بررسی اثر متغیرهای کیفی در پیش بینی هزینه تکمیل پروژه

محمد مهدوی مزده[۱]، استادیار، مرتضی باقرپور[۲]،استادیار،آزاده صوفی پور[۳]،دانش آموخته کارشناسی ارشد

۱- دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه علم وصنعت ایران-تهران- ایران
mazdeh@iust.ac.ir
۲- دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه علم وصنعت ایران-تهران- ایران
bagherpour@iust.ac.ir
۳- دانشکده مهندسی صنایع- دانشگاه علم وصنعت ایران-تهران- ایران
soofey_azadeh@ind.iust.ac.ir

چکیده: مدیریت ارزش حاصله رویکردی جهت یکپارچه سازی مدیریت زمان و هزینه در چارچوب مدیریت محدوده پروژه است. همچنین از کاربردهای دیگر این روش تخمین هزینه های پروژه در نقطه تکمیل، عمدتا با استفاده از عملکرد گذشته است. امروزه یکی از مهمترین چالش‌هایی که مدیران پروژه‌های بزرگ کشور از جمله مدیران پروژه های مربوط به صنعت برق با آن روبرو هستند، انتخاب دقیق‌ترین روش برآورد هزینه تکمیل پروژه به منظور بهبود در پیگیری وضعیت پروژه و نظارت برآن می‌باشد. همچنین آنها در مواجهه با محدودیت‌های بودجه خود، نیازمند برآوردی قابل اطمینان و مکرر از هزینه‌ها می‌باشند. در مبحث ارزش حاصله، مباحثی مطرح شده است که با استفاده از آنها می‌توان آینده پروژه را پیش‌بینی نمود. یکی از آن‌ها برآورد هزینه تکمیل پروژه می-باشد.در این راستا چند فرمول ریاضی (شاخص عملکردی) توسط محققان مختلف توسعه داده شده است. اما همچنان بر روی استفاده از یک فرمول خاص برای پروژه ها اتفاق نظر وجود ندارد. در این تحقیق، مدلی با درنظر گرفتن تاثیر عوامل کیفی و متغیرهای مجازی در روابط مربوط به برآورد هزینه تمام شده پروژه، پیشنهاد شده است در نهایت مدل پیشنهادی در پروژه‌ای واقعی پیاده‌سازی گردیده است. نتایج حاصل، نشان می‌دهد که عمدتا این مدل پیشنهادی دارای خطای کمتری نسبت به روش‌های سنتی می‌باشد.

واژه های کلیدی:هزینه، مدیریت ارزش حاصله،برآورد هزینه پروژه در نقطه تکمیل، عملکرد، نظارت بر پروژه، پیش‌بینی

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۰۷/۲۴
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۱/۱۱/۲۳
نام نویسنده‌ی مسئول : محمد مهدوی مزده
نشانی نویسنده‌ی مسئول : تهران، میدان رسالت، خ هنگام، خ دانشگاه، دانشکده صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران

۱- مقدمه

گرفتن بازخورد از پروژه، فعالیتی مهم در راستای افزایش نرخ موفقیت پروژه می‌باشد. بازخوردهای دوره‌ای و هدفمند پروژه، مدیران پروژه را قادر به شناسایی زودهنگام مشکلات پروژه و انجام اقدامات اصلاحی در جهت حفظ زمان و هزینه پروژه می-سازد. مدیریت ارزش کسب شده (EVM[1])یکی از موثرترین روش‌های سنجش عملکرد و گرفتن بازخورد از پروژه، برای مدیران پروژه می‌باشد. EVM، مدیریت با چراغ روشن نیز نامیده می‌شود، زیرا این روش بطور عینی و شفاف مشخص می‌سازد که پروژه در چه موقعیتی قرار دارد و به کجا می‌رود (در مقایسه با موقعیتی که قرار بوده آنجا باشد و قرار بوده به آنجا برود). همچنین این روش، از این اصل که الگوها و روندهای گذشته می‌توانند پیش‌بینی‌های خوبی از آینده ارائه دهند، استفاده می-نماید.بدین منظورکه مدیر پروژه بتواند با موفقیت پروژه خود را به اتمام برساند، لازم است تبادل بین زمان‌بندی و عملکرد هزینه‌ای مدیریت گردد. بهترین نشانه برای آگاهی از این‌که فرآیند و برنامه دچار مشکل شده است، بالارفتن هزینه‌ها می-باشد. بنابراین، نظارت بر هزینه‌ها، بواسطه تخمین هزینه‌ها، می-تواند هشداری زودهنگام برای مدیران پروژه در زمینه مشکلات بالقوه پروژه باشد. پی‌بردن زودهنگام مشکلات سبب می‌گردد که مدیر پروژه، قبل از اینکه مشکلات، غیر قابل حل گردند، اقدامات اصلاحی مناسب را انجام دهد. همچنین، مدیران پروژه، در مواجهه با بودجه‌های محدود خود، نیازمند برآورد قابل اطمینان و مکرر از هزینه خود می‌باشند که کاهش نقدینگی و افزایش مشکلات ناشی از تاخیرهای زمانبندی و دوباره‌کاری‌ها، کار مدیران پروژه و برنامه‌ریزی را بسیار مشکل‌تر می‌سازد. عواملی که بر روی هزینه‌های پروژه تاثیرگذار می‌باشند، بیشمارند و در نظر گرفتن تاثیر هر عامل به تنهایی در هر مرحله بسیار مشکل است. بنابراین به منظور به‌روز رسانی اطلاعات هزینه‌ای در یک زمان مناسب، مدیریت باید رویکردی موثر بکار گیرد. به منظور برآورد در مبحث ارزش حاصله شاخص‌هایی تعریف شده است که با استفاده از آنها می‌توان آینده پروژه را پیش‌بینی نمود. یکی از این شاخص‌ها برآورد هزینه تکمیل پروژه(EAC۲) می‌باشد. EAC، پیش‌بینی کلیه هزینه‌هایی است که برای انجام کل کار مورد نیاز است. پیش‌بینی، فرایندی است که هدف آن، اطلاع از اتفاقات و شرایط آینده است. روابط EAC نیز اتفاقی در آینده که همان هزینه نهایی پروژه است را پیش‌بینی می‌کنند. برآورد هزینه کار، می‌تواند همراه با جزئیات فراوان باشد که این‌کار مستلزم صرف زمان زیادی می‌باشد و همچنین می‌تواند در زمان کوتاهی و با استفاده از روابط و معادلات، محاسبه گردد. اکثر مواقع، محدودیت‌های زمانی و نیاز فوری به استفاده از اطلاعات، باعث می‌گردد که از روابط موجود، برای محاسبه EAC استفاده گردد.

۱-۱- تعاریف و مفاهیم مدیریت ارزش کسب شده

مدیریت ارزش حاصله با یکپارچه کردن سه فاکتور ارزش برنامه ای[3](PV)، ارزش حاصله[4](EV) و هزینه واقعی[5](AC) معیارهای عددی مطمئنی برای ارزیابی پروژه و همچنین مقایسه پروژه ها با یکدیگر ارائه می کند. ارزش برنامه ای میزان هزینه پیش‌بینی شده (بودجه) لازم برای انجام کار به میزان زمانبندی شده تا لحظه مورد نظر می-باشد. هم میزان بودجه و هم میزان کاری که می‌بایست تا زمان مورد نظر انجام یابد از نوع پیش‌بینی است و بنابراین ارزش برنامه‌ای، در مرحله زمان‌بندی پروژه برای کل دوره انجام پروژه، تعیین می‌شود. ارزش حاصله به میزان بودجه مورد نیاز، برای انجام کار به مقداری که تا لحظه مورد نظر انجام یافته ارزش کسب شده گفته می‌شود. ارزش کسب شده، یک تصویر لحظه ای از پیشرفت کار در یک نقطه زمانی مشخص است و نشان‌دهنده حجم کاری است که بصورت واقعی تا تاریخ مشخصی انجام شده است. هزینه واقعی نیز عبارتست از، هزینه-های واقعی صرف شده برای مقدار کاری که تا لحظه مورد نظر به انجام رسیده است. مبانی و اصطلاحات مدیریت ارزش حاصله در منابع متعددی آورده شده است که خواننده می‌تواند برای آشنایی به [۱] و[۲] مراجعه نماید.

[1] Earned Value Management

[2] Estimate At Completion
[3] Planned Value
[4] Earned **Value**
[5] ActualCost

۱-۲- برآورد هزینه پروژه در نقطه تکمیل

پیش‌بینی، فرایندی است که هدف آن، اطلاع از اتفاقات و شرایط آینده است. روابط EAC نیز اتفاقی در آینده که همان هزینه نهایی پروژه است را پیش‌بینی می‌کنند. هزینه پروژه در نقطه تکمیل، می‌تواند همراه با جزئیات فراوان باشد که این‌کار مستلزم صرف زمان زیادی می‌باشد و همچنین می‌تواند در زمان کوتاهی و با استفاده از روابط و معادلات، محاسبه گردد. اکثر مواقع، محدودیت‌های زمانی و نیاز فوری به استفاده از اطلاعات، باعث می‌گردد که از روابط موجود، برای محاسبه EAC استفاده گردد. برآورد هزینه پروژه در نقطه تکمیل، تحت عنوان پیش‌بینی هزینه تمام شده تعریف شده است. بنابراین، باید شامل فاکتورهایی باشد که تمامی ابعاد هزینه‌ای پروژه را دربرگیرد. مروری بر تحقیقات موجود طی سالیان گذشته، یکسری ملاحظات عمومی را در زمینه محاسبه EAC، فراهم می‌سازد. برخی از تحقیقات اولیه، با وزن دهی شاخص‌های زمانی و هزینه‌ای سرو کار داشتند. بطورکلی، هزینه‌های واقعی تجمعی و برآورد کارهای باقیمانده، بر روی EAC، تاثیر می‌گذارد. دو روش مختلف در روابط EAC وجود دارد: روش تحلیلی و روش ریاضی. روش تحلیلی بر مبنای تخمین دوباره باقیمانده کار، از پایین‌ترین سطح ساختار شکست کار می‌باشد. این روش مستلزم صرف زمان زیادی جهت انجام محاسبات دقیق می‌باشد. روش ریاضی، نیازمند عناصر مدیریت ارزش حاصله مانند AC، BAC و EV می باشد.. معمولا، بدلیل محدودیت‌های زمانی، هزینه‌های سفر و محدودیت‌های نیروی انسانی، بر روی روش‌های ریاضی محاسبه EAC تمرکز می‌گردد.تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه معرفی روش-های گوناگون برای ایجاد و یا بهبود تکنیک‌های محاسبهEACانجام شده است. این تحقیقات به سه گروه اصلی روش‌های مبتنی بر شاخص، روش‌های آماری و روش‌های مبتنی بر شبیه سازی تقسیم شده‌اند.فلمینگ، در یکی از کتاب‌های نوشته شده در زمینه معیارهای سیستم های کنترل هزینه / زمانبندی، [۳] چهار عامل عملکرد تا زمان کنونی پروژه، هزینه‌های واقعی صرف شده، تصویر عملکرد آینده و برآورد هزینه کارهای باقیمانده قرارداد را در محاسبه برآورد هزینه کار موثر دانست.اسلمیکردر سال ۱۹۸۵،[۴] با درنظر گرفتن عوامل فوق تعریف بهتری را از EAC ارائه داد. او EAC را برآوردی از کارهای واقعی باقیمانده بعلاوه هزینه‌های واقعی کارهای انجام شده تا کنون (AC) تعریف کرد. این تعریف می‌تواند بصورت رابطه زیر بیان گردد:

$$EAC = ACWP_c + [(BAC - BCWP_c) \times PPF] \qquad (۱-۱)$$

که در آن$ACWP_C$ ، هزینه‌های تجمعی تا کنون،$BCWP_C$ ، ارزش حاصله کارهای انجام شده بصورت تجمعی می‌باشد. اختلاف میانBAC (کل کار) و$BCWP_C$ ، نشان‌دهنده کار باقیمانده می باشد. همچنین، PPF[1]فاکتور عملکرد گذشته است و نشان می‌دهد که پیمانکار تا کنون چگونه عمل کرده است. ارزش پولی کارهای باقیمانده ضربدر PPF، هزینه انتظاری کارهای باقیمانده را ارائه می‌کند. محققان بسیاری مانند «کواچ»[۵] و همکارانش، «برایت»و«هوارد»[۶]،درمسیرجست و جوی بهترین فرمول محاسبه EAC و یا تعیین شاخص عملکرد مناسب، گام برداشته‌اند. در تحقیق لیپک و همکاران[۷]، بدلیل اینکه CPI تجمعی از نقطه پیشرفت ۲۰٪ای پروژه در بازه ۰/۱ مقدار خود ثابت می‌ماند. و همچنین در اکثر پروژه‌های بزرگ CPI از نقطه ثبات خود تا تکمیل پروژه تمایل به کم شدن دارد، از رابطه زیر جهت محاسبه EAC استفاده می‌گردد.

$$EAC = BAC \big/ (CPI\ 20\% \pm 0.1) \qquad (۲-۱)$$

کریستینسن و همکاران، در تحقیق خود [۸] به بررسی تعداد قابل ملاحظه‌ای از تحقیقات در زمینه روش‌های محاسبه مبتنی بر شاخص و روش‌های آماری، از سال ۱۹۷۳ الی ۱۹۸۹ پرداخت. اکثر روشهای مبتنی بر شاخص ، راه‌هایی را برای تخصیص وزن به ترکیب شاخص‌ها پیشنهاد می‌دادند، درحالیکه، روش‌های مبتنی بر تحلیل رگرسیونی غیرخطی، برای بالابردن قابلیت پیش‌بینی مدل ایجاد شدند. بعنوان مثال، دروکر و همکاران [۹]، روشی جدید را پیشنهاد دادند که در آن از تحلیل‌های آماری در محاسبه EAC شاخص محور، استفاده گردید. در این تحقیق، از داده‌های گذشته استفاده شده بود که این امر قابلیت آزمون‌پذیری (آزمون‌های آماری) به مدل ایجاد شده داده بود. مطابق با تحقیق هیلسون در سال ۲۰۰۴ [۱۰]، محاسبه EAC با استفاده از شاخص‌های عملکردی، اثرات ریسک‌های آینده را بطور صریح در مدل به حساب نمی‌آورد، بنابراین، وی به رویکرد ادغام مدیریت ریسک و EVM روی آورد. هیلسون، در مقاله خود، تخصیص هزینه احتمالی[2] جهت تعدیل ریسک را پیشنهاد نمود که می‌توان از آن بعنوان یک متدولوژی ارزیابی ریسک، در پوشش سطح انتظاری ریسک

[1]Past Performance Factor
[2]cost contingency

محدوده باقیمانده پروژه، نام برد. در این تحقیق از روش شبیه‌سازی مونت کارلو، به منظور تصحیح ریسک و تجدیدنظر بودجه و تعیین نمودار S ریسک محور و ترسیم حطوط هزینه‌های انتظاری تا تکمیل پروژه، استفاده شده است. وارگاس نیز از شبیه‌سازی مونت کارلو بر مبنای شاخص‌های احتمالی استفاده کرد[۱۱]. برخلاف روش‌های سنتی محاسبه EAC که برآوردهایی قطعی ارائه می‌دهند، در این رویکرد، وی نگاهی احتمالی به هزینه نهایی پروژه دارد. بطور خاص، شبیه‌سازی سه شاخص اصلی را تعریف می‌کند که این سه شاخص، شاخص هزینه ای[1] که معمولا مقدار ۱ در نظر گرفته می‌شود، شاخص CPI و شاخص ضریب بحرانی[2] که از توزیع مثلثی هزینه برآورد کار (خوشبینانه، محتمل و بدبینانه) بدست می‌آید، می‌باشند. زاویتوفسکی نیز بواسطه استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، روش‌های سنتی را با استفاده از تئوری فازی و با معرفی متغیرهای زبانی، اصلاح نمود[۱۲]. تحلیل وی ارزیابی دقیق‌تر و پیچیده‌تری را از ریسک پروژه ارائه داد. همچنین استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو، دید گسترده‌تری نسبت به داده‌ها در قالب توزیع احتمال EAC به تحلیل‌گر می‌دهد. علاوه‌براین، جهت کمینه ساختن خطاهای ناشی از اشتباه در توزیع متغیرهای احتمالی، توزیع‌ها باتوجه به متغیرهای زبانی فازی تعریف شدند. معرفی این متغیرها، منجر به ارائه پیش‌بینی‌های دقیق‌تری از هزینه نهایی پروژه گردید.

۲- مدل پیشنهادی

بطور کلی، هر عاملی که سبب افزایش مدت زمان پروژه و ایجاد تاخیر در پروژه گردد، هزینه پروژه در نقطه تکمیل را نیز تحت تاثیر قرار خواهد داد و با افزایش مواجه خواهد کرد. از این‌رو لازم است از روشی جهت تعیین میزان تاخیر و انحراف زمانی بوجود آمده در هر پروژه استفاده نمود. میزان تاخیر و انحراف زمانی پروژه را می‌توان با تکنیک‌های مربوط به تحلیل زمان کسب شده در هر مقطع زمانی مورد اندازه‌گیری قرار داد. طبق تعاریف مربوط به تحلیل زمان کسب شده، در هر دوره، میزان انحراف زمانی که در پروژه رخ داده است، از رابطه زیر محاسبه می‌گردد: [۱۳]

$$SV(t) = ES - AT \qquad (۱-۲)$$

جائیکه:

ES:زمان کسب شده

AT[3]: زمان کنونی (زمان مورد نظر) می‌باشند.

همچنین طبق روابط پیشنهادی در تحقیق لیپک و همکاران[۷]

$$SPI(t) = \frac{ES}{AT} \qquad (۲-۲)$$

$$EAC(t) = \frac{PD}{SPI(t)} \qquad (۳-۲)$$

جائیکه:

SPI(t)[4]: شاخص عملکرد زمانبندی (زمانی)

EAC(t): برآورد زمان پایان پروژه

PD[5]: مدت زمان برنامه ریزی شده جهت اتمام پروژه (مدت زمان قرارداد) می‌باشند.

ازآنجائیکه برآورد مدت زمان پایان پروژه از رابطه فوق بدست آمده است و همچنین با توجه به مشخص بودن زمان قرارداد، می‌توان میزان تاخیر ایجاد شده در پروژه را در هر لحظه، با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$Delay = EAC(t) - PD \qquad (۴-۲)$$

این تاخیر بوجود آمده، خود متاثر از عوامل مختلفی مانند مشکلات مربوط به عدم نقدینگی، شرایط آب و هوایی و غیره می‌باشد. بنابراین مدل پیشنهادی را می‌توان بصورت مدلی رگرسیونی با دخیل کردن عوامل ایجاد کننده تاخیر، در نظر گرفت. این عوامل، با تاثیر مستقیم بر روی مقادیر ارزش کسب شده و زمان کسب شده، سبب ایجاد تاخیر در مقدار کاری که می‌بایست طبق برنامه صورت گیرد، می‌شوند. لذا در

[1] Budgeted Cost Index
[2] Critical Ratio
[3] Actual Time
[4] Schedule Performance Index (time)
[5] Planned Duration

این تحقیق مدلی پیشنهاد می‌گردد که به کمک آن بتوان، اثر عوامل فوق‌الذکر را در ارزش کسب شده و زمان کسب شده و به تبع آن تاخیری که در پروژه بوجود می‌آید، مورد بررسی قرار داد.

$$ES(t) = b_0 + b_1 D_1 + b_2 D_2 + \ldots + b_n D_n + aES(t-1) + \varepsilon_t \quad (۵-۲)$$

$$EV(t) = a_0 + a_1 D_1 + a_2 D_2 + \ldots + a_n D_n + bEV(t-1) + v_t \quad (۶-۲)$$

جائیکه:

$D_1, D_2, \ldots, D_n$ متغیرهای مصنوعی نشاندهنده عوامل کیفی ایجاد تاخیر در پروژه می‌باشند، که دو مقدار صفر و یک را بخود می‌گیرند.بعنوان مثال اگر D_1 متغیر مصنوعی جهت نشان دادن شرایط آب و هوایی باشد، این متغیر مصنوعی خود به دو طبقه مطلوب و نامطلوب جهت اجرای پروژه، تقسیم می‌گردد. همچنین ε_t و v_t متغیرهای مستقلی هستند که از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس σ^2 تبعیت می‌کنند.

بنابراین در هر مقطع از پروژه (زمان t)، باتوجه به مقادیر زمان و ارزش کسب شده ، تاخیری معادل با مقدار Delay در پروژه بوجود می‌آید. همچنین با توجه به اینکه ارزش پول وابسته به زمان است و با تغییر زمان ارزش پول نیز تغییر خواهد کرد، با ایجاد تاخیر در پروژه، از ارزش پولی که برای انجام پروژه در نظر گرفته شده است، کاسته می‌شود. بطوریکه طبق رابطه $FV = PV(1+i)^n$ ، پولی که در حال حاضر جهت اجرای پروژه‌ای مد نظر قرار گرفته شده است، پس از گذشت n دوره از تاریخ پایان قرارداد، ارزش آن در فاکتور $(1+i)^n$ ضرب خواهد شد. در نتیجه با ایجاد انحراف زمانی به اندازه Delay در پروژه ، مقدار هزینه تخصیص یافته جهت اجرای باقیمانده پروژه در فاکتور $(1+i)^{Delay}$ ضرب خواهد شد. در نتیجه مدل پیشنهادی بصورت زیر بدست می‌اید:

$$EAC = AC + \frac{(BAC - EV)}{Index} + (BAC - EV_{PD})(1+i)^{Delay} \quad (۷-۲)$$

جائیکه:

متغیر EV_{PD} ، نشاندهنده میزان پیش‌بینی برای ارزش کسب شده در زمان پایان قرارداد می‌باشد. در نتیجه، جمله $(BAC - EV_{PD})$ بیانگر مقدار پولی است که، جهت انجام مقدار باقیمانده کار در زمانی پس از پایان قرارداد، باید صرف شود.

از ۳ رابطه زیر برای مقدار شاخص عملکرد گذشته استفاده می‌گردد و نتایج حاصل از هریک از مدل‌های ایجاد شده با یکدیگر مورد مقایسه می‌گیرند.

$$1)\ Index = (SPI + CPI)/2 \quad (۸-۲)$$

$$2)\ Index = 0.3SPI + 0.7CPI \quad (۹-۲)$$

$$3)\ Index = CPI \quad (۱۰-۲)$$

حال برای محاسبه میزان هزینه نهایی پروژه، الگوریتم زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد:

قدم ۱: ایجاد مدل خودرگرسیونی مرتبه اول با استفاده از متغیرهای مصنوعی (بعنوان متغیر مستقل)، برای متغیرهای پاسخ ES و EV در نقاط پیشرفت مورد نظر با استفاده از داده‌های گذشته.

قدم ۲: پیش‌بینی دو مقدار ES و EV در نقطه پایان پروژه، با استفاده از مدل ایجاد شده در قدم اول. در این قدم دو حالت زیر ممکن است رخ دهد:

- **حالت اول:** نقطه پیشرفت مورد نظر (مثلا ۵۰٪) در زمانی قبل از زمان اتمام قرارداد اتفاق بیفتد که در اینصورت، پیش‌بینی ES و EV در زمان اتمام قرارداد، صورت می‌گیرد.
- **حالت دوم:** پیشرفت مورد نظر، در زمانی پس از زمان اتمام قرارداد صورت گیرد که در این‌حالت، پیش‌بینیتنها برای یک دوره بعد انجام می‌شود. به عبارت دیگر:

$$\begin{cases} \text{if } AT < PD \Rightarrow FT = PD \\ \text{if } AT \geq PD \Rightarrow FT = AT + 1 \end{cases}$$

جائیکه FT[1] نشان‌دهنده زمان پیش‌بینی می‌باشد.

قدم ۳: محاسبه مقدار SPI(t) با استفاده از رابطه زیر:

$$SPI(t) = \frac{ES_{FT}}{FT} \qquad (۱۱-۲)$$

قدم ۴: محاسبه مقادیر مربوط به پیش‌بینی برآورد مدت زمان اتمام پروژه و میزان تاخیر با استفاده از روابط زیر:

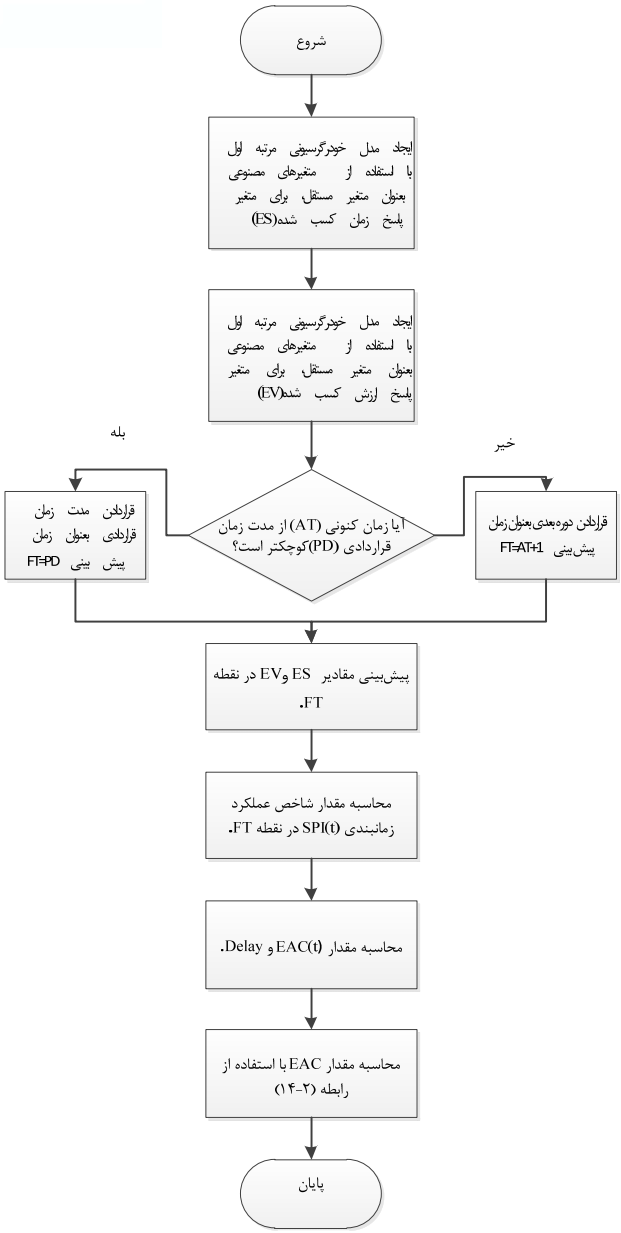
$$EAC(t) = \frac{PD}{SPI(t)} \qquad (۱۲-۲)$$

$$Delay = EAC(t) - PD \qquad (۱۳-۲)$$

قدم ۵: محاسبه مقدار مربوط به پیش‌بینی برآورد هزینه پروژه در نقطه تکمیل به طریق زیر:

$$EAC = AC + \frac{(BAC - EV)}{Index} + (BAC - EV_{FT})(1+i)^{Delay} \qquad (۱۴-۲)$$

قدم ۶: بررسی کارایی مدل بوسیله اندازه‌گیری مقدار اختلاف بین هزینه پیش‌بینی شده و مقدار هزینه تمام شده واقعی و انجام مقایسه با روش‌های سنتی قبلی



شکل ۲-۱: الگوریتم پیشنهادی برآورد هزینه تکمیل پروژه

۳- مطالعه موردی

جهت اعتبارسنجی و دست‌یابی به میزان کارآمدی الگوریتم ارائه شده، مدل‌های پیشنهادی فوق در پروژه‌ای واقعی پیاده‌سازی گردید تا با ارزیابی نتایج و مقایسه آن‌ها با مقادیر واقعی هزینه پروژه، کاراترین مدل انتخاب گردد. پروژه ای که مد نظر قرار گرفته است، پروژه ساخت می‌باشدکه شامل عملیات خریدوتهیه لوازم تجهیزات ومصالح ونصب سیستم موردنظرمی‌باشد. بودجه در نظر گرفته شده جهت اجرای این پروژه، حدود ۵۰ میلیارد ریال و مدت زمان قرارداد معادل با ۲۵ ماه بوده است. در نهایت پروژه، پس از گذشت ۴۷ ماه، با هزینه‌ای معادل با ۶۵,۱۱۸,۶۴۶,۸۰۴ ریال، به اتمام رسید. به منظور بکارگیری مدل

[1]Forecasted Time

فوق در پروژه، داده‌های مربوط به پروژه از تاریخ شروع پروژه بصورت ماهیانه جمع‌آوری گردیده است.
عوامل تاخیر در نظر گرفته شده در این پروژه، با توجه به داده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از ابزار مصاحبه، شناسایی شده‌اند. این عوامل، وضعیت آب و هوایی، وضعیت پرداخت صورت وضعیت‌ها توسط کارفرما و وضعیت تامین مصالح می‌باشند که بصورت زیر، با متغیرهای طبقه‌ای نشان داده شده‌اند.

وضعیت آب و هوایی:	پرداخت صورت وضعیت-ها:	وضعیت مصالح پروژه:
D1 1 مطلوبنا 0 مطلوب	D2 1 با تاخیر 0 به موقع	D_3 1 کمبود 0 موجود

۳-۱- نتایج حاصله

در نقاط پیشرفت مشخصی از پروژه (۵۰٪ و ۷۰٪) مقدار برآورد هزینه نهایی با استفاده از مدل پیشنهادی محاسبه می‌گردند و مقدار حاصل با هزینه نهایی واقعی پروژه مقایسه می‌شود. جهت ایجاد مدل خودرگرسیونی برای متغیرهای پاسخ ES و EV در نقاط پیشرفت ۵۰٪ داده‌های مورد نیاز تا این زمان (شامل وضعیت آب وهوایی، وضعیت پرداخت صورت وضعیت‌ها و وضعیت مصالح پروژه) بصورت ماهیانه جمع‌آوری می‌گردد. باتوجه به داده‌های موجود در ماه ۲۲ام پروژه، درصد پیشرفتی معادی با ۵۲/۳۸٪ بدست آمده است. این امر در شرایطی است که درصد پیشرفت برنامه‌ای در این تاریخ معادل با ۹۱/۵۹٪ می‌باشد. با استفاده از نرم افزارMinitab نسخه ۱۶.۱.۱، پارمترهای مدل تخمین زده شده است. لازم به ذکر است، جهت تخمین پارامترهای مدل‌های خودرگرسیونی، لازم است شرط ایستایی[1] داده‌های سری زمانی وجود داشته باشد که این شرط طبق آزمون ریشه واحد دیکی-فولر[2] محقق گردیده است.

$$EV_t = 2.7667*10^9 - 1.29364*10^9 D_1 - 1.68059*10^9 D_2 - 1.41806*10^9 D_3 + 1.04242 EV_{t-1} + 6.3273*10^8 D_2 D_3$$

$$ES_t = 1.95043 - 0.644999 D_1 - 1.47596 D_2 - 1.44566 D_3 + 1.0297 ES_{t-1} + 1.0376 D_2 D_3$$

حال در معادله فوق باید با استفاده از روش آنالیز واریانس، نسبت به انجام آزمون معنادار بودن متغیرهای مستقل اقدام نمود. باتوجه به خروجی نرم افزار می‌توان دریافت که جمله مربوط به اثر متقابل بین متغیرD2و D3معنادار نمی‌باشد. لذا با حذف جمله فوق، معادلات بصورت زیر درمی‌آیند:

$$EV_t = 2.57571*10^9 - 1.36898*10^9 D_1 - 1.37485*10^9 D_2 - 1.04084*10^9 D_3 + 1.04619 EV_{t-1}$$

$$ES_t = 1.63424 - 0.773174 D_1 - 0.977927 D_2 - 0.837445 D_3 + 1.04259 ES_{t-1}$$

باتوجه به اینکهAT برابر با ۲۲ می‌باشد،FTبرابر با ۲۵ درنظر گرفته می‌شود. بنابراینEV و ES در ماه ۲۵ام مورد پیش‌بینی قرار می‌گیرد.

$$EV_{25} = 32428970064$$
$$ES_{25} = 15.855$$

با قراردادن داده‌ها در روابط مربوطه، نتایج زیر حاصل می‌گردد:

$$SPI(t) = 0.63$$
$$EAC(t) = 39.42$$
$$Delay = 14 \text{ month}$$

پیش‌بینی برآورد هزینه تمام شده در جدول (۳-۱) آورده شده است. به همین ترتیب برای نقطه پیشرفت ۷۰٪ نیز این عمل تکرار خواهد شد. مقدار حداقل نرخ جذب کننده ۱۵٪ در سال درنظر گرفته شده است. لازم به ذکر است، از آنجائیکه نقطه پیشرفت ۷۰٪ در ماه ۲۶ام حاصل شده است و در نتیجه از مدت زمان قراردادی فراتر رفته است، در شاخص به جایSPIاز(t)SPIاستفاده شده است.معادلات مربوط بهEVوES در نقطه پیشرفت ۷۰٪ بصورت زیر می‌باشد. مانند حالت

[1] Stationarity
[2] Dickey-Fuller

قبل، باتوجه به معنادار نبودن اثر متقابل بینمتغیرهای مصنوعی، از جمله مربوط به آن صرفنظر شده است.

$$EV_t = 2.76677*10^9 - 1.27749*10^9 D_1 - 1.42075*10^9 D_2 - 9.3666*10^8 D_3 + 1.02053 EV_{t-1}$$

$$ES_t = 1.84502 - 0.770149 D_1 - 1.13967 D_2 - 0.999514 D_3 + 1.03797 ES_{t-1}$$

در پایان نیز نتایج مدل پیشنهادی با مدل سنتی $EAC = AC + \frac{(BAC - EV)}{Index}$ مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

درصد خطای مدل سنتی	درصد خطای مدل پیشنهادی	مقدار برآورد هزینه تمام شده (ریال)	شاخص	نقطه پیشرفت
٪۲۹/۱۵	٪۱/۰۹	۶۵,۸۲۹,۶۴۷,۰۵۷	(SPI+CPI)/2	٪۵۰
٪۱۵/۲۵	٪۱۵	۷۴,۸۸۵,۲۰۶,۳۸۲	0.3*SPI+0.7*CPI	٪۵۰
٪۲۰/۳۲	٪۹/۹۲	۷۱,۵۸۱,۶۱۴,۰۴۶	CPI	٪۵۰
٪۱۵/۶۴	٪۰/۲	۶۵,۲۴۶,۶۹۶,۲۴۷	(SPI(t)+CPI)/2	٪۷۰
٪۷/۳۵	٪۸/۴۹	۷۰,۶۴۶,۴۵۳,۶۹۴	0.3*SPI(t)+ 0.7*CPI	٪۷۰
٪۷/۶۸	٪۸/۱۶	۷۰,۴۳۲,۹۲۴,۹۱۹	CPI	٪۷۰

جدول (۳-۱): نتایج پیاده سازی مدل

۴- نتیجه‌گیری

بیشک یکی از اصلیترین دلایل عدم پایان موفقیت آمیزپروژهها مطابق بابودجه مصوب وزمانبندی برنامه ریزی شده،عدم بکارگیری سیستم یامتدولوژی مدیریت پروژه علمی برپایه تجارب موفق گذشته، بهترین شیوههایبهنگاممیباشد.

شایدبهجرأتبتوانگفتکهموضوعهزینهپروژههمهمترینمبحثیاستکهدرمدیریت پروژهمی-

بایستبیشازهرموضوعدیگریبهآنتوجهکردومباحثدیگرراحولآندرنظرگرفتهو مدیریتنمود.امروزهمسألهمدیریتهزینهجامعوصحیحپروژهشاملبرنامهریز یمنابع،

برآوردهزینهها،بودجهبندیوکنترلهزینهبهیکیازدغدغههایاصلیمتولیانودس تاندرکارانپروژههاتبدیلشدهاست. از این‌رو، یکیازروش-

هایبسیارمهمیکهدرطیسهدههاخیر، برای

مدیریتجامعویکپارچهپروژهمورداستفادهقرارگرفتهاست، روش مدیریت ارزش کسب شده می‌باشد. مدیران پروژه با بکارگیری روشEVM می-

توانند بابررسیروندعملکردپروژه در گذشته، پیش-

بینیدقیقوقابلاطمینانیازوضعیتنهاییپروژهازحیثزمانوهزینهلازمبرایاتمامپر وژهانجامدهند.

در این تحقیق ، مسئله بررسی اثر متغیرهای کیفی در پیش‌بینی برآورد هزینه‌های پروژه در نقطه تکمیل مورد بررسی قرار گرفته شد. برخی عوامل کیفی نظیر وضعیت پرداخت صورت‌وضعیت‌ها توسط کارفرما، شرایط آب و هوایی، وضعیت تامین به موقع کالا و ... همه به نوبه خود سهم به سزایی در افزایش هزینه‌های پروژه دارند. در مدل پیشنهادی، با توجه به کیفی بودن این عوامل، آن‌ها بصورت متغیر مصنوعی در مدل نشان داده شد و اثر آن‌ها در مقدار زمان و ارزش کسب شده مورد بررسی قرار گرفت و نظر به اینکه این عوامل باعث افزایش مدت زمان و کاهش مقادیر زمان و ارزش کسب شده می‌گردد، اثر آن‌ها در زمان و هزینه پروژه بررسی گردید. نتایج حاصل از پیاده-سازی مدل در پروژه واقعی نشانگر عملکرد مطلوب این مدل در عمل و کارایی بالای آن‌ها می‌باشد. این مدل به ازای ۳ شاخص مختلف در دو نقطه پیشرفت ۵۰٪ و ۷۰٪ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان‌دهنده اینست که استفاده از شاخص $(SPI + CPI)/2$ در هر دو نقطه پیشرفت ۵۰٪ و ۷۰٪ میزان خطای پیش‌بینی را بطور قابل ملاحظه ای نسبتبه روش‌های سنتی کاهش می‌دهد. در نقطه پیشرفت ۵۰٪ میزان خطای پیش‌بینی از ۲۹٪ بدست آمده در مدلهای سنتی، به حدود ۱٪ و در نقطه پیشرفت ۷۰٪ ، این مقدار خطا از ۱۵٪ مدلهای سنتی به ۰/۲٪ تقلیل پیدا کرده است. الگوریتم پیشنهادی فوق را می‌توان در انواع مختلف پروژه‌ها مورد پیاده‌سازی قرار داد. اگرچه پروژه استفاده شده در این تحقیق پروژه ساخت و ساز جاده‌ای بوده است اما هیچ گونه محدودیتی در استفاده از این الگوریتم در پروژه‌های مختلف وجود ندارد و بطور مشابه برای کلیه پروژه های نیروگاهی و انتقال برق و غیره نیز قابل استفاده خواهد بود.

۵- مراجع

۱. Fleming, Q. and J. Koppleman, *Earned value project management*, ed. Project Management Institute2000, Pennsylvania, USA.

۲. Anbari, F., *Earned Value Project Management Method and Extensions.* Proj. Manage. J, 2003. **34**(4): p. 12-23.

۳. Fleming, Q.W., *Cost/schedule control systemscriteria: The management guide to C/SCSC*1988: Probus Pub. Co. (Chicago, Ill).

۴. Slemaker, C.M., *The principles and practice of cost/schedule control systems*1985: Petrocelli Books (Princeton, N.J.).

۵. Covach, J., *A Study to Determine Indicators and Methods to Compute Estimate at Completion (EAC).* in *Mantech International Corporation*1981.

۶. Bright, H.R. and T.W. Howard, *Weapon System Cost Control: Forecasting Contract Completion Costs, TR-FC-81-1.*, in *Comptroller/Cost Analysis Division,US Army Missile Command*1981: Redstone Arsenal, Alabama.

۷. Lipke, W., et al., *Prediction of Project Outcome: The Application of Statistical Methods to Earned Value Management and Earned Schedule Performance Indexes.* Int. J. Proj. Manage, 2009 :(۴)۲۷ .p. 400-407.

۸. Christensen, D., R. Antonili, and J. McKinney, *A Review of Estimate At Completion Research.* J. Cost Analysis Manage :۱۹۹۵p. 41-62.

۹. Druker, E., D. Demangos, and R. Coleman, *Performing Statistical Analysis on Earned Value Data*, in*Proc. of SCEA/ISPA Conference and Training Workshop.* 2009, The Society of Cost Estimating and Analysis: St. Louis

۱۰. Hillson, D., *Earned Value Management and Risk Management: A Practical Synergy*, in *Proc. of the PMI Global Congress.* 2004, Project Management Institute: Anaheim.

۱۱. Vargas, R., *Earned Value Probabilistic Forecasting Using Monte Carlo Simulation*, in *Transactions of American Association of Cost Engineers*2004, American Association of Cost Engineers: Washington.

۱۲. Zawistovski, J., *Application of Modified Earned Value Method for Assessing the Risk and Progress of Construction Projects*, in *Proc. of the 10th International Conference on Modern Building Materials, Structures and Techniques*2010, Vilnius Gediminas Technical University: Vilnius. p.۵۶۰-۵۵۷ .

۱۳. Lipke, W., *Schedule is different.* Meas News, 2003. **31**(4.)