

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

صفحات ۱۳۹ تا ۱۶۱

## کنترل آماری شاخص‌های عملکرد زمان و هزینه در پروژه‌های عمرانی

علی اکبر اکبری\*

امیر صالحی پور\*\*

### چکیده

سیستم مدیریت ارزش کسب‌شده 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، بتواند 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. واژگان کلیدی: 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 به طوری که 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 کارا تر توسعه یابند. برای مثال، هنگام مقایسه شاخص‌ها با مقادیر مبنا، دو سؤال مهم عبارتند از: برای پروژه‌های با حساسیت بالاتر چگونه می‌توان دانست عملکرد شاخص‌ها مطلوب است (اصطلاحاً 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، مجدداً 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 شده است. بخش

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

### پیشینه پژوهش

مفهوم اولیه ارزش کسب‌شده در اواخر قرن بیستم میلادی توسط مهندسين صنايع در ايالات متحده آمريكا پديد آمد. اين مفهوم مشتمل بر استفاده از يك رويکرد 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<sup>۱</sup> معرفی گردید.

براساس مطالعات نویسندگان، تاکنون پژوهشی جامع در خصوص بهره‌گیری از نمودارهای کنترل کیفیت آماری صورت نگرفته است. 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 نسبتاً ساده که بر اساس مفروضات بسیاری شکل گرفته است، نمی‌توان دقیقاً 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 خصوصاً تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده پرداخته‌اند، آورده می‌شود.

لاروس و همکاران با در نظر گرفتن 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 بهره‌گرفتند و به مزایای آن در مقابل تکنیک مدیریت ارزش

کسب شده 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 پرداخته است [۳۲]. به منظور 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 داده است [۲۹]. چونگ و همکاران یک سیستم کنترل و پایش عملکرد پروژه‌های عمرانی با در نظر گرفتن 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]. مک کیم 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 به منظور کنترل پروژه و خصوصاً پایش و پیش‌بینی عملکرد پروژه استفاده کرده‌اند. شبکه‌های عصبی آن‌ها مدیران پروژه را قادر می‌سازد بتوانند برنامه بازنگری شده پروژه را در بازه‌های مشخص و طی پیشرفت پروژه مشاهده نمایند [۴]. برازا و بوئو 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 لیکه و واگن در سال ۲۰۰۰ میلادی نحوه استفاده از نمودارهای کنترل کیفیت آماری در کنترل شاخص‌های ارزش کسب‌شده را تشریح نمودند [۲۵]. با مطرح شدن این موضوع تحقیقات دیگری در مورد نرمال بودن یا نرمال نبودن 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 بوده است [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 هنگامی که 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، نشان‌دهنده کارایی تیم پروژه در یک دوره ارزیابی هستند. این شاخص‌ها 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<sup>۱</sup> 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.

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (1)$$

## شاخص عملکرد زمان بندی

شاخص عملکرد زمان بندی<sup>۱</sup> نشان دهنده کارایی تیم پروژه در استفاده از زمان پروژه است و از تقسیم ارزش کسب شده بر هزینه برنامه ای حاصل می شود (رابطه ۲).

$$SPI = EV/PV \quad (2)$$

## انتخاب نمودار کنترلی مناسب

نمودارهای کنترلی شوهارت پایه و اساس شکل گیری بسیاری از نمودارهای کنترلی هستند. محاسبات ساده و دامنه کاربردپذیری وسیع آنها که به دلیل شکل گیری این نمودارها براساس توزیع آماری نرمال می باشد، این نمودارها را به پرستفاده ترین نمودارهای کنترل کیفیت آماری تبدیل کرده است. به دلیل آنکه بسیاری از فرآیندها را می توان 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 شده اند [۲].

- توزیع آماری داده ها باید از توزیع آماری نرمال پیروی کند و یا با دقت مناسبی قابل تقریب به آن باشد.
  - داده های متوالی مستقل از یکدیگر باشند. استقلال داده ها بدین معنا است که مشاهده یک نمونه در مقدار مشاهده شده برای نمونه دیگر اثری نداشته باشد.
- به راحتی می توان نشان داد مناسب ترین نمودار کنترلی برای کنترل و پایش شاخص های مورد مطالعه در این مقاله، نمودارهای کنترلی فردی می باشند، چراکه (۱) دو شاخص ارزش کسب شده مورد بررسی (CPI و SPI) دارای مقادیر کمی بوده و در بازه ای پیوسته تهیه می شوند و (۲) این دو شاخص و بسیاری از شاخص های دیگر تکنیک ارزش کسب شده در بازه های هفتگی و یا ماهانه جمع آوری می شوند (تعداد نمونه های لازم برای ترسیم نمودار کنترلی بسیار کم است).

## توزیع آماری شاخص ها

به منظور درک بهتر رویکرد پیشنهادی، توسعه آنرا با یک مطالعه موردی که برگرفته از یک پروژه عمرانی می باشد ادامه می دهیم. مقادیر شاخص های CPI و SPI

به صورت ماهانه محاسبه شده‌اند و برای یک بازه ۳۰ ماهه استخراج شده‌است (جدول ۱). از دو نرم‌افزار Minitab (نسخه ۱۵) و Easyfit (نسخه ۳,۴) به منظور 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 خی دو صورت گرفته‌اند.

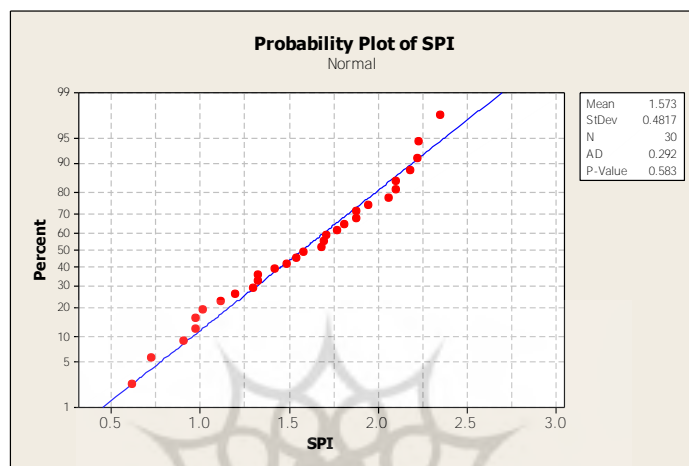


جدول ۱. اطلاعات جمع‌آوری شده مربوط به شاخص‌های CPI و SPI

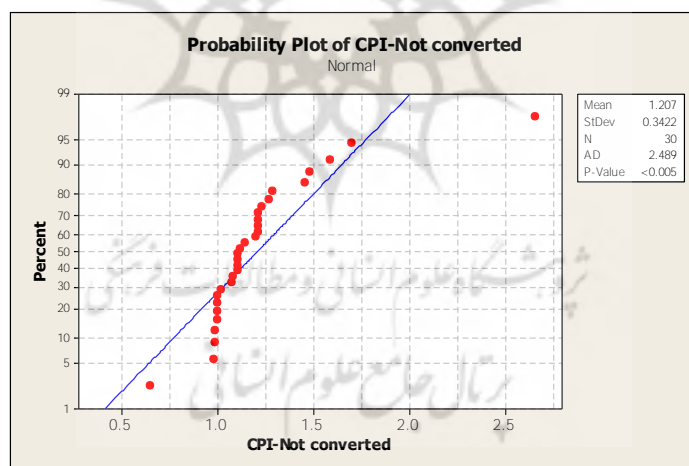
شماره نمونه	شاخص SPI	شاخص CPI
۱	۰,۷۳	۱,۰۰
۲	۰,۶۲	۱,۲۱
۳	۰,۹۸	۱,۰۸
۴	۰,۹۱	۱,۱۵
۵	۱,۳۳	۱,۰۸
۶	۲,۱۰	۱,۵۹
۷	۱,۰۲	۱,۴۶
۸	۰,۹۸	۱,۱۱
۹	۲,۲۳	۱,۰۲
۱۰	۲,۳۵	۱,۲۰
۱۱	۱,۱۲	۰,۹۸
۱۲	۲,۲۲	۰,۹۹
۱۳	۲,۱۸	۱,۱۱
۱۴	۲,۱۰	۱,۴۸
۱۵	۱,۹۵	۱,۲۱
۱۶	۱,۳۳	۲,۶۶
۱۷	۱,۵۴	۱,۱۲
۱۸	۲,۰۶	۱,۲۱
۱۹	۱,۸۸	۱,۷۰
۲۰	۱,۸۸	۱,۰۰
۲۱	۱,۸۱	۱,۱۱
۲۲	۱,۲۰	۰,۶۵
۲۳	۱,۷۷	۱,۲۹
۲۴	۱,۷۰	۱,۲۳
۲۵	۱,۴۹	۰,۹۹
۲۶	۱,۶۹	۱,۲۱
۲۷	۱,۷۱	۱,۲۷
۲۸	۱,۵۸	۱,۰۰
۲۹	۱,۳۰	۱,۰۰
۳۰	۱,۴۲	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 شده است نتیجه نرم‌افزار Easyfit را تایید می‌کند.



(الف)



ب.

شکل ۱. نیکویی برآزش توزیع آماری شاخص‌های SPI (الف) و CPI (ب) توسط آزمون اندرسون - 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 لاگ نرمال 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 نرمال بودن توزیع آماری داده‌ها بسیار باثبات هستند [۳۱]. با این وجود توصیه شده‌است از آنها تنها در شرایطی که 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 متداول 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.

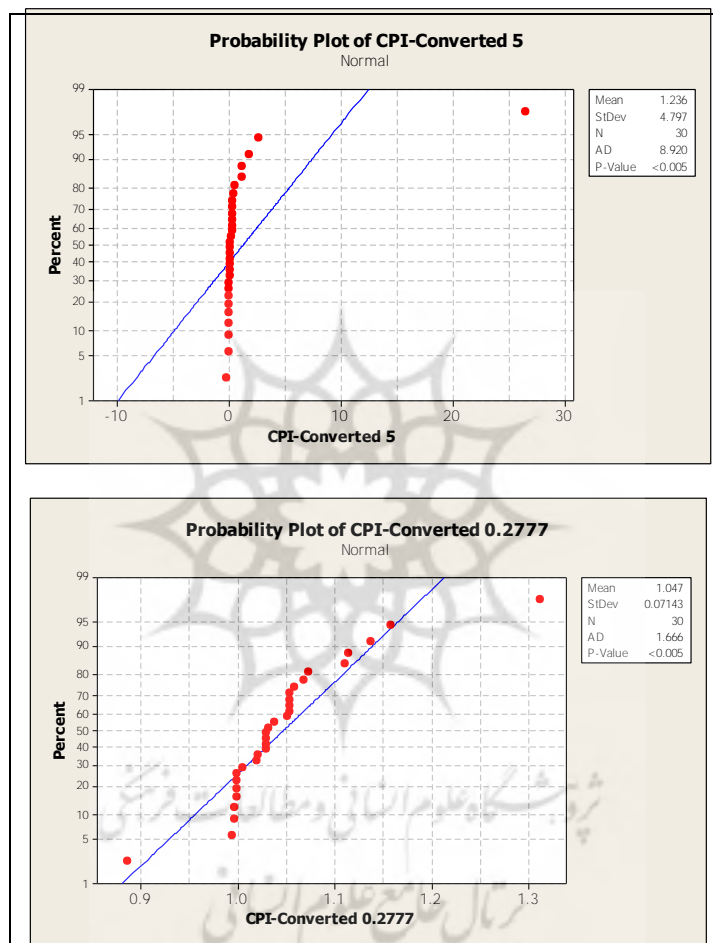
#### تبدیل توانی

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.

$$T(X) = (X^\lambda - 1)/\lambda \quad (3)$$

در رابطه (۳)  $\lambda$  پارامتر تبدیل بوده و از -۵ تا +۵ قابل تغییر است. در حقیقت  $\lambda$  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 را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج آزمون‌های

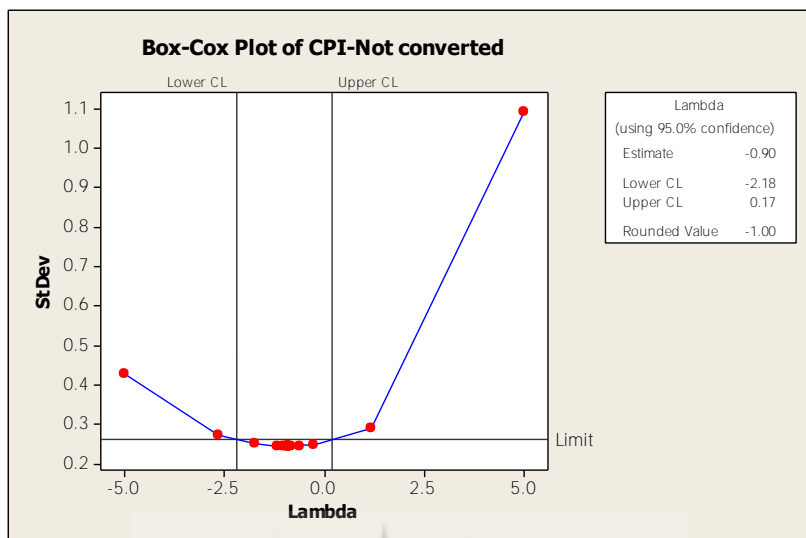
برآزندگی (شکل ۲، نتایج به‌طور کامل آورده نشده‌اند) کماکان داده‌های تبدیل‌یافته شاخص CPI غیرنرمال هستند. به‌علاوه حتی مقدار بهینه  $-0.9$  که توسط نرم‌افزار Minitab برای ارائه شده‌است نیز نتوانسته‌است داده‌های با توزیع نرمال تولید کند (شکل ۳).



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

جدول ۲. اعمال تبدیل‌های متفاوت روی داده‌های غیرنرمال شاخص CPI

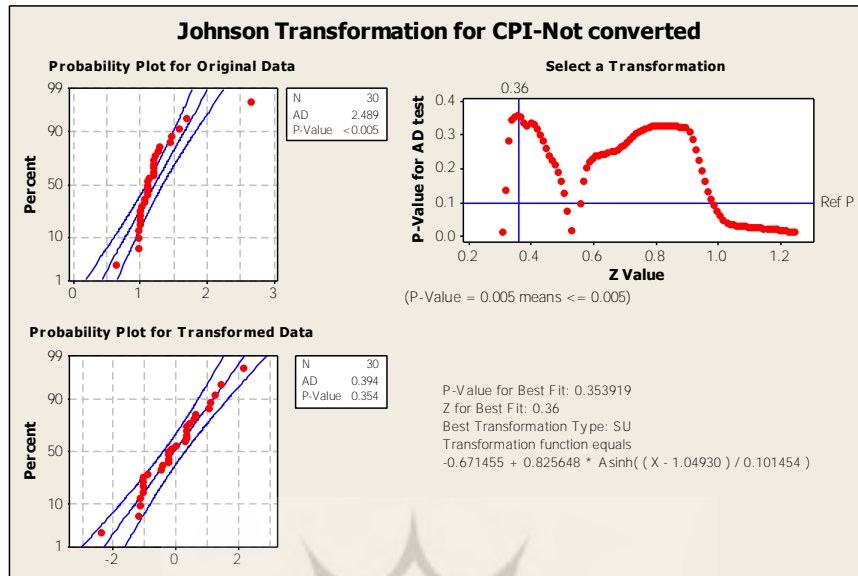
شماره نمونه	۰,۲۷۷۷	۳,۵۱۴۲	۰,۵	۰,۷۵	۱	۳	۵
۱	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۲	۱,۰۵	۱,۹۶	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲۶	۰,۳۲
۳	۱,۰۲	۱,۳۱	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۹	۰,۰۹
۴	۱,۰۴	۱,۶۱	۰,۱۴	۰,۱۴	۰,۱۵	۰,۱۷	۰,۲۰
۵	۱,۰۲	۱,۲۹	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۸	۰,۰۹
۶	۱,۱۴	۵,۱۰	۰,۵۲	۰,۵۵	۰,۵۹	۱,۰۱	۱,۸۳
۷	۱,۱۱	۳,۷۸	۰,۴۲	۰,۴۴	۰,۴۶	۰,۷۰	۱,۱۳
۸	۱,۰۳	۱,۴۴	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۴
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	۰,۲۴	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	۱,۴۴	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۴
۱۴	۱,۱۲	۳,۹۸	۰,۴۳	۰,۴۶	۰,۴۸	۰,۷۵	۱,۲۳
۱۵	۱,۰۵	۱,۹۶	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲۶	۰,۳۲
۱۶	۱,۳۱	۳,۱۱۳	۱,۳۶	۱,۴۴	۱,۶۶	۵,۹۴	۲۶,۴۳
۱۷	۱,۰۳	۱,۴۹	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۱۲	۰,۱۳	۰,۱۵
۱۸	۱,۰۵	۱,۹۶	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲۶	۰,۳۲
۱۹	۱,۱۶	۶,۴۵	۰,۶۱	۰,۶۵	۰,۷۰	۱,۳۰	۲,۶۴
۲۰	۱,۰۰	۱,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰	۰,۰۰
۲۱	۱,۰۳	۱,۴۴	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۴
۲۲	۰,۸۹	۰,۲۲	-۰,۳۹	-۰,۳۷	-۰,۳۵	-۰,۲۴	-۰,۱۸
۲۳	۱,۰۷	۲,۴۵	۰,۲۷	۰,۲۸	۰,۲۹	۰,۳۸	۰,۵۱
۲۴	۱,۰۶	۲,۰۷	۰,۲۲	۰,۲۲	۰,۲۳	۰,۲۹	۰,۳۶
۲۵	۱,۰۰	۰,۹۷	۰,۰۱	-۰,۰۱	-۰,۰۱	-۰,۰۱	-۰,۰۱
۲۶	۱,۰۵	۱,۹۶	۰,۲۰	۰,۲۱	۰,۲۱	۰,۲۶	۰,۳۲
۲۷	۱,۰۷	۲,۳۲	۰,۲۵	۰,۲۶	۰,۲۷	۰,۳۵	۰,۴۶
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	۱,۴۴	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۱۴



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

### تبدیل جانسون

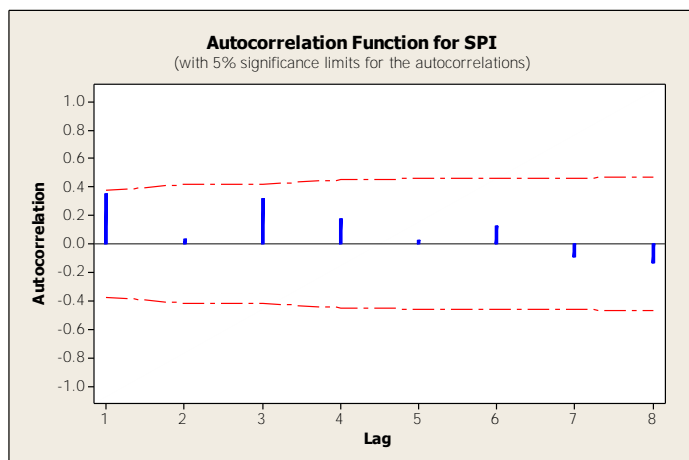
عدم استفاده از تبدیل توانی (Box-Cox) برای داده‌های منفی سبب شده است این تبدیل برای بسیاری از موارد عملی قابل کاربرد نباشد. خوشبختانه تبدیل جانسون دارای این محدودیت نیست. تبدیل جانسون در بسیاری از نرم‌افزارهای آماری نظیر Minitab قابل دسترس است و در اغلب موارد نرم‌افزارها می‌توانند بهترین تبدیل جانسون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



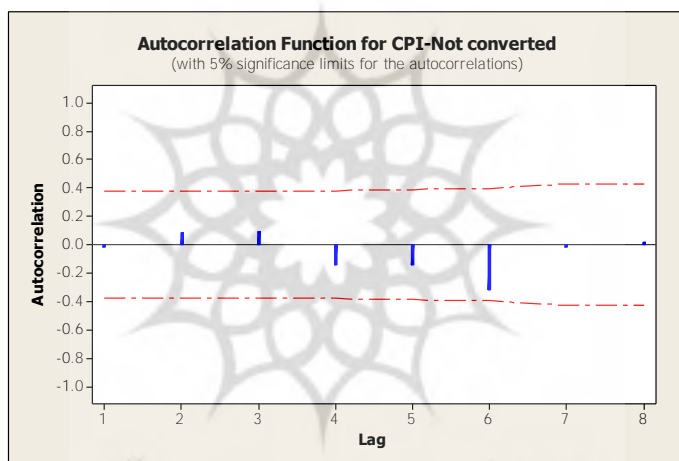
شکل ۴. تبدیل جانسون اعمال شده روی داده‌های شاخص CPI توسط نرم‌افزار Minitab

#### استقلال داده‌ها

جهت بررسی فرض دوم به کارگیری نمودارهای کنترلی شوهرت، 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 تاثیر در مقدار مشاهده شده 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 نرمال بودن 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 گفته شد شاخص‌های مورد مطالعه در هر دوره از ارزیابی یک نمونه تک‌عضوی 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<sup>۱</sup> بیانگر مقادیر به‌دست آمده از هر نمونه و نمودار دوم<sup>۲</sup> بیانگر اختلاف بین هر دو نمونه متوالی است [۱ و ۲]. اطلاعات شاخص CPI پروژه که پیشتر در جدول ۱ آورده شده بود، تحت تبدیل جانسون در جدول ۳ آورده شده است. بدیهی است از داده‌های تبدیل‌یافته در ترسیم نمودارهای کنترلی شاخص CPI استفاده شده است.

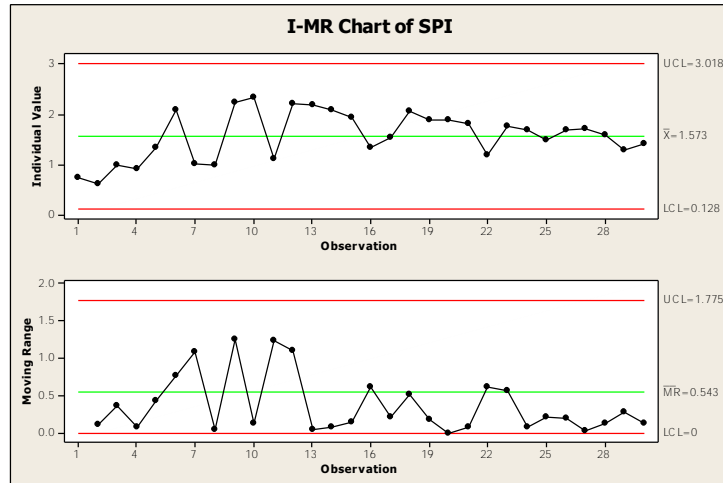
جدول ۳. مقادیر تبدیل‌یافته داده‌های شاخص CPI تحت تبدیل جانسون

شماره نمونه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
شاخص تبدیل‌یافته	-۱,۰۶	۰,۳۶	-۰,۴۳	۰,۰۳	-۰,۴۶	۱,۲۹	۱,۰۷	-۰,۲۰	-۰,۹۱	۰,۳۱
شماره نمونه	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰
شاخص تبدیل‌یافته	-۱,۲۰	-۱,۱۳	-۰,۲۰	۱,۱۱	۰,۳۶	۲,۱۸	-۰,۱۳	۰,۳۶	۱,۴۴	-۱,۰۶
شماره نمونه	۲۱	۲۲	۲۳	۲۴	۲۵	۲۶	۲۷	۲۸	۲۹	۳۰
شاخص تبدیل‌یافته	-۰,۲۰	-۲,۳۹	۰,۶۵	۰,۴۴	-۱,۱۳	۰,۳۶	۰,۵۸	-۱,۰۶	-۱,۰۶	-۰,۲۰

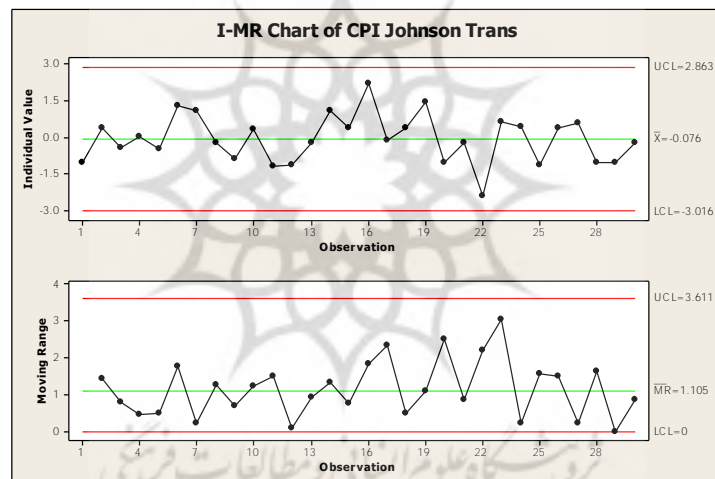
از نمودارهای شکل‌های الف. ۶ و ب. ۶ لازم است حدود کنترلی و پارامترهای مربوطه به‌منظور کنترل وضعیت زمانی و هزینه‌ای پیشرفت پروژه استخراج شوند. این حدود در جدول ۴ نشان داده شده‌اند.

1- Individual X  
2- Moving Range





الف.



ب.

شکل ۶. نمودار کنترلی فردی اولیه برای شاخص‌های مورد مطالعه، الف. شاخص SPI، ب.

شاخص CPI

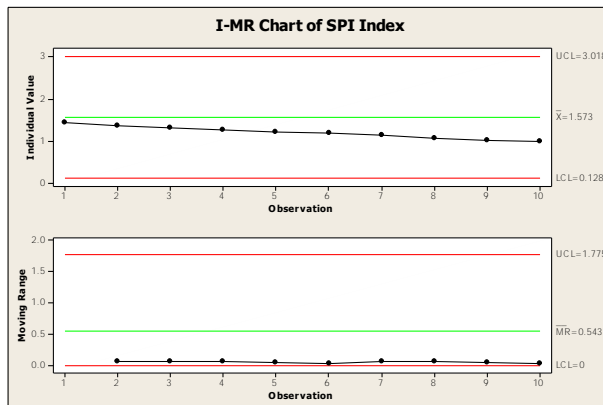
جدول ۴. حدود کنترلی در نمودارهای فردی برای شاخص‌های مورد مطالعه

CPI	SPI		
۲,۸۶۳	۳,۰۱۸	حد بالا	
۰,۰۷۶	۱,۵۷۳	حد مرکزی	نمودار اول
-۳,۰۱۶	۰,۱۲۸	حد پایین	
۳,۶۱۱	۱,۷۷۵	حد بالا	
۱,۱۰۵	۰,۵۴۳	حد مرکزی	نمودار دوم
۰	۰	حد پایین	

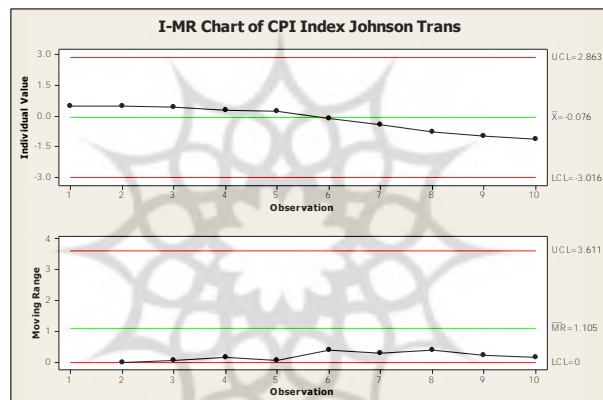
با در دست داشتن حدود کنترلی، اکنون نوبت به ترسیم نمودارهای کنترلی می‌رسد (شکل ۷). برای این منظور، از مقادیر شاخص‌ها برای ۱۰ دوره استفاده نموده‌ایم (جدول ۵). با دقت در نمودارهای کنترلی شکل ۷ می‌توان دریافت، زیر کنترل بودن دو شاخص هزینه‌ای و زمانی پروژه در حال اجراء، نشان از آن دارد که تمامی تخصیص‌های زمانی و هزینه‌ای فعالیت‌های این پروژه تحت کنترل هستند. ذکر این نکته ضروری است، در صورتی که 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	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
شاخص SPI	۱,۴۳	۱,۳۸	۱,۳۱	۱,۲۵	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	۱,۰۵	۱,۰۳	۱,۰۱
شاخص CPI تبدیل یافته	۰,۴۷	۰,۴۷	۰,۴۳	۰,۲۸	۰,۲۴	-۰,۱۴	-۰,۴۱	-۰,۷۸	-۱	-۱,۱۵



الف.



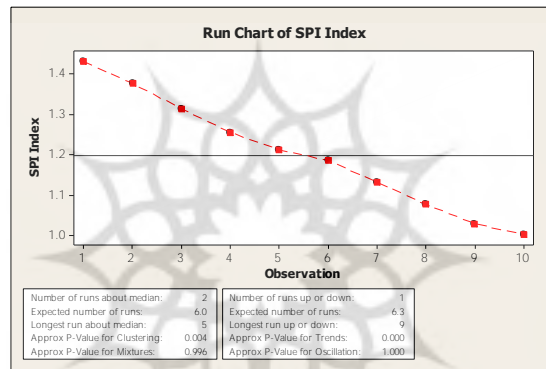
ب.

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

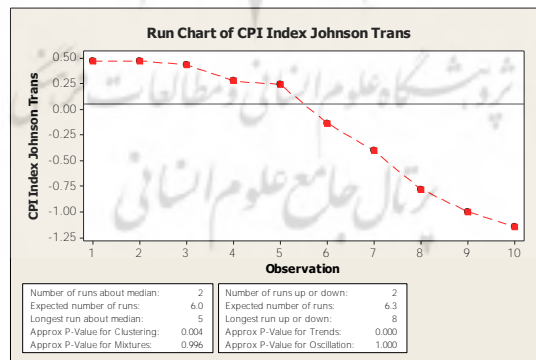
الف. شاخص SPI، ب. شاخص CPI

اگرچه نمودارهای کنترل کیفیت آماری در بردارنده اطلاعات مفیدی هستند، به‌منظور نشان‌دادن مزایای آن در مقابل نمودارهای روند، 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

ارائه می‌دهند. به‌علاوه آنها نمی‌توانند 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 جرنی از آن بسنده نمود. مثلاً 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 ارزش کسب‌شده 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 به منظور توسعه چنین رویکردی و با هدف کنترل و پایش دو شاخص مهم عملکردی پروژه استفاده شده است. رویکردی پیشنهادی در حالت تبعیت داده‌های تحت مطالعه از توزیع آماری غیرنرمال و استقلال آنها طراحی گردیده است. بدین منظور با اعمال آزمون‌های آماری صحت رویکرد طراحی شده 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 به موقع و اعمال اقدامات اصلاحی در خصوص عملکرد آتی پروژه را ممکن می‌سازد. به علاوه 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 پذیرفته است.

## منابع

۱. مسلمی نائینی، لیلا، رویکردی مبتنی بر تئوری فازی برای ارزش کسب‌شده، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۵
۲. نورالسنا، 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 for Engineering Design and Manufacturing, 11(1): 45-57.
5. Anbari, F. (2003), "A Review of Some Methods for Ranking Fuzzy Subsets", **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**, 4<sup>th</sup> 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**, Project Management Institute.
14. Gulbay, M., and Kahraman, C. (2006), **Development of Fuzzy Process Control Charts and Fuzzy Unnatural Pattern Analysis**, 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  $\alpha$ -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.