	۲,۰٦	۱,۲۱
۱۹	۱,۸۸	۱,۷۰
۲۰	۱,۸۸	۱,۰۰
۲۱	۱,۸۱	۱,۱۱
۲۲	۱,۲۰	۰,٦٥
۲۳	۱,۷۷	۱,۲۹
۲٤	۱,۷۰	۱,۲۳
۲٥	۱,٤۹	۰,۹۹
۲٦	۱,٦۹	۱,۲۱
۲۷	۱,۷۱	۱,۲۷
۲۸	۱,٥۸	۱,۰۰
۲۹	۱,۳۰	۱,۰۰
۳۰	۱,٤۲	۱,۱۱

براساس نتایج نرم‌افزار Easyfit (در اینجا آورده نشده‌اند) نمی‌توان فرض توزیع آماری نرمال داده‌های شاخص SPI را رد نمود. شکل الف.۱ که بر پایه آزمون آماری اندرسون- دارلینگ توسط نرم‌افزار Minitab تهیه شده‌است نتیجه نرم‌افزار Easyfit را تایید می‌کند.



(الف)



ب.

شکل ۱. نیکویی برآزش توزیع آماری شاخص‌های SPI (الف) و CPI (ب) توسط آزمون اندرسون ـ دارلینگ

نتایج برآزش‌های انجام‌شده توسط نرم‌افزار Easyfit مربوط به داده‌های شاخص CPI نشان می‌دهد توزیع آماری آنها از توزیع‌های آماری معروف همانند نرمال، نمایی، ویبول و لاگ‌نرمال پیروی نمی‌کند (برای این توزیع‌ها نمودار کنترلی موجود است). برآزش انجام‌شده توسط نرم‌افزار Minitab فرض توزیع آماری نرمال برای داده‌های مذکور را رد می‌کند (شکل ب.۱). با توجه به این نکته که نمودارهای کنترلی فردی شوهارت مناسب‌ترین نوع نمودار برای شاخص‌های مذکور هستند، تبدیل داده‌های شاخص CPI به توزیع آماری نرمال از اهمیت بالایی برخوردار است. لازم به توضیح است بسیاری از صاحب‌نظران معتقدند نمودارهای کنترلی فردی نسبت به رد فرض نرمال‌بودن توزیع آماری داده‌ها بسیار باثبات هستند [۳۱]. با این وجود توصیه شده‌است از آنها تنها در شرایطی‌که توزیع آماری داده‌ها از توزیع آماری نرمال پیروی می‌کند و یا قابل تقریب به آن باشد، استفاده شود.

تبدیل داده‌های با توزیع آماری غیرنرمال به توزیع آماری نرمال

یکی از روش‌های متدول در بهره‌گیری از نمودارهای کنترلی شوهارت برای داده‌های غیرنرمال، تبدیل توزیع آماری داده‌ها به توزیع آماری نرمال می‌باشد. روش متداول دیگر محاسبه حدود کنترلی احتمالی است. در این مقاله از رویکرد تبدیل استفاده شده‌است.

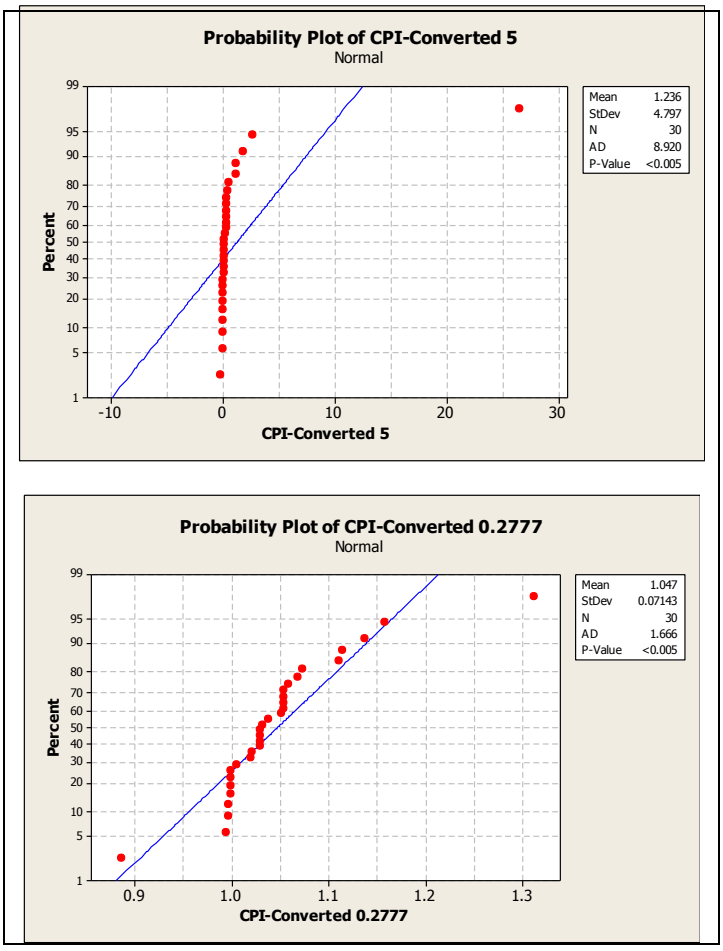
تبدیل توانی

به‌عنوان یکی از رایج‌ترین تبدیل‌ها، در تبدیل توانی یک متغیر تصادفی غیرنرمال به توان رسانده می‌شود تا تقریب مناسبی از توزیع آماری نرمال به‌دست آید [۳۱]. این تبدیل که به تبدیل Box-Cox نیز معروف است طبق رابطه (۳) تعریف می‌شود.

$$T(X) = (X^{\lambda} - 1)/\lambda \quad (۳)$$

در رابطه (۳) λ پارامتر تبدیل بوده و از ۵- تا ۵+ قابل تغییر است. در حقیقت λ مقداری است که متغیر تصادفی به توان آن رسانده می‌شود (برای مقدار $X = 0$ تبدیل توسط محاسبه لگاریتم طبیعی اعمال می‌شود). از معایب این تبدیل می‌توان به کاربردپذیری آن تنها برای داده‌های غیرمنفی اشاره نمود. جدول ۲ داده‌های شاخص CPI تحت برخی مقادیر پارامتر λ را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمون‌های

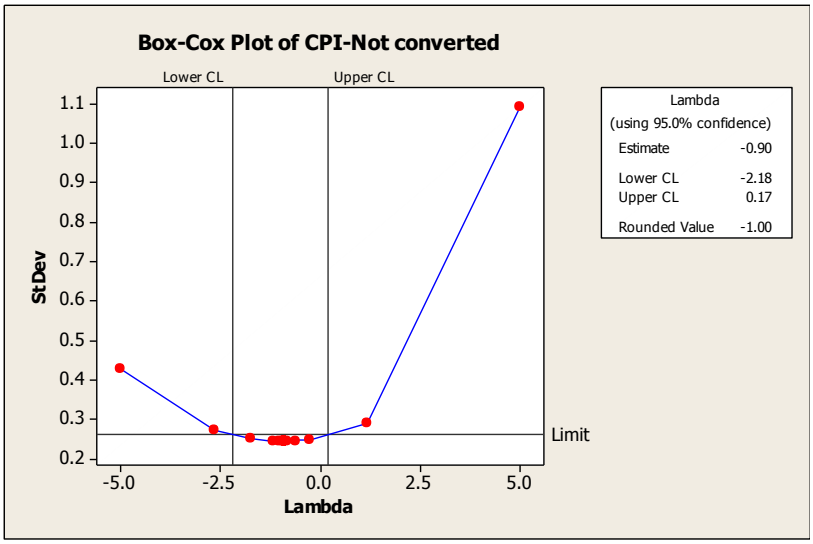
برآزندگی (شکل ۲، نتایج به‌طور کامل آورده نشده‌اند) کماکان داده‌های تبدیل‌یافته شاخص CPI غیرنرمال هستند. به‌علاوه حتی مقدار بهینه ۰٫۹- که توسط نرم‌افزار Minitab برای λ ارائه شده‌است نیز نتوانسته‌است داده‌های با توزیع نرمال تولید کند (شکل ۳).



شکل ۲. نیکویی برآزش توزیع آماری نرمال برای داده‌های تبدیل‌یافته شاخص CPI با دو مقادیر مختلف پارامتر λ

جدول ۲. اعمال تبدیل‌های متفاوت روی داده‌های غیرنرمال شاخص CPI

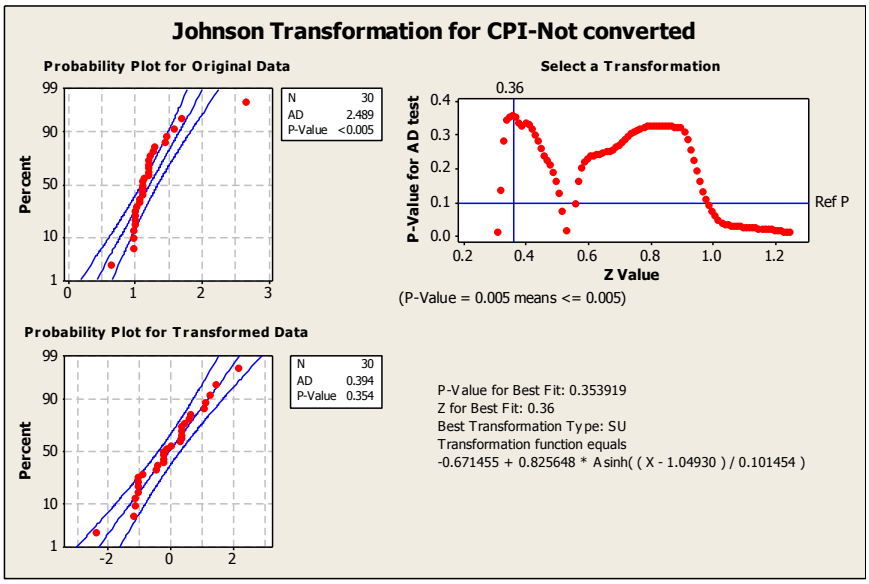
شماره نمونه	۰,۲۷۷۷	۳,۵۱٤۲	۰,۵	۰,۷۵	۱	۳	۵
۱	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۲	۱,۰۵	۱,۹٦	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲٦	۰,۳۲
۳	۱,۰۲	۱,۳۱	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۹
٤	۱,۰٤	۱,٦۱	۰,۱٤	۰,۱٤	۰,۱۵	۰,۱۷	۰,۲۰
۵	۱,۰۲	۱,۲۹	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۹
٦	۱,۱٤	۵,۱۰	۰,۵۲	۰,۵۵	۰,۵۹	۱,۰۱	۱,۸۳
۷	۱,۱۱	۳,۷۸	۰,٤۲	۰,٤٤	۰,٤٦	۰,۷۰	۱,۱۳
۸	۱,۰۳	۱,٤٤	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱٤
۹	۱,۰۱	۱,۰۷	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲	۰,۰۲
۱۰	۱,۰۵	۱,۹۰	۰,۱۹	۰,۲۰	۰,۲۰	۰,۲٤	۰,۳۰
۱۱	۰,۹۹	۰,۹۳	−۰,۰۲	−۰,۰۲	−۰,۰۲	−۰,۰۲	−۰,۰۲
۱۲	۱,۰۰	۰,۹۷	−۰,۰۱	−۰,۰۱	−۰,۰۱	−۰,۰۱	−۰,۰۱
۱۳	۱,۰۳	۱,٤٤	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱٤
۱٤	۱,۱۲	۳,۹۸	۰,٤۳	۰,٤٦	۰,٤۸	۰,۷۵	۱,۲۳
۱۵	۱,۰۵	۱,۹٦	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲٦	۰,۳۲
۱٦	۱,۳۱	۳۱,۱۳	۱,۲٦	۱,٤٤	۱,٦٦	۵,۹٤	۲٦,٤۳
۱۷	۱,۰۳	۱,٤۹	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۵
۱۸	۱,۰۵	۱,۹٦	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲٦	۰,۳۲
۱۹	۱,۱٦	٦,٤۵	۰,٦۱	۰,٦۵	۰,۷۰	۱,۳۰	۲,٦٤
۲۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۲۱	۱,۰۳	۱,٤٤	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱٤
۲۲	۰,۸۹	۰,۲۲	−۰,۳۹	−۰,۳۷	−۰,۳۵	−۰,۲٤	−۰,۱۸
۲۳	۱,۰۷	۲,٤۵	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۳۸	۰,۵۱
۲٤	۱,۰٦	۲,۰۷	۰,۲۲	۰,۲۲	۰,۲۳	۰,۲۹	۰,۳٦
۲۵	۱,۰۰	۰,۹۷	۰,۰۱	−۰,۰۱	−۰,۰۱	−۰,۰۱	−۰,۰۱
۲٦	۱,۰۵	۱,۹٦	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲٦	۰,۳۲
۲۷	۱,۰۷	۲,۳۲	۰,۲۵	۰,۲٦	۰,۲۷	۰,۳۵	۰,٤٦
۲۸	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۲۹	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۳۰	۱,۰۳	۱,٤٤	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱٤



شکل ۳. مقادیر مختلف پارامتر تبدیل توانی اعمال‌شده توسط نرم‌افزار Minitab روی داده‌های شاخص CPI

تبدیل جانسون

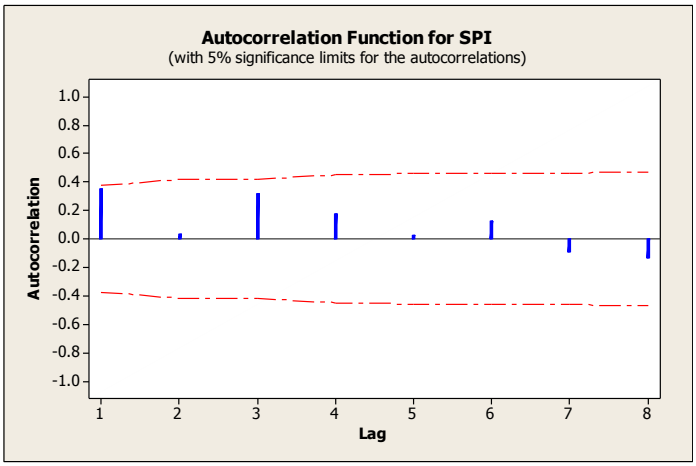
عدم استفاده از تبدیل توانی (Box-Cox) برای داده‌های منفی سبب شده‌است این تبدیل برای بسیاری از موارد عملی قابل کاربرد نباشد. خوشبختانه تبدیل جانسون دارای این محدودیت نیست. تبدیل جانسون در بسیاری از نرم‌افزارهای آماری نظیر Minitab قابل دسترس است و در اغلب موارد نرم‌افزارها می‌توانند بهترین تبدیل جانسون را ارائه دهن. تبدیل جانسون می‌تواند توزیع داده‌های شاخص CPI را تبدیل به توزیع آماری نرمال کند (شکل ۴).



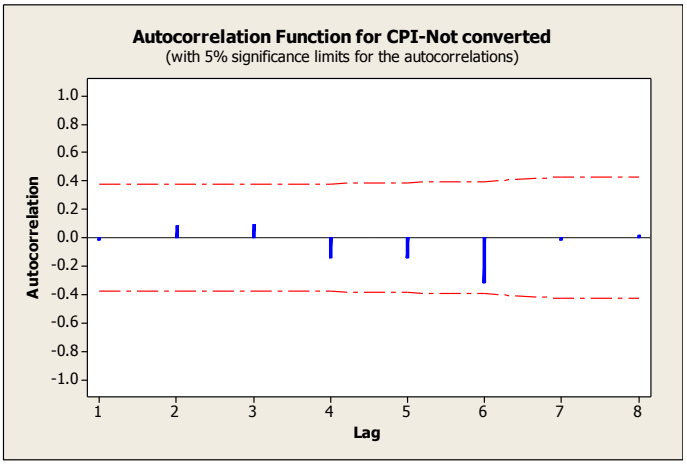
شکل ٤. تبدیل جانسون اعمال‌شده روی داده‌های شاخص CPI توسط نرم‌افزار Minitab

استقلال داده‌ها

جهت بررسی فرض دوم به‌کارگیری نمودارهای کنترلی شوهارت، یعنی استقلال داده‌ها، نمودارهای خود همبستگی توسط نرم‌افزار Minitab برای داده‌های شاخص‌ها ترسیم شده‌اند (شکل ۵). استقلال به این معنی است که داده‌های متوالی روی یکدیگر تاثیر نمی‌گذارند. بنابراین مشاهده مقداری برای یک داده تاثیری در مقدار مشاهده‌شده برای داده دیگر ندارد. از شکل‌های الف.۵ و ب.۵ می‌توان دریافت داده‌های شاخص‌ها به لحاظ آماری مستقل از یکدیگر هستند.



(الف)



(ب)

شکل ۵. نمودار خود همبستگی برای شاخص‌های مورد مطالعه، الف. شاخص SPI، ب. شاخص CPI

نمودارهای کنترلی فردی

با معتبر بودن دو فرض نرمال‌بودن و استقلال داده‌ها، می‌توان نمودارهای کنترلی فردی اولیه برای هر یک از دو شاخص مورد مطالعه را ترسیم نمود. باید توجه داشت که هدف از ترسیم نمودارهای اولیه، محاسبه حدود کنترلی می‌باشد. با استخراج حدود کنترلی، می‌توان از نمودارها برای کنترل آماری شاخص‌ها در عمل استفاده نمود.

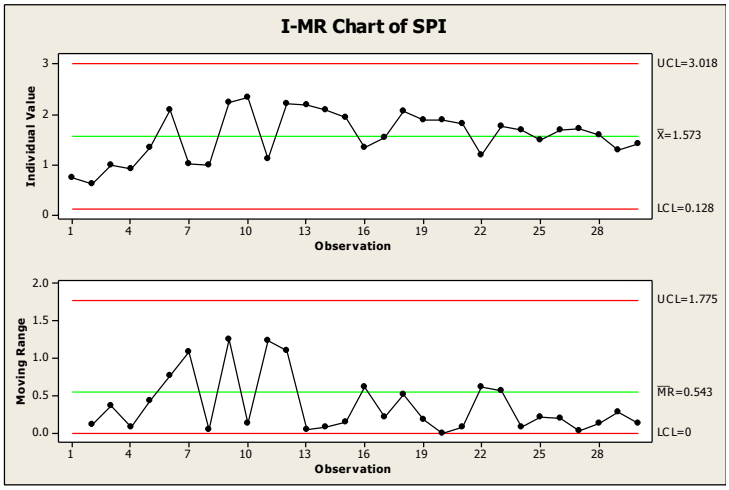
همان‌طور که پیشتر نیز گفته‌شد شاخص‌های مورد مطالعه در هر دوره از ارزیابی یک نمونه تک عضوی از عملکرد فرآیند ارائه می‌دهند و بنابراین نمودار کنترلی مناسب، نمودار کنترلی فردی خواهد بود. یادآوری می‌نماییم با توجه به محاسبه دوره‌ای شاخص‌های عملکرد هزینه و زمان، آنها نشان‌دهنده مقدار ارزش کسب‌شده در هر دوره ارزیابی و بنابراین بیانگر کارایی تیم پروژه هستند. لذا مقایسه آنها با یکدیگر منعکس‌کننده تغییرات عملکردی تیم پروژه می‌باشند. نمودارهای کنترلی فردی که خود متشکل از دو نمودار است (شکل ۶)، نشان‌دهنده وجود اختلاف قابل توجهی میان نمونه‌ها هستند. نمودار اول[1] بیانگر مقادیر به‌دست آمده از هر نمونه و نمودار دوم[2] بیانگر اختلاف بین هر دو نمونه متوالی است [۱ و ۲]. اطلاعات شاخص CPI پروژه که پیشتر در جدول ۱ آورده شده‌بود، تحت تبدیل جانسون در جدول ۳ آورده شده‌است. بدیهی است از داده‌های تبدیل‌یافته در ترسیم نمودارهای کنترلی شاخص CPI استفاده شده‌است.

جدول ۳. مقادیر تبدیل‌یافته داده‌های شاخص CPI تحت تبدیل جانسون

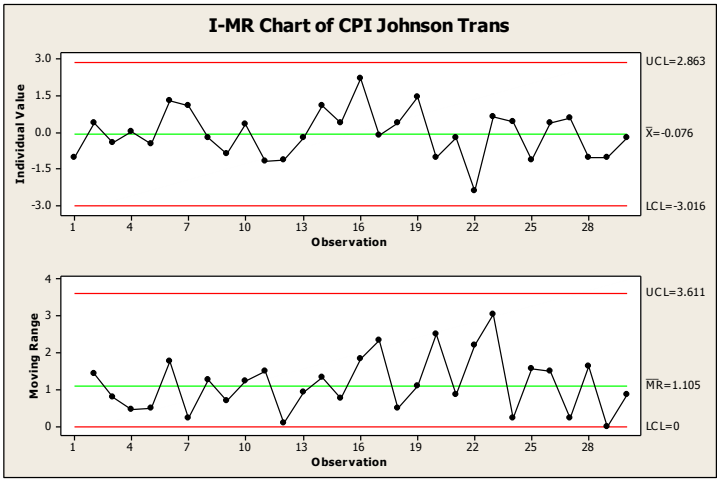
شماره نمونه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
شاخص تبدیل‌یافته	-۱,۰٦	۰,۳٦	-۰,٤۳	۰,۰۳	-۰,٤٦	۱,۲۹	۱,۰۷	-۰,۲۰	-۰,۹۱	۰,۳۱
شماره نمونه	۱۱	۱۲	۱۳	۱٤	۱٥	۱٦	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
شاخص تبدیل‌یافته	-۱,۲۰	-۱,۱۳	-۰,۲۰	۱,۱۱	۰,۳٦	۲,۱۸	-۰,۱۳	۰,۳٦	۱,٤٤	-۱,۰٦
شماره نمونه	۲۱	۲۲	۲۳	۲٤	۲٥	۲٦	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
شاخص تبدیل‌یافته	-۰,۲۰	-۲,۳۹	۰,٦٥	۰,٤٤	-۱,۱۳	۰,۳٦	۰,٥۸	-۱,۰٦	-۱,۰٦	-۰,۲۰

از نمودارهای شکل‌های الف.۶ و ب.۶ لازم است حدود کنترلی و پارامترهای مربوطه به‌منظور کنترل وضعیت زمانی و هزینه‌ای پیشرفت پروژه استخراج شوند. این حدود در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

1- Individual X
2- Moving Range



الف.



ب.

شکل ٦. نمودار کنترلی فردی اولیه برای شاخص‌های مورد مطالعه، الف. شاخص SPI، ب. شاخص CPI

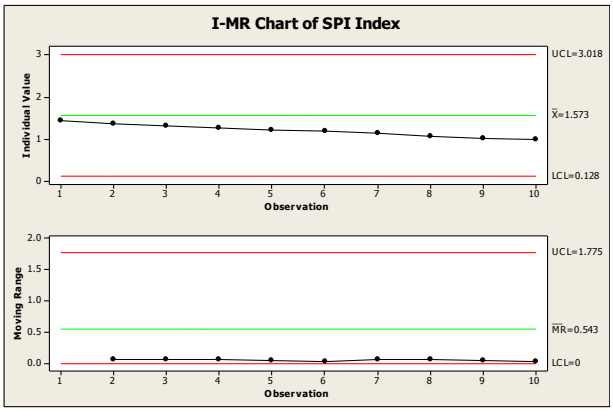
جدول ٤. حدود کنترلی در نمودارهای فردی برای شاخص‌های مورد مطالعه

		SPI	CPI
	حد بالا	۳,۰۱۸	۲,۸٦۳
نمودار اول	حد مرکزی	۱,٥۷۳	۰,۰۷٦
	حد پایین	۰,۱۲۸	-۳,۰۱٦
	حد بالا	۱,۷۷٥	۳,٦۱۱
نمودار دوم	حد مرکزی	۰,٥٤۳	۱,۱۰٥
	حد پایین	۰	۰

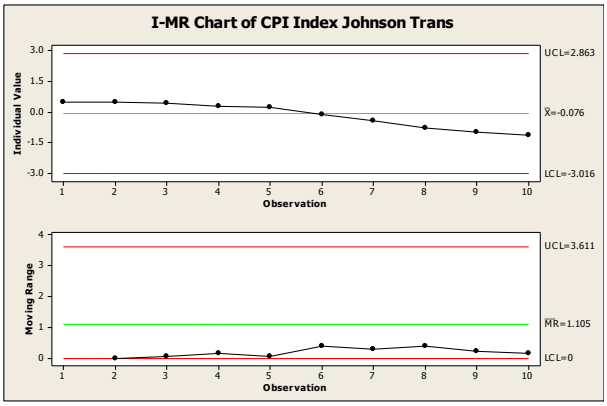
با در دست‌داشتن حدود کنترلی، اکنون نوبت به ترسیم نمودارهای کنترلی می‌رسد (شکل ۷). برای این منظور، از مقادیر شاخص‌ها برای ۱۰ دوره استفاده نموده‌ایم (جدول ۵). با دقت در نمودارهای کنترلی شکل ۷ می‌توان دریافت، زیر کنترل بودن دو شاخص هزینه‌ای و زمانی پروژه در حال اجراء، نشان از آن دارد که تمامی تخصیص‌های زمانی و هزینه‌ای فعالیت‌های این پروژه تحت کنترل هستند. ذکر این نکته ضروری است، در صورتی‌که نمودارها عدم کنترل شاخص‌ها را نشان دهند می‌توان با ارائه تحلیل‌های مشابه اقدام به ریشه‌یابی و اقدامات اصلاحی نمود.

جدول ۵. مقادیر شاخص‌های به‌دست‌آمده از پروژه جهت کنترل آماری آنها. داده‌های شاخص CPI توسط تبدیل جانسون به توزیع آماری نرمال تبدیل شده‌اند

شماره نمونه	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰
شاخص SPI	۱,٤۳	۱,۳۸	۱,۳۱	۱,۲٥	۱,۲۱	۱,۱۹	۱,۱۳	۱,۰۸	۱,۰۳	۱
شاخص CPI	۱,۲۱	۱,۲۱	۱,۲۰	۱,۱۸	۱,۱۷	۱,۱۱	۱,۰۸	۱,۰٥	۱,۰۳	۱,۰۱
شاخص CPI تبدیل‌یافته	۰,٤۷	۰,٤۷	۰,٤۳	۰,۲۸	۰,۲٤	-۰,۱٤	-۰,٤۱	-۰,۷۸	-۱	-۱,۱٥



الف.



ب.

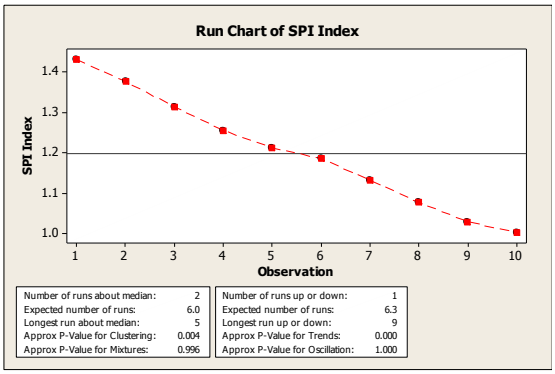
شکل ۷. نمودار کنترلی فردی برای کنترل شاخص‌های مورد مطالعه،

الف. شاخص SPI، ب. شاخص CPI

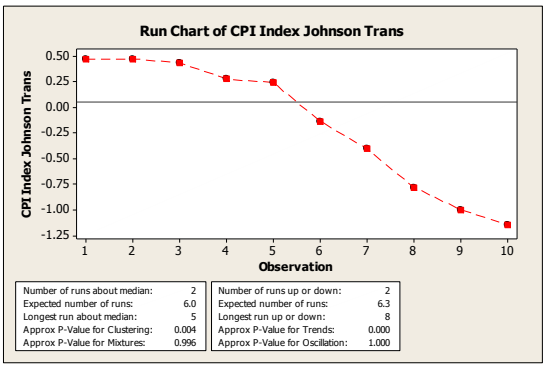
اگرچه نمودارهای کنترل کیفیت آماری دربردارنده اطلاعات مفیدی هستند، به‌منظور نشان‌دادن مزایای آن در مقابل نمودارهای روند[1]، که در برخی از پروژه‌ها جهت کنترل شاخص‌های عملکردی مورد استفاده قرار می‌گیرند، برآن شدیم تا نمودارهای روند را برای داده‌های جدول ۵ ترسیم نماییم (شکل ۸). نمودارهای روند مقادیر شاخص‌ها طی زمان را نشان می‌دهند، لیکن مبنایی غیرعلمی برای مقایسه آنها

1- Run Chart

ارائه می‌دهند. به‌علاوه آنها نمی‌تواند جهت قضاوت و تحلیل درخصوص تحت کنترل بودن/ نبودن عملکرد پروژه استفاده شوند. این خود از بزرگترین ایرادات نمودارهای روند می‌باشد. برای مثال، براساس شکل‌های ۸ نمی‌توان تحلیل خاصی در مورد شاخص‌های ارائه نمود و تنها باید به استخراج اطلاعات جزئی از آن بسنده نمود. مثلا از روی شکل الف.۸ می‌توان دریافت در اولین ماه کنترل، وضعیت زمانی پیشرفت پروژه بسیار خوب و پروژه جلوتر از برنامه زمانی است. اگرچه این روند در طی ۱۰ ماه تحت مطالعه ادامه دارد (هم‌چنان پروژه جلوتر از برنامه زمانی است)، ولی پیشرفت پروژه سیر نزولی دارد. در ادامه باید گفت علی‌رغم سیر نزولی، پروژه از برنامه زمانی خود عقب نیست. به دشواری می‌توان اطلاعات به مراتب مهمتری از این نمودارهای به‌دست آورد.



الف.



ب.

شکل ۸. نمودارهای روند برای شاخص‌های مورد مطالعه، الف. شاخص SPI، ب. شاخص CPI

نتیجه‌گیری

اهمیت سیستم مدیریت ارزش‌کسب‌شده در تحلیل و کنترل عملکرد پروژه بر هیچ کس پوشیده نیست. علی‌رغم این مهم، مطالعات محدودی روی توسعه رویکردی علمی جهت کنترل و پایش شاخص‌های عملکردی پروژه در دسترس است. در مقاله پیشرو از نمودارهای کنترل کیفیت آماری به‌منظور توسعه چنین رویکردی و با هدف کنترل و پایش دو شاخص مهم عملکردی پروژه استفاده شده‌است. رویکردی پیشنهادی در حالت تبعیت داده‌های تحت مطالعه از توزیع آماری غیرنرمال و استقلال آنها طراحی گردیده‌است. بدین منظور با اعمال آزمون‌های آماری صحت رویکرد طراحی‌شده مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج حاصل از به‌کارگیری رویکرد پیشنهادی روی اطلاعات مستخرج از یک پروژه واقعی و مقایسه آن با رویکردهای مرسوم برتری رویکردی پیشنهادی را نشان می‌دهد. مهمتر اینکه رویکرد پیشنهادی امکان اتخاذ تصمیمات به‌موقع و اعمال اقدامات اصلاحی در خصوص عملکرد آتی پروژه را ممکن می‌سازد. به‌علاوه حساسیت چنین رویکردی با توجه به ماهیت پروژه مشخص می‌شود و بنابراین ضمن کنترل عملکرد پروژه، می‌تواند منجر به افزایش سطح کیفی شاخص‌ها نیز شود. این توانایی رویکرد پیشنهادی در نقطه مقابل رویکردهای مرسوم قرار دارد.

تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی **"کنترل آماری انحراف از زمان و انحراف از هزینه انجام پروژه"** و با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام پذیرفته‌است.

منابع

۱. مسلمی نائینی، لیلا، **رویکردی مبتنی بر تئوری فازی برای ارزش کسب‌شده**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۵

۲. نورالسناء، رسول، **مقدمه‌ای بر کنترل آماری فرآیند**، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، چاپ هشتم، (۱۳۸۲)

3. Adamo, J. M. (1980), "**Fuzzy Decision Trees**", Fuzzy Sets and Systems, 4: 207-219.
4. AlTabtabai, H., Kartam, N., Flood, I., and Alex, A. P., (1997), **Construction Project Control using Artificial Neural Networks**, Artificial Intelligence fro Engineering Design and Manufacturing, 11(1): 45-57.
5. Anbari, F. (2003), "Earned Value Method and Extensions**", International Journal of Project Management**, 34(4): 12-23.
6. Barraza, G. A., Bueno, R. A. (2008), **Probabilistic Control of Project Performance using Control Limit Curves**, Journal of Construction Engineering and Management-ASCE, 133(12): 957-965.
7. Bortolan, G., and Degani, R. (1985), "**A Review of Some Methods for Ranking Fuzzy Subsets**", Fuzzy Sets and Systems, 15: 1-19.
8. Burke, R. (2003), "**Project Management Planning and Control Techniques**", 4th Ed.
9. Cheng, C. B. (2005), "**Fuzzy Process Control: Construction of Control Charts with Fuzzy Number**", Fuzzy Sets and System, 154: 287-303.
10. Cheung, S. O., Suen, H. C. H., and Cheung, K. K. W., (2004), **PPMS: a Web-based construction project performance monitoring system**, Automation in Construction, 13(3): 361-376.
11. Christensen, D. S., Conley, R. J., Kankey, R. D. (2003), "**Some Empirical Evidence on the Non-normality of Cost Variance on Defense Contracts**", Journal of Cost Analysis & Management, Winter: 3-16.
12. Fair, Douglas C., "**Statistical Process Control Approaches: Basic Theory and Use of Control Charts**"
13. Fleming Q. W., and Koppelman, J. M. (2000), "**Earned Value Project Management**" 2nd Ed., Project Management Institute.
14. Gulbay, M., and Kahraman, C. (2006), "**Development of Fuzzy Process Control Charts and Fuzzy Unnatural Pattern Snalysis**", Computational Statistics & Data Analysis (In Press).
15. Handbook for basic Process Improvement, (1996), Navy Total Quality Leadership Office.
16. Henderson, K. (2004), "**Further Developments in Earned Schedule**", The Measurable News, Spring: 15-16.

17. Jacob, D. (2003), "**Forecasting Project Schedule Completion with Earned Value Metrics**", The Measurable News, March: 7-9.
18. Lauras, M., Marques, G., Gourc, D. (2010), **Towards a Multi-dimensional Project Performance Measurement System**, Decision Support Systems, 48(2): 342-353.
19. Leu, S. S., and Lin, Y. C., (2008), **Project performance evaluation based on statistical process control techniques**, Journal of Construction Engineering and Management-ASCE, 134(10): 813-819.
20. Lipke, W. (1999), "**Applying Management Reserve to Software Project Management**", Journal of Defense Software Engineering, March: 17-21. (Reprinted in Projects and Profits, March 2002: 19-26)
21. Lipke, W. (2002), "**A Study of the Normality of Earned Value Indicators**", The Measurable News, December: 1-16.
22. Lipke, W. (2003), "**Schedule is Different**", The Measurable News, March.
23. Lipke, W. (2003), "**Achieving Normality for Cost**", The Measurable News.
24. Lipke, W. (2004), "**The Probability of Success**", The Journal of Quality Assurance Institute, January: 14-21.
25. Lipke, W., and Vaughn, J., (2000), "**Statistical Process Control Meets Earned Value**", The Journal of Defense Software Engineering, Jun: 16-20.
26. Long-Hui, C., (2005), "**A Demerit Control Chart with Linguistic Weights**", Journal of Intelligent Manufacturing, 16: 349-356.
27. Mabuchi,S. (1988), "**An Approach to the Comparison of Fuzzy Subsets with □-cut Dependent Index**", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 18: 264-272.
28. McKim, R., Hegazy, T., and Attalla, M., (2000), **Project Performance Control in Reconstruction Projects**, Journal of Construction Engineering and Management-ASCE, 126(2): 137-141.
29. Navon, R., (2005), **Automated Project Performance Control of Construction Projects**, Automation in Construction, 14(4): 467-476.
30. Project Management Institute, (2005), "**Practice Standard for Earned Value Management**".
31. Rashmi Rohan Shenoy, (2008), "**Misuse and Performance of Individuals Charts in Statistical Process Control for Single Parameter Distributions of Unknown Stability**", Northeastern University, MSc Thesis, Department of Mechanical and Industrial Engineering.
32. Steyn, H., (2008), **A Framework for Managing Quality on System Development Projects**, Portland International Conference on Management of Engineering and Technology, Vols 1-5: 1295-1302.
33. Wang, J. H., and Raz, T. (1990), "**On the Construction of Control Charts using Linguistic Variables**" International Journal of Production Research, 28: 477-487.