عنوان مقاله: ایجاد حدود کنترلی در شاخص‌های عملکرد زمانی برنامه پروژه با شبیه‌سازی مونت کارلو و روش طول زمان کسب‌شده

اکبر عالم‌تبریز[1] ـ فرنوش خالدیان[2] ـ مصطفی مهدی‌پور[3]

دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۲۷
پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۱۵

چکیده:

مدیریت طول زمان کسب‌شده روشی است که در راستای تکامل مدیریت ارزش کسب‌شده و حل برخی مشکلات آن، از جمله جداسازی اندازه‌گیری بُعد زمان و هزینه پروژه، به‌وجود آمده است. این روش با ارائه شاخص‌های عملکردی، امکان اندازه‌گیری دقیق میزان پیشرفت پروژه و محاسبه زمان و هزینه اتمام آن را به مدیران می‌دهد. با وجود چنین مزایایی، در این روش میزان قابل قبول شاخص‌های پیشرفت پروژه مشخص نیست، که این عامل باعث سردرگمی می‌شود. بنابراین در این پژوهش، با هدف بهبود عملکرد سیستم مدیریت طول زمان کسب‌شده، از نمودارهای کنترل کیفیت آماری که پیش‌تر در روش مدیریت ارزش کسب‌شده بکار گرفته می‌شد، استفاده می‌شود تا آستانه‌های قابل قبول شاخص‌های عملکرد پروژه محاسبه گردند. این نمودارها نه در جریان فرایند پروژه بلکه در زمان برنامه‌ریزی پروژه و با شبیه‌سازی مونت کارلو محاسبه شدند. چنین محاسبه‌هایی به مدیران پروژه، دیدی آینده‌نگر می‌بخشند و مبنایی برای سنجش و مقایسه عملکرد پروژه در جریان انجام آن به‌وجود می‌آورند.

کلیدواژه‌ها: مدیریت پروژه، مدیریت طول زمان کسب‌شده، شبیه‌سازی مونت کارلو، کنترل کیفیت آماری، حدود کنترلی.

۱. استاد گروه مدیریت، دانشکدهٔ مدیریت و حسابداری، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.
a-tabriz@sbu.ac.ir
۲. کارشناس‌ارشد مدیریت صنعتی، دانشکدهٔ مدیریت و اقتصاد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
f.khaledian@ut.ac.ir
۳. کارشناس‌ارشد مهندسی پزشکی، دانشکدهٔ مهندسی پزشکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران.
m.mahdipour@aut.ac.ir

مقدمه

احداث و بهره‌برداری از پروژه‌ها نقش ویژه‌ای در رشد و توسعه کشورها بازی می‌کنند (خالدیان و عالم تبریز، ۱۳۹۴). از این‌رو، مدیریت و کنترل پروژه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار هستند و روش‌های مختلف و نرم‌افزارهای پیچیده‌ای برای برنامه‌ریزی و کنترل درست و دقیق پروژه‌ها ابداع شده است. کنترل یکپارچه یک پروژه منوط به دسترسی به‌موقع، مناسب، و درست به اطلاعات پروژه است (عالم‌تبریز و محمد رحیمی، ۱۳۸۸). توسعه روش‌ها، منجر به اندازه‌گیری‌های دقیق‌تر و صرفه‌جویی فراوان در زمان و هزینه خواهد شد.

به‌طور معمول، در روش‌های ارائه‌شده برنامه‌ریزی یک پروژه بدون در نظرگرفتن ریسک‌هایی انجام می‌شود که ممکن است در طول زمان پیاده‌سازی شوند. به علاوه، کنترل پروژه تنها در حین پیاده‌سازی انجام می‌شود. این در حالی است که برنامه‌ریزی باید به صورت همه‌جانبه باشد و ریسک‌های اجرای یک برنامه از ابتدای کار رصد شوند. برنامه‌ریزی باید نقاط بحرانی کنترل را از همان ابتدای کار به‌خوبی نمایش دهد. بنابراین، در این پژوهش سعی بر آن است تا روشی مطرح گردد که با استفاده از شبیه‌سازی پروژه در مرحلهٔ ابتدایی، یعنی زمانی که پروژه راه‌اندازی نشده و فقط در مرحلهٔ برنامه‌ریزی است، شاخص‌های زمانی عملکرد پروژه که پیش‌تر در روش مدیریت طول زمان کسب‌شده معرفی شده‌اند، اندازه‌گیری شوند. به علاوه، در روش ارائه‌شده سعی شده است که با استفاده از نمودارهای کنترل آماری، در همان فاز برنامه‌ریزی پروژه، میزان انحراف‌های قابل قبول شاخص‌های زمانی مشخص شوند. چنین حدودی که در مرحله برنامه‌ریزی اندازه‌گیری می‌شوند، به مدیران امکان می‌دهد تا حین بهره‌برداری و اجرای پروژه، هرگونه انحراف غیرقابل قبول را بدون از دست دادن زمان پیدا کنند و برای اصلاح آن، اقدام‌های لازم را انجام دهند.

مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

پیدایش علم مدیریت پروژه به صورت یک علم پویا و نو به اوایل قرن بیستم باز می‌گردد. هنری گانت و فردریک وینسلو تیلور[1] با ارائه مدل GANT یا نمودار میله‌ای، فصل نوینی در مدیریت پروژه گشودند. در سال‌های ۱۹۵۷ و ۱۹۵۸ فنون‌هایی توسط سازمان‌های آمریکایی ابداع شد که امروزه به

1. Henry Gantt & Frederick Winslow Taylor

نام‌های CPM[1]، PERT[2] و GERT[3] شناخته می‌شوند (عوض‌خواه، ۱۳۸۸). مفهوم ارزش کسب‌شده برای نخستین بار توسط مهندسان صنایع که در اولین کارخانه‌های آمریکایی کار می‌کردند، رایج شد. بهترین تجربه در بکارگیری مفهوم ارزش کسب‌شده پس از انتشار معیارهای C/SCSC[4] با عنوان یک سند رسمی در سال ۱۹۶۷ به منظور راهبری برنامه‌های موشکی به‌دست آمد. مدیریت ارزش کسب‌شده از معیارهای سیستم کنترل زمان‌بندی/ هزینه نشأت گرفته است که به اختصار آن را به صورت C/SCSC نمایش می‌دهند. معیارهای C/SCSC برای نخستین بار توسط وزارت دفاع آمریکا در سال ۱۹۶۷ به عنوان روش‌های قابل قبول برای مدیریت هزینه در تدارکات سیستم‌های جدید بزرگ مورد استفاده قرار گرفتند (عالم‌تبریز و محمد رحیمی، ۱۳۸۸). این تلاش‌ها به ایجاد روش مدیریت ارزش کسب‌شده منجر شد. EVM[5] در بیش‌تر موارد، سال‌ها بر مدیریت هزینه و کنترل و تحلیل‌های مالی متمرکز بود (Kim *et al*., 2003). در همین راستا، پژوهشگران بسیاری برای تکامل این روش کوشش کردند (Anbari, 2003; Cioffi, 2006; Naeni *et al*., 2014). همچنین، خاموشی و گلفشانی[6] (۲۰۱۴) برای رفع یکی از نواقص این روش، یعنی سنجش زمان از راه هزینه، مدیریت طول زمان کسب‌شده (EDM)[7] را بسط دادند. این روش که در دو سطح فعالیت‌ها و پروژه، سنجش‌پذیر و قابل‌ارزیابی است، امکان مقایسه یک پروژه با مقدار مبنا (اغلب عدد ثابت یک) و البته مقایسه آن با دیگر پروژه‌ها و همچنین، تخمین زمان و هزینه پایان پروژه را به مدیران می‌دهد.

از طرف دیگر، باید به این موضوع اشاره کرد که رویکردهای مرسوم ما را قادر نمی‌سازند که دریابیم چه مقدار انحراف از مقادیر معرفی‌شده به عنوان شاخص‌های عملکرد قابل‌پذیرش و چه مقدار انحراف غیرمجاز است. به عبارت دیگر، در برخورد با شاخص‌های عملکرد در مورد پروژه‌هایی با حساسیت بالاتر، باید میزان مطلوب شاخص‌ها را دانست، تا از این راه، زمان مناسب برای آغاز عملیات اصلاحی به‌درستی شناسایی گردد.

در بسیاری از پژوهش‌ها، از نمودارهای کنترل کیفیت آماری برای بهبود سیستم‌های کنترل پروژه، به‌ویژه تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده، استفاده می‌شود. الطباطبایی و همکاران[8] (۱۹۹۷) از شبکه‌های عصبی مصنوعی برای کنترل پروژه‌ها و پایش و پیش‌بینی عملکرد آن استفاده می‌کنند.

1. Critical Path Method
2. Program Evaluation & Review Technique
3. Graphical Evaluation & Review Technique
4. Cost /Schedule Control System Criteria
5. Earned Value Management
6. khamooshi & Golafshani
7. Earned Duration Management
8. Al-Tabtabai *et al*.

شبکه‌های عصبی، مدیران پروژه را قادر می‌سازد که بتوانند برنامه بازنگری‌شده را در بازه‌های مشخص و در فرایند پیشرفت پروژه مشاهده نمایند. برای نخستین بار لیپکه و واگن[1] (۲۰۰۰) نحوه استفاده از نمودارهای کنترل کیفیت آماری را در کنترل شاخص‌های ارزش کسب‌شده تشریح کردند. ناون[2] (۲۰۰۵)، برای کنترل بر خط پروژه‌های عمرانی، به‌ویژه در کارگاه‌ها، ابزارها، و فنون، کنترل کیفیت آماری را برای برخی از مهم‌ترین عملیات توسعه داده است. لو و لین[3] (۲۰۰۸) به دنبال کشف تغییرها در عملکرد پروژه، از نمودارهای کنترل کیفیت آماری بهره گرفتند و به مزایای آن در مقابل تکنیک مدیریت ارزش کسب‌شده اشاره کردند. لیپکه و همکاران (۲۰۰۹) با کاربرد روش‌های آماری در مدیریت ارزش کسب‌شده و شاخص‌های عملکردی برنامه‌ریزی کسب‌شده به پیش‌بینی نتایج پروژه پرداختند. لاروس و همکاران[4] (۲۰۱۰) با در نظرگرفتن شاخص‌های منعکس‌کننده زمان، هزینه، محدوده، کیفیت، و ریسک پروژه، رویکردی برای کنترل عملکرد پروژه ارائه نمودند. کلین و ونهوک[5] (۲۰۱۴) نیز به ایجاد محدودیت در کنترل آماری پروژه‌ها از راه روش EVM پرداختند. عالم‌تبریز و همکاران (۱۳۹۵) از حدود کنترلی شوهارت برای ایجاد آستانه‌هایی بر شاخص‌های عملکردی پروژه در یک چرخه مدیریت ریسک استفاده کردند. همچنین، کلین و ونهوک (۲۰۱۵) چارچوبی برای مقایسه رویکردهای مختلف کنترل فرایند آماری[6] به‌وجود آوردند.

مدیریت طول زمان کسب‌شده و شاخص‌های عملکرد زمانی

در روش مدیریت طول زمان کسب‌شده، اندازه‌گیری عملکرد هزینه و برنامه از یکدیگر جدا شده‌اند، و شاخص‌هایی برای اندازه‌گیری پیشرفت و عملکرد برنامه و هزینه و همچنین، سنجش کارایی و اثربخشی برنامه در هر سطحی از پروژه ایجاده گردیده‌اند. این روش در سطح خرد و کلان تمرکز دارد. در ادامه، شاخص‌های مطرح‌شده در این دو سطح که تاکیدشان بر زمان است، مطرح می‌شوند:

1. Lipke & Vaughn
2. Navon
3. Leu & Lin
4. Lauras *et al*.
5. Colin & Vanhoucke
6. Statistical Process Control

الف. توجه‌ها در سطح خرد[1]

● خط مبنای طول زمان برنامه‌ریزی‌شده فعالیت iام (BPD_i)[2]: بیانگر زمان مجاز اختصاص داده شده در برنامه کار برای به انجام رساندن فعالیت iام است. BPD_i از تاریخ وضعیت پروژه جداست (khamooshi & Golafshani, 2014).

● زمان برنامه‌ریزی‌شده فعالیت iام در برنامه (PD_i)[3]: در هر نقطه‌ای از زمان، زمان اختصاص داده‌شده به برنامه کار برای تکمیل فعالیت است. این متغیر برای EDM مانند PV در EVM است.

● شاخص پیشرفت فعالیت iام (API_i)[4]: در هر نقطه‌ای از زمان میزان پیشرفت فعالیت را اندازه‌گیری می‌کند.

$$API_i=AD_i/(AD_i+EDTC_i) \quad (۱)$$

EDTC[5] بیانگر طول زمان تخمین‌زده شده برای تکمیل برنامه فعالیت iام است.

باید توجه کرد که API_i پیشرفت برنامه‌ای یک فعالیت را می‌سنجد و همیشه ارزشی کم‌تر دارد که معادل با یک است. ارزش API_i از صفر شروع می‌شود. هرچه به سمت تکمیل نهایی نزدیک‌تر می‌شود، به عدد یک نزدیک‌تر می‌شود.

● طول زمان کسب‌شده فعالیت iام (ED_i)[6]: این متغیر ارزش کار انجام‌شده در هر نقطه‌ای از زمان است. این متغیر برای EDM برابر با مدت‌زمان ارزش کسب‌شده (EV) فعالیت در EVM است.

$$ED_i=BPD_i\times API_i \quad (۲)$$

● زمان واقعی فعالیت i ام (AD_i)[7]: این متغیر نشان‌دهنده زمان بین شروع واقعی فعالیت است تا هر نقطه‌ای از زمان که فعالیت در واحدهای تقویم ادامه می‌یابد.

1. Micro Level
2. Base Line Planned Duration of Scheduled Activity i
3. Planned Duration of Scheduled Activity i
4. Activity Progress Index, for Activity i
5. Estimated Duration To Complete for Scheduled Activity i
6. Earned Duration of Scheduled Activity i
7. Actual Duration of Scheduled Activity i

ب. توجه‌ها در سطح کلان[1]

- خط مبنای زمان برنامه‌ریزی‌شده (BPD)[2]: طول زمان مجاز اختصاص داده‌شده به کار برنامه‌ریزی‌شده برای دستیابی به کل پروژه است، بدون در نظرگرفتن تاریخ انجام کار.
- کل طول زمان برنامه‌ریزی‌شده (TPD)[3]:

$$TPD=\sum_{i=1}^{n} PD_i \qquad (۳)$$

n تعداد فعالیت‌های در حال اجرا و تکمیل‌شده در نقطه‌ای از زمان است که در آن TPD اندازه‌گیری می‌شود.

- کل طول زمان کسب‌شده (TED)[4]:

$$TED=\sum_{i=1}^{n} ED_i \qquad (۴)$$

n تعداد فعالیت‌های در حال اجرا و تکمیل‌شده در نقطه‌ای از زمان است که در آن اندازه‌گیری *TPD* می‌شود.

- طول زمان کسب‌شده ($ED_{(t)}$): این متغیر در پروژه در هر نقطه‌ای از زمان، طول زمانی را نشان می‌دهد که متناظر با کل طول زمان کسب‌شده بر منحنی S است و به صورت ریاضی این‌گونه نشان داده می‌شود:

$$TPD_{(t)}\leq TED \text{ و } TED<TPD_{(t+1)(\text{واحد تقویم})}$$

$$ED_{(t)}=t+\left(\frac{\left(TED-TPD_{(t)}\right)}{TPD_{(t+1)\left(\text{تقویم واحد}\right)}-TPD_t}\right)\times 1(\text{تقویم واحد}) \qquad (۵)$$

(TAD)[5]، کل طول زمان واقعی

$$TAD=\sum_{i=1}^{n} AD_i \qquad (۶)$$

n برابر است با تعداد فعالیت‌های در حال اجرا و تمام‌شده تا زمان مورد نظر.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Macro Level
2. Baseline Planned Value of Scheduled Activity i
3. Total Planned Duration
4. Total Earned Duration
5. Total Actual Duration

سنجش عملکرد پیشرفت زمان در سطح خرد

● شاخص عملکرد زمان (DPI_i)[1]: این شاخص نشان می‌دهد که یک فعالیت چقدر در جهت دستیابی به تاریخ تکمیلِ هدف، خوب عمل می‌کند.

$$DPI_i=ED_i/AD_i \quad (۷)$$

چنانچه DPI_i بزرگ‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده این است که عملکرد بهتر از برنامه است.

چنانچه DPI_i کوچک‌تر از یک باشد، نشان‌دهنده عملکرد پایین‌تر از برنامه است.

و چنانچه DPI_i برابر با یک باشد، نشان‌دهنده این است که عملکرد مطابق با برنامه است.

چنانچه این شاخص در زمان تکمیل یک فعالیت اندازه‌گیری شود، نشان‌دهنده این است که عملکرد کلی برای رسیدن به فعالیت در واقعیت، در مقایسه با برنامه آن فعالیت چطور بوده است. از نگاه دیگر، مقدار پایانی DPI برای هر فعالیت، میزان صحت برآورد طول زمان فعالیت (برنامه‌ای) را نشان می‌دهد.

● شاخص طول زمان کسب‌شده (EDI_i)[2]: در هر نقطه‌ای از زمان پروژه، نشان‌دهنده زمان کسب‌شده در مقایسه با زمانی است که طبق برنامه تا آن لحظه باید انجام می‌شد.

$$EDI_i=ED_i/PD_i \quad (۸)$$

در هر نقطه‌ای از زمان، یک فعالیت بیش‌تر، کم‌تر یا مطابق با برنامه انجام شده است، بنابراین، این شاخص به‌ترتیب بزرگ‌تر،کوچک‌تر، و برابر با یک خواهد شد.

اندازه‌گیری عملکرد و پیشرفت زمان در سطح کلان

● شاخص فرایندی پروژه (PPI)[3]: این شاخص، در هر نقطه از زمان پروژه، سراسر فرایند مدت‌زمان پروژه را می‌سنجد.

$$PPI=ED_{(t)}/BPD \quad (۹)$$

ارزش PPI از صفر شروع می‌شود و به عدد یک ختم می‌شود. هرچه پروژه به سطح تکمیل نزدیک شود، PPI هم به یک نزدیک‌تر می‌شود.

● شاخص ارزیابی طول زمان پروژه (DPI)[4]: این شاخص نشان می‌دهد که یک پروژه برای دستیابی به تاریخ تکمیل نهایی، با توجه به مسیر بحرانی تا چه میزان خوب عمل کرده است.

1. Duration Performance Index, for Activity i
2. Earned Duration Index, for Activity i
3. Project Progress Index
4. Duration Performance Index, for Activity i

$$PPI=ED_{(t)}/BPD \quad (۱۰)$$

چنانچه DPI بزرگ‌تر از یک باشد، بدین معناست که پروژه جلوتر از برنامه است.

چنانچه DPI کوچک‌تر از یک باشد، بدین معناست که پروژه عقب‌تر از برنامه است.

چنانچه DPI برابر یک باشد، بدین معناست که پروژه مطابق با برنامه است.

- شاخص طول زمان کسب‌شده پروژه (EDI): این شاخص در هر نقطه از زمان پروژه سنجشی بر مبنای زمان از عملکرد سراسر کار با عنوان طول زمان کسب‌شده، در مقایسه با کار برنامه‌ریزی‌شده تا آن نقطه از زمان به‌عمل می‌آورد.

$$EDI= TED/TPD \quad (۱۱)$$

این شاخص نیز می‌تواند بزرگ‌تر، کوچک‌تر، و برابر با یک باشد.

انتخاب نمودار کنترلی مناسب

کنترل فرایند آماری (SPC) کاربرد استفاده از روش‌های آماری برای پایش یک فرایند، با هدف اطمینان از این موضوع است که فرایند اشاره‌شده، محصولات و خدمات مناسبی تولید می‌کند. هر فرایند دارای انحراف‌هایی است که این انحراف‌ها می‌توانند کنترل‌شده یا کنترل‌نشده باشند. انحراف‌های کنترل‌شده برای فرایند طبیعی هستند؛ این در حالی است که انحراف‌های کنترل‌نشده نباید در فرایند ایجاد گردند. روش SPC برای تمایز این دو نوع انحراف حاصل شده است. به همین علت، SPC شامل ابزارها و فنونی است که از جمله آن می‌توان به نمودارهای فرایند آماری اشاره کرد (Aliverdi *et al.*, 2013). نمودارهای کنترلی شوهارت[1]، اساس شکل‌گیری بسیاری از نمودارهای کنترلی هستند. محاسبه‌های ساده و دامنه کاربردپذیری وسیع آن‌ها که به دلیل شکل‌گیری این نمودارها بر اساس توزیع آماری نرمال است، این نمودارها را به پُراستفاده‌ترین نمودارهای کنترل کیفیت آماری تبدیل کرده است (نورالنسا، ۱۳۸۲). نمودارهای X و R این پژوهش شبیه به نمودارهای کنترل فردی و محدوده متغیر شوهارت هستند. محدوده‌های کنترلی شوهارت بر اساس میانگین متحرک در یک محدوده ساخته می‌شوند. در این‌جا فرض استفاده از MR در پروژه مورد قبول نیست، زیرا مشاهده‌ها در عملکرد فرایند پروژه به‌دست می‌آیند. ولی در پژوهش حاضر فرض می‌گردد که اجراهای شبیه‌سازی‌شده، مشاهده‌های کافی را برای متغیر X_P در درصد تکمیل خاصی از پروژه ایجاد کرده است.

نمودار کنترل X برای پایش مشاهده‌های انفرادی X_P پروژه در دوره P مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدوده کنترل آن از راه تابع توزیع تجربی $\widehat{F_{XP}}$ محاسبه می‌شود.

1. Control Charts Shewhart

$$\widehat{F_{x_p}}=(\frac{1}{nrs})\sum_{s=1}^{nrs}\mathbb{1}\{x_{sp}\leq t\} \quad (۱۲)$$

که از این راه، نمونه‌ای از متغیرهایی با توزیع یکسان ایجاد می‌گردد که در درصد تکمیل p گرفته شده است. $1\{A\}$ نشانگر عملکرد پیشامد A است.

$$1\{A\}=\begin{cases}1 if\ A\ is\ corret\\ 0\ if\ Ais\ false\end{cases} \quad (۱۳)$$

تابع توزیع تجربی $\widehat{F_{XP_{(t)}}}$ به صورت مجانب با تابع توزیع تجمعی واقعی در هر ارزش از t برابر است. حدود کنترل آماری بالا و پایین در هر دوره بازبینی P در سطح $\propto(LTL_{xp}^{\alpha}$ و $UTL_{xp}^{\alpha})$ به عنوان α امین و $\alpha-$ امین چندک توزیع $F_{(t)}$ محاسبه می‌گردند. $\widehat{Q_{xp}}$ (زمانی که $0<\alpha<1$) نمایانگر چندک یک‌سری از مشاهده‌های مستقل $\{x1p, x2p, xnrs\ p\}$ از توزیع F در دوره بازبینی P است. و به صورت رابطه (۱۴) محاسبه می‌گردد:

$$\widehat{Q_{(\alpha)P}}=(1-\gamma)X_{(j)p}+\gamma X(j+1)$$
$$\frac{j-\alpha+1}{nrs}\leq\alpha\leq\frac{j-2+\alpha}{nrs} \quad (۱۴)$$
$$\gamma=\alpha\ nrs-\alpha-j+1 \quad و \quad j=[\alpha\ nrs-\alpha+1]$$

نوسان‌های آماری[1] بالا و پایین در سطح α و در دوره بازبینی P برای نمودار کنترل X به صورت رابطه (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$LTL_{xp}^{\alpha}=\widehat{Q_{(\alpha)p}} \quad (۱۵)$$
$$UTL_{XP}^{\alpha}=\widehat{Q}\left(1-\alpha\right)P \qquad \forall P\in(1,\ldots,P)\Delta PC$$

نمودارهای کنترلی R تفاوت را بین دو مشاهده نزدیک به‌هم پایش می‌کنند، که تابع توزیع و روش محاسبه آن‌ها به صورت رابطه (۱۶) است.

$$\widehat{F_{R_{P_{(t)}}}}=(\frac{1}{nrs})\sum_{s=1}^{nrs}\mathbb{1}\{R_{sp}\leq t\} \quad (۱۶)$$
$$\forall P\in(2,\ldots,P)\Delta PC \qquad R_{sp}=|X_{sp}-X_{sp-1}|$$

و محدوده‌های نوسان نیز به صورت رابطه (۱۷) هستند:

$$LTL_{Rp}^{\alpha}=\widehat{Q_{(\alpha)p}} \quad (۱۷)$$
$$UTL_{RP}^{\alpha}=\widehat{Q}\left(1-\alpha\right)P \qquad \forall P\in(2,\ldots,P)\Delta PC$$

در نهایت پروژه باید به صورت دوره‌های عملکردی محاسبه گردد. هر مشاهده عملکرد پروژه، روی نمودارهای کنترلی رسم می‌گردد (Colin & Vanhoucke, 2014).

Y_P نمایانگر ارزش شاخص عملکرد در خلال فرایند پروژه در درصد تکمیل P است.

1. Statistical Tolerance

و محاسبه‌ها با فرضیه‌های زیر بکار بسته می‌شوند:

H_0 پروژه مورد قبول است.

H_1 پروژه خارج از برنامه است.

برای نمودار X:

H_0 پروژه مورد قبول است. $LTL^{\alpha}_{Xp} \leq Y_p \leq UTL^{\alpha}_{XP}$

H_1 پروژه خارج از برنامه است. $Y_p < LTL^{\alpha}_{Xp}$, $Y_p > UTL^{\alpha}_{XP}$

برای نمودار R:

H_0 پروژه مورد قبول است. $(LTL^{\alpha}_{Rp} \leq |Y_p - Y_{p-1}| \leq UTL^{\alpha}_{RP})$

H_1 پروژه خارج از برنامه است. $(|Y_p - Y_{p-1}| < LTL^{\alpha}_{RP})$ یا $(|Y_p - Y_{p-1}| > UTL^{\alpha}_{RP})$

معرفی پژوهش

به‌طور طبیعی، هر فرایند، واریانس عملکردی دارد و نمودارهای کنترل کیفیت آماری به عنوان ابزارهایی توانمند در نظارت بر فرایندها، می‌توانند با کمک اصول آماری، واریانس‌های طبیعی را از واریانس‌های غیرطبیعی تشخیص دهند (اکبری و صالحی‌پور، ۱۳۹۱). در مورد پروژه‌ها نیز باید به این مسئله اشاره کرد، زیرا در واقعیت، در زمان و هزینه نسبت به برنامه مقداری انحراف وجود دارد. در پژوهش حاضر، فرض بر این است برنامه پروژه در دست است و بر اساس این برنامه سعی می‌گردد که بر تولید و تفسیر هشدارهای اخطار در خلال کنترل پروژه تمرکز گردد. این هشدارها از راه شبیه‌سازی مونت کارلو و بر شاخص‌های عملکرد زمانی برنامه پروژه ـ که از روش مدیریت طول زمان کسب‌شده معرفی شده‌اند ـ ایجاد می‌گردند. مزیت ایجاد این هشدارها در این است که چون در مرحله برنامه‌ریزی و پیش از آغاز به کار ایجاد می‌شوند، این توانمندی را دارند که مدیران را از ابتدای کار راهنمایی کنند، و مدیرانی با دیدی پیش‌نگر، می‌توانند به پیشگیری از ایجاد شکاف بین برنامه و واقعیت بپردازند. به علاوه، باید به این واقعیت نیز اشاره کرد که یکی از ویژگی‌های پروژه‌ها منحصر به فرد بودن آن‌هاست و نمونه‌ای از پیش تعیین‌شده برای مقایسه عملکرد آن‌ها وجود ندارد. در این پژوهش، با ایجاد شبیه‌سازی مونت کارلو، گویی به تعداد اجراهای به‌دست‌آمده پروژه از ابتدا تا انتها، با احتمال‌های مختلف در واقعیت صورت می‌گیرد و این موضوع، مقایسه آن را با پروژه مبنا ممکن می‌کند. در ادامه، مراحل ایجاد حدود کنترلی به تفصیل تشریح می‌شوند.

مراحل پژوهش

در این پژوهش، برای ایجاد چنین حدود کنترلی، از روش شبیه‌سازی مونت کارلو بهره گرفته شد. این روش از لحاظ سادگی، همزمان با ارائه نتایج، روش مناسبی است تا در این پژوهش بکار گرفته شود. اجراهای شبیه‌سازی در نرم‌افزار MATLAB انجام شدند. از داده‌های شبیه‌سازی‌شده برای ایجاد نوسان‌ها استفاده شد. در واقع، این داده‌ها ورودی نمودارهای X و R هستند؛ مراحل شبیه‌سازی اشاره‌شده به صورت زیر هستند:

شبیه‌سازی فرایند پروژه: در این مرحله، انحراف‌ها به زمان مبنای فعالیت i(d_i) در پروژه اضافه شدند. این انحراف‌های مجاز، بیش‌ترین انحراف برای تخطی از برنامه هستند که به صورت σ^{ap} به برنامه مبنای زمانی هر فعالیت پروژه اضافه شدند.

سپس فرایند پروژه تحت شرایطی شبیه‌سازی شد که برنامه پروژه دیگر مناسب آن نبود. برای شبیه‌سازی این شرایط، انحراف‌هایی به زمان اضافه شد که با تابع توزیع یکنواختِ غیرقابل قبول به پروژه اضافه شد. انحراف‌هایی که در این مرحله مورد استفاده قرار گرفتند، بزرگ‌تر از انحراف‌هایی هستند که در مرحله شبیه‌سازی پروژه تحت برنامه به آن اضافه شدند. این میزان، با توزیع دوجمله‌ای به صورت رابطه (۱۸) به پروژه لحاظ شدند:

$$P[N_{np} > \lfloor \%A_{np} N \rfloor] = 1 - P[N_{np} \leq \lfloor \%A_{np} N \rfloor] = 1 - \sum_{i=0}^{\lfloor \%A_{np} N \rfloor} \frac{N!}{i!(N-i)!} P_{np}^{i} (1 - P_{np})^{N-1} \quad (۱۸)$$

در این رابطه، متغیر $\%A_{np}$ نمایانگر درصدی از کل فعالیت‌هایی (N) است که طول زمانی آن‌ها مطابق با حاشیه تحت برنامه (σ_{ap}) نیست. (Colin & Vanhoucke, 2014). p_{np} بیانگر احتمال خروج ارزش‌ها از محدوده تحت برنامه است.

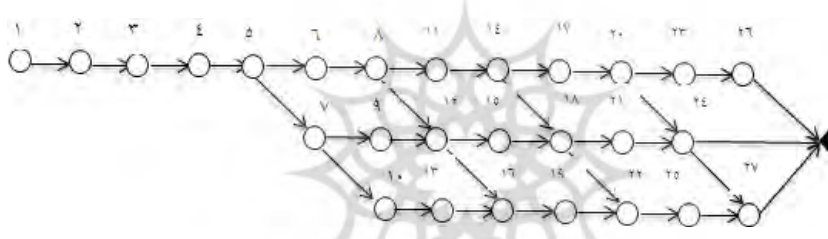
محاسبه شاخص‌های عملکردی پروژه در دو سطح فعالیت‌ها و پروژه: پس از شبیه‌سازی پروژه‌های ساختگی شاخص‌های عملکردی طول زمان کسب‌شده -EDI و DPI- در دو سطح Micro و Macro مورد محاسبه قرار گرفتند. پرسشی که باید بدان پاسخ داده شود؛ این است که «چه تعداد تکرار شبیه‌سازی کافی است؟». این پرسش، به استفاده بالقوه از اطلاعات بستگی دارد. زمانی که هدف اصلی تحلیل، تخمین هرچه بیش‌تر زمان به زمان مشابه است، تکرار کم‌تری مورد نیاز است، ولی اگر صحت توزیع نتایج، بسیار مهم باشد، تکرار بیش‌تری مورد نیاز است. در پژوهش حاضر، ۱۰۰۰ اجرا برای شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفتند (nrs=1000).

ایجاد حدود کنترلی X و R در شاخص‌های عملکرد زمانی سطح پروژه: در نهایت، هر کدام از شاخص‌های مطرح‌شده، در درصدهای تکمیل مشخص‌شده ـ با نمودارهای کنترلی مطرح‌شده در بخش پیشین ـ مورد ارزیابی قرار می‌گیرند و نمودارهای کنترلی آن‌ها ارائه می‌شوند.

یافته‌های پژوهش

معرفی مطالعه موردی

برنامه زمان‌بندی پروژه‌ای که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد، مربوط به پروژه ساخت «پل امام علی» است که یک پل ماشین‌رو است و در شمال شرق تهران واقع شده است. پل اشاره‌شده که تنها یک ستون وسط دارد، طبق برنامه مبنا باید در ۲۷ فعالیت به مرحله تکمیل برسد. شایان اشاره است که هر کدام از این فعالیت‌ها طبق برنامه باید در ۶ روز کاری به اتمام برسند؛ و کل پروژه ظرف مدت ۷۸ روز کاری تمام گردد. در شکل (۱)، دایره‌ها نمایانگر رخداد هر فعالیت هستند و پیکان‌ها ارتباطات اجرای فعالیت‌های پروژه را با یکدیگر نشان می‌دهند. اعداد درج‌شده در بالای هر گره نشان‌دهنده اولویت هر فعالیت است.



شکل ۱: فعالیت‌های پروژه مورد مطالعه

شبیه‌سازی زمان پروژه

شبیه‌سازی سطح MICRO

الف. زمان فعالیت‌ها مورد قبول باشد:

در اولین گام، زمان فعالیت‌های پروژه تحت شرایطی شبیه‌سازی شد که از نظر واحد مهندسی کارخانه تحت کنترل است. برای اجرای این هدف، از متغیر σ_{ap} استفاده گردید. متغیر σ_{ap} از نظر خبرگان پروژه برابر با ۲۰ درصد است؛ بدین معنا که چنانچه هر فعالیت فقط تا میزان ۲۰ درصد بالاتر و پایین‌تر از زمان تخمین‌زده شده باشد، انحراف از سوی ذی‌نفعان و مدیران پروژه مورد قبول است. برای شبیه‌سازی این حدود از توزیع یکنواخت استفاده می‌شود.

ب. زمان فعالیت‌ها خارج از کنترل باشد:

برای اجرای این مرحله از شبیه‌سازی حدود کنترلی، از توزیع دوجمله‌ای استفاده شد. برای

استفاده از توزیع دو جمله‌ای، به طول کشیدن پروژه با مسیر بحرانیِ قابل قبول، موفقیت فرض شد و خارج بودن پروژه از مسیر بحرانی قابل قبول نیز شکست در نظر گرفته شد. هدف از استفاده از توزیع دوجمله‌ای، پیدا کردن بازه‌ای بود که با سطح اطمینان ۹۵ درصد نشان دهد، با این‌که زمان برخی از فعالیت‌ها خارج از حدود تحت کنترل هستند، بازهم با هر بار اجرا کردن، پروژه در محدودهٔ موفقیت قرار دارد. سطح اطمینان ۹۵ درصد بیانگر این موضوع است که اگر ۱۰۰۰ اجرا برای شبیه‌سازی پروژه وجود داشته باشند، ۵ درصد از این ۱۰۰۰ اجرا شکست می‌خورند. در این شبیه‌سازی، با در نظر گرفتن فعالیت‌ها به صورت مستقل و با استفاده از توزیع یکنواخت، درصد شکست در ۱۰۰۰ اجرا بسیار کم‌تر از ۵۰ اجرا بوده است. به همین دلیل، برای بالا بردن قدرت طراحی، داده‌ها در بدترین حالت ممکن در نظر گرفته شدند.

ارزیابی سطح MICRO (سطح فعالیت‌های پروژه)

با عبور از این دو مرحله، گویی فعالیت‌های پروژه هر کدام ۱۰۰۰ بار در واقعیت انجام شدند. بنابراین، در هر اجرا زمان فعالیت‌ها این امکان را دارند که همانند واقعیت از روش EDM مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند. در این مرحله، با توجه به روابط مطرح‌شده در پایین، ارزیابی سطح فعالیت‌ها در مدیریت طول زمان کسب‌شده، متغیرهای PDI، EDI، PD، AD، ED، و DEI مورد ارزیابی قرار گرفتند. هر کدام از متغیرهای اشاره‌شده، در هر روز برای هر فعالیت تعریف می‌شوند؛ که در جدول (۱) مقادیر متغیرهای فعالیت اول در اجرای ۷۰۰ نشان داده شده است.

جدول ۱: ارزیابی سطح فعالیت اجرا ۷۰۰

روز	ED(۱/۷۰۰)	EDI	DPI	DEI
۱	۰/۸۵۷۱	۰/۸۵۷۱	۰/۸۵۷۱	–
۲	۰/۸۵۷۱	۰/۴۲۸۶	۰/۴۲۸۶	–
۳	۰/۸۵۷۱	۰/۲۸۵۷	۰/۲۸۵۷	–
۴	۰/۸۵۷۱	۰/۲۱۴۳	۰/۲۱۴۳	–
۵	۰/۸۵۷۱	۰/۱۷۱۴	۰/۱۷۱۴	–
۶	۰/۸۵۷۱	۰/۱۴۲۹	۰/۱۴۲۹	–
۷	۰/۸۵۷۱	۰/۱۴۲۹	۰/۱۲۲۴	۰/۸۵۷۱

ایجاد وابستگی بین فعالیت‌ها

نیاز به اشاره است که در هر کدام از مراحل بالا، فعالیت‌ها جداگانه و بدون در نظرگرفتن وابستگی میان فعالیت‌ها، شبیه‌سازی شدند. برای شبیه‌سازی کامل یک پروژه، نه‌تنها نمایان کردن هر فعالیت مورد نیاز است، بلکه رابطه میان آن‌ها نیز لازم و ضروری است. ایجاد وابستگی میان فعالیت‌ها کار پر چالشی است، زیرا یکی از دلایل آن، تفاوت شکل و مراحل انجام فعالیت‌ها از پروژه‌ای به پروژه دیگر است. در پژوهش حاضر، برای ساده‌سازی کار از فرض نمودار گانت برای نمایان کردن رابطه میان فعالیت‌ها استفاده می‌شود. یکی از مزیت‌های استفاده از فرض نمودار گانت این است که باعث می‌شود قابلیت بهره‌گیری از روش ارائه‌شده در هر پروژه به صورت چشمگیری بالا رود، و استفاده از آن را برای هر سطحی از کاربران، بسیار راحت کند.

ارزیابی سطح MACRO (سطح پروژه)

با ایجاد وابستگی در سطح فعالیت‌های پروژه، گویی پروژه ۱۰۰۰ بار در واقعیت از ابتدا تا انتها انجام گرفته است. بنابراین، فرصت ارزیابی پروژه در سطح MACRO نیز به برنامه ارائه می‌شود. این سطح با توجه به روابط مطرح‌شده در رابطه با ارزیابی سطح پروژه برای متغیرهای PDI، TAD، TPD، TED، و EDI برای هر ۱۰۰۰ اجرا مورد بررسی قرار گرفت.

ارزیابی درصد تکمیل پروژه در هر روز

برای این‌که بتوان ۱۰۰۰ پروژهٔ شبیه‌سازی شده را باهم مقایسه کرد، ابتدا درصد تکمیل واقعی تمام پروژه‌ها در هر روز از مسیر بحرانی مورد بررسی قرار گرفتند. برای ارزیابی این مقادیر، از رابطه رابطه (۱۹) استفاده می‌شود.

$$\%Complete= Act.Duration/Duration \quad (۱۹)$$

مقادیر متغیرهای سطح پروژه به همراه درصد تکمیل هر روز در اجرای ۷۰۰ ام در جدول (۲) نمایان شده است.

جدول ۲: ارزیابی سطح پروژه اجرای ۷۰۰

DATE ۷۰۰	TAD ۷۰۰	TED ۷۰۰	TPD ۷۰۰	EDI ۷۰۰	DPI ۷۰۰	PC ۷۰۰
۱	۱	۰/۸۵۷۱۴۳	۱	۰/۸۵۷۱۴۳	۴	۰/۰۰۶۴۱
۲	۲	۱/۷۱۴۲۸۶	۲	۰/۸۵۷۱۴۳	۲/۵	۰/۰۱۲۸۲۱
۳	۳	۲/۵۷۱۴۲۹	۳	۰/۸۵۷۱۴۳	۲	۰/۰۱۹۲۳۱
۴	۴	۳/۴۲۸۵۷۱	۴	۰/۸۵۷۱۴۳	۱/۷۵	۰/۰۲۵۶۴۱
۵	۵	۵/۲۸۵۷۱۴	۵	۰/۸۵۷۱۴۳	۱/۶	۰/۰۳۲۰۵۱
۶	۶	۵/۱۴۲۸۵۷	۶	۰/۸۵۷۱۴۳	۱/۵	۰/۰۳۸۴۶۲
۷	۷	۶	۷	۰/۸۵۷۱۴۳	۱/۲۸۵۷۱۴	۰/۰۴۴۸۷۲
۸	۸	۸	۸	۱	۱/۳۷۵	۰/۰۵۱۲۸۲
۹	۹	۱۰	۹	۱/۱۱۱۱۱۱	۱/۴۴۴۴۴۴	۰/۰۵۷۶۹۲
۱۰	۱۰	۱۲	۱۰	۱/۲	۱/۵	۰/۰۶۴۱۰۳
۱۱	۱۱	۱۳	۱۱	۱/۱۸۱۸۱۸	۱/۴۵۴۵۴۵	۰/۰۷۰۵۱۳
۱۲	۱۲	۱۴	۱۲	۱/۱۶۶۶۶۷	۱/۴۱۶۶۶۷	۰/۰۷۶۹۲۳
۱۳	۱۳	۱۵	۱۳	۱/۱۵۳۸۴۶	۱/۳۸۴۶۱۵	۰/۰۸۳۳۳۳
۱۴	۱۴	۱۶	۱۴	۱/۱۴۲۸۵۷	۱/۳۵۷۱۴۳	۰/۰۸۹۷۴۴
۱۵	۱۵	۱۷	۱۵	۱/۱۳۳۳۳۳	۱/۳۳۳۳۳۳	۰/۰۹۶۱۵۴
۱۶	۱۶	۱۸	۱۶	۱/۱۲۵	۱/۳۱۲۵	۰/۱۰۲۵۶۴
۱۷	۱۷	۱۹/۲	۱۷	۱/۱۲۹۴۱۲	۱/۳۵۲۹۴۱	۰/۱۰۸۹۷۴
۱۸	۱۸	۲۰/۴	۱۸	۱/۱۳۳۳۳۳	۱/۳۳۳۳۳۳	۰/۱۱۵۳۸۵
۱۹	۱۹	۲۱/۶	۱۹	۱/۱۳۶۸۴۲	۱/۳۱۵۷۸۹	۰/۱۲۱۷۹۵
۲۰	۲۰	۲۲/۸	۲۰	۱/۱۴	۱/۳	۰/۱۲۸۲۰۵
۲۱	۲۱	۲۴	۲۱	۱/۱۴۲۸۵۷	۱/۲۸۵۷۱۴	۰/۱۳۴۶۱۵
۲۲	۲۲	۲۵/۲	۲۲	۱/۱۴۵۴۵۵	۱/۳۱۸۱۸۲	۰/۱۴۱۰۲۶
۲۳	۲۳	۲۶/۴	۲۳	۱/۱۴۷۸۲۶	۱/۳۰۴۳۴۸	۰/۱۴۷۴۳۶
۲۴	۲۴	۲۷/۶	۲۴	۱/۱۵	۱/۲۵	۰/۱۵۳۸۴۶
۲۵	۲۵	۲۸/۸	۲۵	۱/۱۵۲	۱/۲۴	۰/۱۶۰۲۵۶
۲۶	۲۶	۳۰	۲۶	۱/۱۵۳۸۴۶	۱/۱۹۲۳۰۸	۰/۱۶۶۶۶۷
۲۷	۲۸	۳۲/۳۵۷۱۴	۲۷	۱/۱۹۸۴۱۳	۱/۲۲۲۲۲۲	۰/۱۷۹۴۸۷
۲۸	۳۰	۳۴/۷۱۴۲۹	۲۸	۱/۲۳۹۷۹۶	۱/۲۱۴۲۸۶	۰/۱۹۲۳۰۸
۲۹	۳۲	۳۷/۰۷۱۴۳	۲۹	۱/۲۷۸۳۲۵	۱/۲۰۶۸۹۷	۰/۲۰۵۱۲۸
۲۹	۳۲	۳۷/۰۷۱۴۳	۲۹	۱/۲۷۸۳۲۵	۱/۲۰۶۸۹۷	۰/۲۰۵۱۲۸

ادامه جدول ۲: ارزیابی سطح پروژه اجرای ۷۰۰

DATE ۷۰۰	TAD ۷۰۰	TED ۷۰۰	TPD ۷۰۰	EDI ۷۰۰	DPI ۷۰۰	PC ۷۰۰
۳۰	۳۴	۳۹/۴۲۸۵۷	۳۰	۱/۳۱۴۲۸۶	۱/۲	۰/۲۱۷۹۴۹
۳۱	۳۷	۴۲/۳۴۲۸۶	۳۲	۱/۳۲۳۲۱۴	۱/۱۹۳۵۴۸	۰/۲۳۷۱۷۹
۳۲	۴۰	۴۵/۲۵۷۱۴	۳۴	۱/۳۳۱۰۹۲	۱/۱۸۷۵	۰/۲۵۶۴۱
۳۳	۴۳	۴۸/۱۷۱۴۳	۳۶	۱/۳۳۸۰۹۵	۱/۱۸۱۸۱۸	۰/۲۷۵۶۴۱
۳۴	۴۶	۵۰/۸۲۸۵۷	۳۸	۱/۳۳۷۵۹۴	۱/۱۷۶۴۷۱	۰/۲۹۴۸۷۲
۳۵	۴۹	۵۳/۴۸۵۷۱	۴۰	۱/۳۳۷۱۴۳	۱/۱۷۱۴۲۹	۰/۳۱۴۱۰۳
۳۶	۵۱	۵۴/۹۴۲۸۶	۴۲	۱/۳۰۸۱۶۳	۱/۱۳۸۸۸۹	۰/۳۲۶۹۲۳
۳۷	۵۳	۵۶/۴	۴۵	۱/۲۵۳۳۳۳	۱/۱۳۵۱۳۵	۰/۳۳۹۷۴۴
۳۸	۵۵	۵۸/۵	۴۸	۱/۲۱۸۷۵	۱/۱۰۵۲۶۳	۰/۳۵۲۵۶۴
۳۹	۵۷	۶۰/۶	۵۱	۱/۱۸۸۲۳۵	۱/۱۰۲۵۶۴	۰/۳۶۵۳۸۵
۴۰	۵۹	۶۲/۷	۵۴	۱/۱۶۱۱۱۱	۱/۱	۰/۳۷۸۲۰۵
۴۱	۶۱	۶۴/۸	۵۷	۱/۱۳۶۸۴۲	۱/۰۷۳۱۷۱	۰/۳۹۱۰۲۶
۴۲	۶۲	۶۵/۴	۶۰	۱/۰۹	۱/۰۷۱۴۲۹	۰/۳۹۷۴۳۶
۴۳	۶۳	۶۶	۶۳	۱/۰۴۷۶۱۹	۱/۰۴۶۵۱۲	۰/۴۰۳۸۴۶
۴۴	۶۵	۶۷/۹۵	۶۶	۱/۰۲۹۵۴۵	۱/۰۲۲۷۲۷	۰/۴۱۶۶۶۷
۴۵	۶۷	۶۹/۹	۶۹	۱/۰۱۳۰۴۳	۱/۰۲۲۲۲۲	۰/۴۲۹۴۸۷
۴۶	۶۹	۷۱/۸۵	۷۲	۰/۹۹۷۹۱۷	۱/۰۲۱۷۳۹	۰/۴۴۲۳۰۸
۴۷	۷۱	۷۳/۸	۷۵	۰/۹۸۴	۱	۰/۴۵۵۱۲۸
۴۸	۷۳	۷۵/۷۵	۷۸	۰/۹۷۱۱۵۴	۱	۰/۴۶۷۹۴۹
۴۹	۷۵	۷۸	۸۱	۰/۹۶۲۹۶۳	۱	۰/۴۸۰۷۶۹
۵۰	۷۷	۸۰/۲۵	۸۴	۰/۹۵۵۳۵۷	۱	۰/۴۹۳۵۹
۵۱	۷۹	۸۲/۵	۸۷	۰/۹۴۸۲۷۶	۰/۹۸۰۳۹۲	۰/۵۰۶۴۱
۵۲	۸۲	۸۵/۶۰۷۱۴	۹۰	۰/۹۵۱۱۹	۰/۹۸۰۷۶۹	۰/۵۲۵۶۴۱
۵۳	۸۵	۸۸/۲۱۴۲۹	۹۳	۰/۹۴۸۵۴۱	۰/۹۸۱۱۳۲	۰/۵۴۴۸۷۲
۵۴	۸۸	۹۰/۸۲۱۴۳	۹۶	۰/۹۴۶۰۵۷	۰/۹۸۱۴۸۱	۰/۵۶۴۱۰۳
۵۵	۹۱	۹۳/۴۲۸۵۷	۹۹	۰/۹۴۳۷۲۳	۰/۹۸۱۸۱۸	۰/۵۸۳۳۳۳
۵۶	۹۴	۹۶/۰۳۵۷۱	۱۰۲	۰/۹۴۱۵۲۷	۰/۹۸۲۱۴۳	۰/۶۰۲۵۶۴
۵۷	۹۷	۹۸/۶۴۲۸۶	۱۰۵	۰/۹۳۹۴۵۶	۰/۹۸۲۴۵۶	۰/۶۲۱۷۹۵
۵۸	۱۰۰	۱۰۱/۲۵	۱۰۸	۰/۹۳۷۵	۰/۹۸۲۷۵۹	۰/۶۴۱۰۲۶
۵۹	۱۰۳	۱۰۴/۷	۱۱۱	۰/۹۴۳۲۴۳	۰/۹۸۳۰۵۱	۰/۶۶۰۲۵۶

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ادامه جدول ۲: ارزیابی سطح پروژه اجرای ۷۰۰

DATE ۷۰۰	TAD ۷۰۰	TED ۷۰۰	TPD ۷۰۰	EDI ۷۰۰	DPI ۷۰۰	PC ۷۰۰
۶۰	۱۰۶	۱۰۸/۶	۱۱۴	۰/۹۵۲۶۳۲	۰/۹۸۳۳۳۳	۰/۶۷۹۴۸۷
۶۱	۱۰۹	۱۱۲/۵	۱۱۷	۰/۹۶۱۵۳۸	۰/۹۸۳۶۰۷	۰/۶۹۸۷۱۸
۶۲	۱۱۲	۱۱۶/۴	۱۲۰	۰/۹۷	۱	۰/۷۱۷۹۴۹
۶۳	۱۱۵	۱۱۹/۶۵۷۱	۱۲۳	۰/۹۷۲۸۲۲	۱	۰/۷۳۷۱۷۹
۶۴	۱۱۸	۱۲۲/۷۱۴۳	۱۲۶	۰/۹۷۳۹۲۳	۱	۰/۷۵۶۴۱
۶۵	۱۲۱	۱۲۶/۰۷۱۴	۱۲۹	۰/۹۷۷۲۹۸	۱	۰/۷۷۵۶۴۱
۶۶	۱۲۴	۱۲۹/۴۲۸۶	۱۳۲	۰/۹۸۰۵۱۹	۱	۰/۷۹۴۸۷۲
۶۷	۱۲۷	۱۳۲/۷۸۵۷	۱۳۵	۰/۹۸۳۵۹۸	۱	۰/۸۱۴۱۰۳
۶۸	۱۳۰	۱۳۶/۱۴۲۹	۱۳۸	۰/۹۸۶۵۴۲	۱	۰/۸۳۳۳۳۳
۶۹	۱۳۳	۱۳۹/۵	۱۴۱	۰/۹۸۹۳۶۲	۱	۰/۸۵۲۵۶۴
۷۰	۱۳۶	۱۴۳/۱۶۶۷	۱۴۴	۰/۹۹۴۲۱۳	۱/۰۱۴۲۸۶	۰/۸۷۱۷۹۵
۷۱	۱۳۹	۱۴۶/۸۳۳۳	۱۴۷	۰/۹۹۸۸۶۶	۱/۰۱۴۰۸۵	۰/۸۹۱۰۲۶
۷۲	۱۴۲	۱۵۰/۵	۱۵۰	۱/۰۰۳۳۳۳	۱/۰۲۷۷۷۸	۰/۹۱۰۲۵۶
۷۳	۱۴۵	۱۵۳/۵۲۳۸	۱۵۲	۱/۰۱۰۰۲۵	۱/۰۲۷۳۹۷	۰/۹۲۹۴۸۷
۷۴	۱۴۷	۱۵۵/۰۴۷۶	۱۵۴	۱/۰۰۶۸۰۳	۱/۰۲۷۰۲۷	۰/۹۴۲۳۰۸
۷۵	۱۴۹	۱۵۶/۵۷۱۴	۱۵۶	۱/۰۰۳۶۶۳	۱/۰۲۶۶۶۷	۰/۹۵۵۱۲۸
۷۶	۱۵۱	۱۵۸/۰۹۵۲	۱۵۸	۱/۰۰۰۶۰۳	۱/۰۲۶۳۱۶	۰/۹۶۷۹۴۹
۷۷	۱۵۳	۱۵۹/۶۱۹	۱۶۰	۰/۹۹۷۶۱۹	۱/۰۱۲۹۸۷	۰/۹۸۰۷۶۹
۷۸	۱۵۵	۱۶۱/۱۴۲۹	۱۶۲	۰/۹۹۴۷۰۹	۱	۰/۹۹۳۵۹
۷۹	۱۵۶	۱۶۲	۱۶۲	۱	۰/۹۸۷۳۴۲	۱

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ایجاد حدود کنترلی در متغیرهای EDI و DPI

در نهایت، در نه درصد تکمیل مشخص‌شده یعنی {٪۹۰، ....٪۴۰، ٪۳۰، ٪۲۰، ٪۱۰} میزان DPI و EDI تخمین زده شد. نیاز به اشاره است که حدود کنترلی اشاره‌شده در هر درصدی که مورد نیاز باشد، از روش بیان‌شده، قابلیت اندازه‌گیری دارد، ولی در این پژوهش، تنها برای جلوگیری از اطناب، به بیان نه درصد بسنده شد. برای تخمین شاخص‌های عملکردی، از روش میانه‌گیری[1] استفاده شد. برای نمونه، برای اندازه‌گیری DPI، در درصد تکمیل ۵۰ پروژه از رابطه (۲۰) بهره گرفته شد (نیاز به اشاره است که این رابطه برای هردو شاخص عملکرد و در هر درصدی از تکمیل قابل‌استفاده است):

$$DPI_p=50\%=DPI_t+(50-PC_t)\frac{DPI_{t+1}-DPI_t}{PC_{t+1}-PC_t} \qquad (۲۰)$$

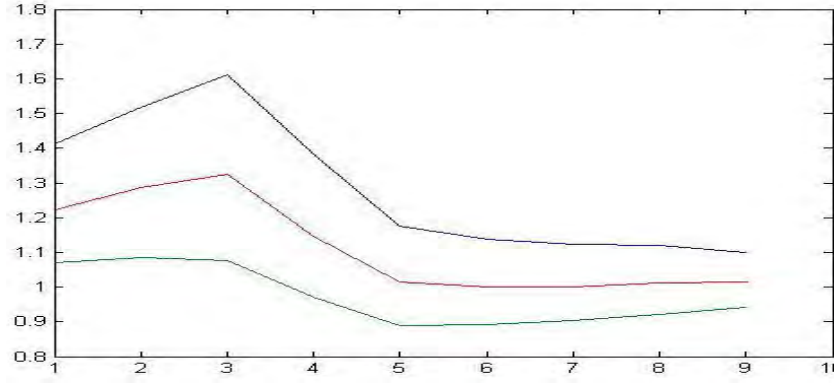
t: نشان‌دهنده روزی است که شاخص DPI در آن قرار دارد.

پس از مشخص شدن تمام شاخص‌های عملکردی در تمام درصدهای تکمیل، از رابطه (۱۴) میزان $UTL_{XDPI}^{10\%}$، $LTL_{XDPI}^{10\%}$ به علاوه $UTL_{XEDI}^{10\%}$، $LTL_{XEDI}^{10\%}$ و از رابطه (۱۶) میزان $UTL_{RDPI}^{10\%}$ و $LTL_{RDPI}^{10\%}$ به علاوه $UTL_{REDI}^{10\%}$ و $LTL_{REDI}^{10\%}$ مورد محاسبه قرار گرفت. میزان α برابر با ۱۰ درصد، سطح نوسان را نشان می‌دهد که این پارامتر، اولین و آخرین چندک در میان متغیرهاست. α هم بر احتمال فزون واکنش و عملکرد ردیابی در نمودارهای X و R تاثیرگذار است. بنابراین، انتخاب مناسب سطح α نشان‌دهندهٔ آگاهی مدیر پروژه از ریسک‌ها و تمایل وی نسبت به سرمایه‌گذاری در اصلاح، به هنگام هشدار در صورت بروز خطاست. البته در این پژوهش، میزان α برابر با ۱۰، مورد تایید کارشناسان پروژه قرار گرفت. مقادیر محاسبه‌شده برای درصد تکمیل‌های مشخص‌شده به تفکیک در جدول (۳) به همراه نمودار کنترلی آن‌ها نمایش داده شده است.

جدول ۳: حدود کنترلی نمودار X برای شاخص EDI

PC[1]	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
UTLXEDI	۱/۴۱۲	۱/۵۱۷	۱/۶۱۲	۱/۳۸۲	۱/۱۷۷	۱/۱۳۹	۱/۱۲۲	۱/۱۲۰	۱/۰۹۹
MEAN X EDI	۱/۲۲۱	۱/۲۸۷	۱/۳۲۴	۱/۱۴۸	۱/۰۱۴	۰/۹۹۹	۱/۰۰۰	۱/۰۱۳	۱/۰۱۴
LTLXEDI	۱/۰۷۱	۱/۰۸۵	۱/۰۷۸	۰/۹۷۱	۰/۸۹۰	۰/۸۹۲	۰/۹۰۵	۰/۹۲۲	۰/۹۴۰

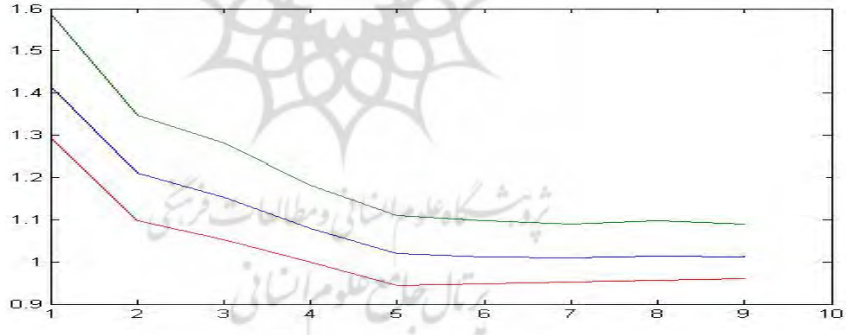
1. Interpolation
2. Percent Complete



شکل ۲: نمودار X شاخص EDI

جدول ۴: حدود کنترلی نمودار X برای شاخص DPI

PC	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
UTLXDPI	۱/۵۸۸	۱/۳۴۷	۱/۲۸۲	۱/۱۸۱	۱/۱۰۹	۱/۰۹۸	۱/۰۸۹	۱/۰۹۷	۱/۰۸۸
MEAN X DPI	۱/۴۱۷	۱/۲۱۰	۱/۱۵۲	۱/۰۸۰	۱/۰۱۹	۱/۰۱۱	۱/۰۰۹	۱/۰۱۴	۱/۰۱۲
LTLXDPI	۱/۲۹۴	۱/۰۹۷	۱/۰۵۳	۱/۰۰۰	۰/۹۴۴	۰/۹۴۸	۰/۹۵۲	۰/۹۵۷	۰/۹۶۰

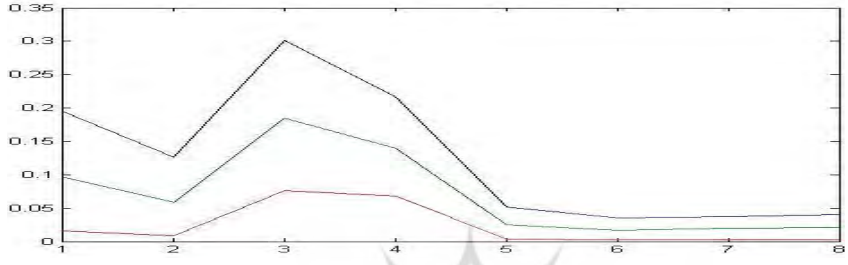


شکل ۳: نمودار X شاخص DPI

دو نمودار (۱) و (۲)، نمودارهای X شاخص‌های DPI و EDI را نشان می‌دهند. در این دو نمودار، خط مرکزی نمایانگر هدفی است که پروژه واقعی باید به آن دست یابد که از میانگین دو شاخص اشاره‌شده به‌دست آمد. خطوط خارجی نیز حدود مجاز تخطی از هدف را نشان می‌دهند. چنانچه میزان شاخص‌ها خارج از آن‌ها باشد، شاخص‌های زمانی غیرقابل قبول هستند و برنامه پروژه باید مورد بازبینی قرار گیرد.

جدول ۵: حدود کنترلی نمودار R برای شاخص EDI

PC	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
UTLREDI	۰/۱۹۵۱	۰/۱۲۶۸	۰/۳۰۱۶	۰/۲۱۶۹	۰/۰۵۲۲	۰/۰۳۵۰	۰/۰۳۷۷	۰/۰۴۰۲
MEAN REDI	۰/۰۹۷۲	۰/۰۵۸۴	۰/۱۸۴۲	۰/۱۳۹۶	۰/۰۲۴۸	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۹۸	۰/۰۲۱۴
LTLREDI	۰/۰۱۶۳	۰/۰۰۸۹	۰/۰۷۶۶	۰/۰۶۸۲	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۲۷	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۲۶

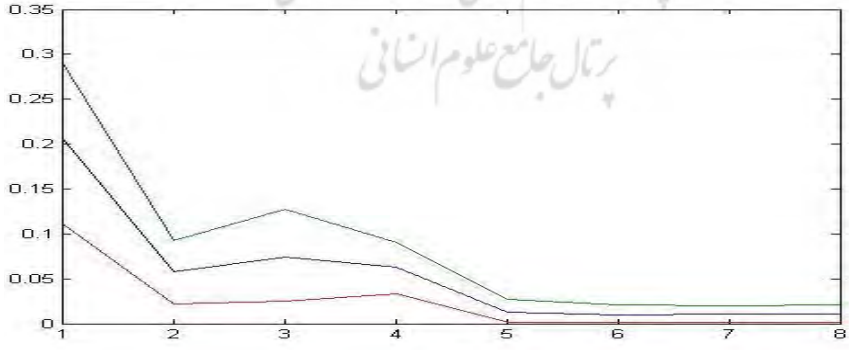


شکل ۴: نمودار R شاخص EDI

جدول ۶: حدود کنترلی نمودار R برای شاخص DPI

PC	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
UTLRDPI	۰/۲۹۲۱	۰/۰۹۳۱	۰/۱۲۷۲	۰/۰۹۰۸	۰/۰۲۶۷	۰/۰۲۰۸	۰/۰۱۹۸	۰/۰۲۱۱
MEAN RDPI	۰/۲۰۷۵	۰/۰۵۷۹	۰/۰۷۴۴	۰/۰۶۳۰	۰/۰۱۳۳	۰/۰۰۹۴	۰/۰۱۰۴	۰/۰۱۰۹
LTLRDPI	۰/۱۱۱۶	۰/۰۲۲۳	۰/۰۲۴۹	۰/۰۳۳۱	۰/۰۰۱۷	۰/۰۰۱۴	۰/۰۰۱۳	۰/۰۰۱۳

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۵: نمودار R شاخص DPI

دو نمودار (۳) و (۴)، نمودار R در شاخص‌های DPI و EDI را نشان می‌دهند. مقادیر R بیانگر تفاوت بین دو مقدار متوالی (در درصدهای معلوم) از شاخص‌ها هستند که میزان نوسان این مقادیر در نمودارهای کنترلی بالا پیداست. این نمودارها نیز مانند نمودارهای X خوانده و پردازش می‌شوند.

بحث و نتیجه‌گیری

روش EDM در جهت بهبود روش EVM به‌دست آمد و به ارزیابی و پیش‌بینی دقیق‌تر زمان در پروژه‌ها منجر شد. این روش نیز مانند روش‌های مرسوم بکارگرفته‌شده در مدیریت و کنترل پروژه، ما را قادر نمی‌سازد که دریابیم چه میزان انحراف از مقادیر برنامه‌ریزی‌شده قابل پذیرش و چه میزان غیرقابل پذیرش هستند. در این پژوهش، با بکارگیری حدود کنترل آماری، تلاش شد تا انحراف‌های قابل پذیرش اندازه‌گیری شوند. در پژوهش حاضر، از روش مونت کارلو، از ۱۰۰۰ اجرا، ابتدا شاخص‌های سطح فعالیت پروژه شبیه‌سازی شدند، سپس با استفاده از فرض نمودار گانت، سطح فعالیت وابسته شد، تا در نهایت، شاخص‌های سطح پروژه به‌دست آیند. در این مرحله، برای این‌که بتوان ۱۰۰۰ پروژه شبیه‌سازی‌شده را مقایسه کرد، درصد تکمیل تمام پروژه‌ها در تمام روزها بررسی گردیدند و حدود کنترلی در درصدهای مشخصی اندازه‌گیری شدند. حدود کنترلی بر مبنای برنامه زمان‌بندی پروژه «پل ماشین‌رو امام علی» به‌دست آمدند. نیاز به اشاره است که استفاده از فرض نمودار گانت در حین کار، انعطاف‌پذیری بسیار زیادی به فرایند می‌بخشند، به‌طوری که به‌راحتی می‌توان آن را در مورد دیگر پروژه‌ها بکار گرفت.

مدیران پروژه با در دست داشتن چنین نمودارهایی می‌توانند از آن‌ها به عنوان هشدارهای خطا استفاده کنند و به محض ایجاد شکاف بین برنامه و واقعیت، اقدام‌های اصلاحی را آغاز کنند. نمودارهای کنترل می‌توانند بحرانی‌ترین فازهای پروژه را به صورت طرحواره[1] به تصویر کشند.

روش مطرح‌شده در پژوهش حاضر، یک کنترل آینده‌نگر است، پس می‌توان این روش را به عنوان یک کنترل پیش‌نگر در پژوهش‌های مربوط به پیش‌بینی زمان و برنامه زمان‌بندی پروژه بکار گرفت. همچنین، در این پژوهش، از توزیع یکنواخت برای شبیه‌سازی استفاده شد و پژوهشگران آتی می‌توانند از توابع توزیع دیگر استفاده کنند و به ارزیابی کارامدترین نوع آن‌ها بپردازند.

در این پژوهش، برای برآورد میزان انحراف‌های پروژه، به مصاحبه با خبرگان پروژه بسنده شد. می‌توان در پژوهش‌های بعدی از روش مدیریت ریسک و شناخت ریسک‌های بحرانی پروژه و بکارگیری احتمال وقوع این ریسک‌ها برای ارزیابی دقیق‌تر میزان انحراف‌های احتمالی از زمان

1. Schematic

پروژه در شبیه‌سازی استفاده شوند. در پژوهش فعلی، شاخص‌های EDI و DPI بررسی شدند، می‌توان با فرایند مطرح‌شده، دیگر پروژه‌ها را با دیگر شاخص‌های روش EDM مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش، شبیه‌سازی احتمالی صورت گرفت، می‌توان در پژوهش‌های بعدی این شبیه‌سازی را در یک محیط فازی انجام داد.

منابع

الف) فارسی

اکبری، علی‌اکبر و صالحی‌پور، امیر (۱۳۹۱). کنترل آماری شاخص‌های عملکرد زمان و هزینه در پروژه‌های عمرانی، *فصلنامه علمی ـ پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی*، ۱۰(۲۷)، ۱۶۱-۱۳۹.

خالدیان، فرنوش و عالم‌تبریز، اکبر (۱۳۹۴). شبیه‌سازی شاخص‌های عملکرد زمانی پروژه از طریق روش طول زمان کسب‌شده، *سومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در مدیریت و حسابداری*.

عالم‌تبریز، اکبر؛ خالدیان، فرنوش و مهدی‌پور، مصطفی (۱۳۹۵). پیش‌بینی زمان پروژه از طریق طول زمان کسب‌شده و مدیریت ریسک. *نشریه مدیریت صنعتی*، ۸(۲)، ۲۴۰-۲۱۷.

عالم‌تبریز، اکبر و محمد رحیمی، علیرضا (۱۳۸۸). *رویکردهای مدیریت تولید و عملیات*، شرکت چاپ و نشر بازرگانی، تهران.

عوض‌خواه، حسین (۱۳۸۸). *مدیریت ریسک پروژه با استفاده از Pertmaster V8*، نشر حامی.

نورالنسا، رسول (۱۳۸۲). *مقدمه‌ای بر کنترل آماری فرایند*، چاپ هشتم، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.

ب) انگلیسی

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), 411-423.

Al-Tabtabai, H., Kartam, N., Flood, I., & Alex, A. P. (1997). Construction Project Control Using Artificial Neural Networks. *AI EDAM*, 11(1), 45-57.

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

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.

Colin, J., & Vanhoucke, M. (2014). Setting Tolerance Limits for Statistical Project Control Using Earned Value Management. *Omega*, *49*(1), 107-122.

Colin, J., & Vanhoucke, M. (2015). Developing a Framework for Statistical Process Control Approaches in Project Management. *International Journal of Project Management*, *33*(6), 1289-1300.

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), 1019-1041.

Kim, E., Wells, W. G., & Duffey, M. R. (2003). A Model for Effective Implementation of Earned Value Management Methodology. *International Journal of Project Management*, *21*(5), 375-382.

Lauras, M., Marques, G., & Gourc, D. (2010). Towards a Multi-Dimensional Project Performance Measurement System. *Decision Support Systems*, *48*(2), 342-353.

Leu, S. S., & Lin, Y. C. (2008). Project Performance Evaluation Based on Statistical Process Control Techniques. *Journal of Construction Engineering and Management*, *134*(10), 813-819.

Lipke, W., & Vaughn, J. (2000). Statistical Process Control Meets Earned Value. CrossTalk: *The Journal of Defense Software Engineering*, *13*(1), 16-28.

Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., & Anbari, F. (2009). Prediction of Project Outcome: The Application of Statistical Methods to Earned Value Management and Earned Schedule Performance Indexes. *International Journal of Project Management*, *27*(4), 400-407.

Naeni, L. M., Shadrokh, S., & Salehipour, A. (2014). A Fuzzy Approach for the Earned Value Management. *International Journal of Project Management*, *32*(4), 709-716.

Navon, R. (2005). Automated Project Performance Control of Construction Projects. *Automation in Construction*, *14*(4), 467-476.

پرتال جامع علوم انسانی

Establishing Control Limits on Time Performance Indicators of Projects through Monte Carlo Simulation and Earned Duration Management

Akbar Alam-Tabriz[1] Professor, Department of Management, Faculty of Management and Accounting, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
Farnoosh Khaledian[2] M. A. in Industrial Management, Faculty of Management and Economics, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran, Iran.
Mostafa Mahdipour[3] M. A. in Biomedical Engineering, Faculty of Biomedical Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran.

Journal of Development & Process Management No.32-Spring 2019

1. a-tabriz@sbu.ac.ir
2. f.khaledian@ut.ac.ir
3. m.mahdipour@aut.ac.ir

Abstract
Earned Duration Management (EDM) method has been developed to enhance Earned Value Management and to solve some of its problems, such as separation of measuring time and cost dimensions. By providing performance indicators, this method makes it possible for managers to accurately measure the progress of a project and to calculate the time and cost required to complete it. Nevertheless, the accepted rate of progress indexes of a project is not specified in this method, which brings about ambiguity. Intending to improve earned duration management performance, statistical quality control charts were used, which had previously been applied in Earned Value Management to determine the acceptable cut-off points of indexes of project management. Using Monte Carlo simulation, these charts were calculated at the time of project planning, but not during project implementation. Such calculations give project managers prospective view; in addition, they provide a basis for evaluating and comparing the performance of projects during their progress.

Keywords: Project Management, Earned Duration Management, Monte Carlo Simulation, Statistical Quality Control, Control Limits.