به‌کارگیری و مقایسه روش‌های پیش‌بینی جهت تخمین هزینه تکمیل پروژه در روش ارزش حاصله

ایمان ربیعی[*1]، ایرج مهدوی[2]، مرتضی باقرپور[3] و رضا توکلی مقدم[4]

[1] عضو هیئت علمی گروه مهندسی صنایع - دانشگاه پیام نور شیراز

[2] دانشیار گروه مهندسی صنایع- دانشگاه علوم و فنون مازندران

[3] استادیار دانشکده مهندسی صنایع - دانشگاه علم و صنعت ایران

[4] استاد گروه مهندسی صنایع- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت 89/7/11، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده 90/3/16، تاریخ تصویب 90/6/27)

چکیده

مدیریت ارزش حاصله، رویکردی برای یکپارچه‌سازی مدیریت زمان و هزینه در چارچوب مدیریت محدوده پروژه است. همچنین از کاربردهای دیگر این روش، تخمین هزینه باقیمانده تا تکمیل طرح با استفاده از عملکرد گذشته است. در این راستا چند فرمول ریاضی (شاخص عملکردی) توسط محققان مختلف توسعه داده شده است. اما همچنان بر استفاده از یک فرمول خاص برای پروژه‌اتفاق نظر وجود ندارد. همچنین تأکید همه تحقیقات گذشته بر تخمین هزینه نهایی پروژه بوده و توجهی به دیگر مقاطع زمانی پروژه نکردند. بر همین اساس هدف از این تحقیق، تکمیل و گسترش روش‌های پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه است. در این تحقیق، روش‌های پیش‌بینی هزینه تکمیل پروژه به دو دسته کلی: 1- روش‌های شاخص عملکردی 2- رگرسیونی و سری زمانی تقسیم شده‌اند. مدل‌های رگرسیونی و سری زمانی بر اساس رابطه خطی برخی از عوامل مدیریت ارزش حاصله،ایجاد شده‌اند. برای مقایسه مدل‌ها، از خطاهای پیش‌بینی همچون MAPE، MSE، MAD، روند صعودی یا نزولی مقادیر درصد خطا در دوره‌های مختلف، آنالیز واریانس مدل‌های ایجادشده و آنالیز مقایسه‌ای استفاده شده است. برخی از مدل‌های رگرسیونی نتایج قابل اعتمادی را از خود نشان داده‌اند. برای تعیین بهترین روش پیش‌بینی هزینه، با استفاده از داده واقعی چهار پروژه با شرایط متفاوت، روش‌های مذکور مورد استفاده قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: ارزش حاصله، تخمین، هزینه تکمیل پروژه، رگرسیون، سری زمانی، شاخص عملکرد

مقدمه

مدیریت ارزش حاصله را می‌توان به عنوان روشی برای اندازه‌گیری و گزارش پیشرفت فیزیکی واقعی پروژه و همچنین یکپارچه‌کردن سه عامل اساسی مدیریت پروژه یعنی محدوده، زمان و هزینه که با اندازه‌گیری پیشرفت پروژه در واحد پولی به کنترل پروژه و ریسک آن کمک می‌کند، معرفی کرد [1]. می‌توان گفت آنالیز ارزش حاصله یک روش استاندارد برای اندازه‌گیری پیشرفت پروژه، پیش‌بینی زمان تکمیل و هزینه نهایی پروژه و ارائه واریانس‌های برنامه‌ای و بودجه‌ای در طی زمان تکمیل پروژه است. مدیریت ارزش حاصله با یکپارچه کردن سه عامل ارزش برنامه‌شده[1] (PV)، ارزش حاصله[2] (EV) و هزینه واقعی[3] (AC) معیارهای عددی مطمئنی برای ارزیابی پروژه و همچنین مقایسه پروژه‌ها با یکدیگر ارائه می‌کند. در شکل (1) تلاش شده است برخی از این معیارها به اختصار شرح داده شوند. ارزش برنامه‌شده بودجه‌ای است که برای انجام کار برنامه‌شده تخصیص داده می‌شود. ارزش حاصله میزان کاری است که تا کنون و یا یک تاریخ مورد نظر بر اساس پیشرفت واقعی از ارزش برنامه‌شده، انجام شده است. هزینه واقعی همه هزینه‌های واقعی صرف‌شده برای کارهای انجام شده است که تا هر نقطه زمانی متحمل و ضبط می‌شوند. هزینه تکمیل[4] (BAC) کل بودجه مصوب پروژه است. هدف ما در این مقاله، ارائه روشی مناسب برای پیش‌بینی هزینه‌های بعدی پروژه است.

مبانی و اصطلاحات مدیریت ارزش حاصله در منابع متعددی آورده شده است (برای آشنایی بیشتر به[2] و [3]مراجعه شود). برخی از فرمول‌ها و اصطلاحات رایج سیستم مدیریت ارزش حاصله در قسمت زیر آورده شده است [2]:

[*] نویسنده مسئول : تلفن: 8427834- 0711 ، Email: rabieeiman@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

Earned Value EV = %complete x BAC
Cost Variance CV = EV - AC
Schedule Variance SV = EV - PV
Cost Performance Index CPI = EV / AC
Schedule Performance Index SPI = EV / PV
Estimate at Completion EAC = BAC / CPI
Estimate to Complete ETC = EAC - AC
Variance at Completion VAC = BAC - EAC

مروری بر ادبیات موضوع

در تحقیقات گذشته برای پیش‌بینی هزینه نهایی پروژه، از شاخص‌های عملکردی موجود در سیستم مدیریت ارزش حاصله به صورت میانگین چندین دوره آخر آنها، تجمعی و ترکیب‌کردن چندین شاخص با اختصاص وزن‌های مختلف استفاده شده است. علاقه به تحقیقات مقایسه‌ای بین فرمول‌های پیش‌بینی از آنجا شروع شد که در سال 1991 یک برنامه نیروی دریایی آمریکا به نام A-12 به دلیل نامشخص بودن هزینه‌های بعدی پروژه، متوقف شد. مسئول این پروژه، اظهار داشت که هیچکس نمی‌تواند به او بگوید که این پروژه چه مقدار هزینه در بر خواهد داشت [4].

ناگریچا اظهار می‌کند شاخص CPI، عامل مناسبی برای پیشگویی هزینه نهایی پروژه است و فقط از این شاخص برای پیش‌بینی هزینه استفاده می‌کند [13].

دکتر کریستنسن، تحقیقات جامعی را در زمینه مدیریت ارزش حاصله انجام داده و با بررسی نتایج دیگر محققان، این نتایج را به دست آورده است[5]:

1- تحقیقات نشان می‌دهند که نمی‌توان گفت که یک فرمول در همه حالات بهترین است.

2- دقت مدل‌های شاخص عملکردی تابعی از سیستم، مرحله و فاز پروژه است.

3- فقط در فازهای اولیه پروژه می‌توان به SPI ضریب نسبتا بزرگی اختصاص داد. در تخمین هزینه شاخص CPI اهمیت بیشتری نسبت به SPI دارد.

4- فرمول‌هایی که بر اساس SCI بودند، در تحقیقات کوواچ، ریدل و برایت در مراحل ابتدایی پروژه مناسب بودند. در مراحل پایانی، CPI پیش‌گویی‌کننده بهتری بود.

5- میانگین‌گیری از چندین دوره برای CPI، فقط در زمان کوتاهی جوابگوست و در تمام طول پروژه نباید به کار گرفته شود.

بلایت، 10 فرمول شاخص‌های ترکیب وزنی را بر داده‌های چهار پروژه ارزیابی کرد. وزن‌ها برای شاخص‌ها بین 0 و 1 تغییر می‌کردند و با فاصله 0,1 افزایش می‌یافتند. او نتیجه گرفت وزن 0,2 برای SPI در مدل‌های ترکیب وزنی در برخی از مراحل اجرای پروژه بهترین است [5]. براون پیشنهاد داد تا در هر لحظه زمانی از اجرای پروژه که قرار داریم، مقدار هزینه‌های واقعی (AC) تااین لحظه را با مقدار بودجه لازم برای کار باقیمانده، جمع زده تا EAC حاصل شود. در واقع این مدل، آینده را خوش‌بینانه در نظر می‌گیرد و فرض می‌کند همه کارهای باقیمانده طبق زمان و هزینه مرحله برنامه‌ریزی پروژه انجام می‌شوند [5]. همچنین کوپلمن در ابتدای تحقیقات خود فرض کرد که همه هزینه‌های سرریزی که تا این لحظه از اجرای پروژه داشتیم، طی عملیات‌های اصلاحی تا پایان پروژه جبران خواهد شد و هزینه نهایی واقعی پروژه با بودجه کل مصوب (BAC) آن برابر خواهد شد. این نظریه را فقط می‌توان برای تعداد ناچیزی از پروژه‌ها در نظر گرفت [11]. توتارو پیشنهاد کرد که تعیین وزن‌های شاخص‌های ترکیبی، تابعی از درصد تکمیل پروژه است. همچنین تخصیص وزن‌ها به CPI و SPI وابسته به نظر آنالیزگر بعد از در نظر گرفتن مشخصه‌های پروژه است. همانند مقدار نیروی انسانی مورد نیاز پروژه [5].

با توجه به موارد ذکر شده، می‌توان گفت در بین محققان، هنوز بر یک روش خاص برای برآورد هزینه‌های بعدی پروژه، اتفاق نظر وجود ندارد. اما همگی اعتقاد دارند مدیریت ارزش حاصله، یک روش کارا و مؤثر برای کنترل پروژه است. اکثر تحقیقات انجام گرفته به فرمول‌های شاخص عملکردی توجه کرده و به اندازه کافی در این زمینه، پژوهش انجام شده است. یکی از ایرادهای اصلی تحقیقات گذشته در این است که آنها فقط به پیش‌بینی هزینه نهایی (آخرین دوره زمانی) پروژه اکتفا کرده‌اند. در حالی که تخمین هزینه دیگر مقاطع زمانی پروژه برای نیاز به تأمین مالی هزینه کارکنان، مواد، قطعات مورد نیاز و غیره در هر مقطع (دوره) زمانی، اهمیت خاص خود را دارد.

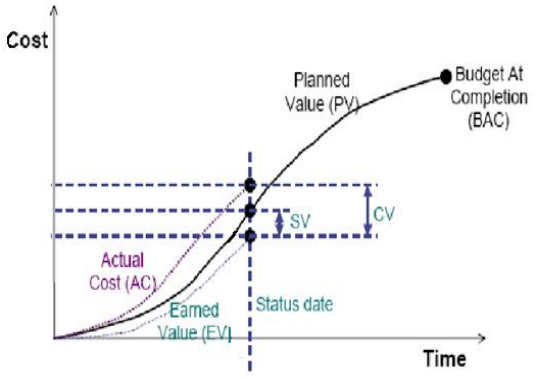
Archive of SID

www.SID.ir

روش ارزش حاصله

مدیریت ارزش حاصله برای اندازه‌گیری پیشرفت پروژه، دو شاخص عملکرد برنامه زمان‌بندی دارد؛ واریانس برنامه زمان‌بندی (SV) و شاخص عملکرد برنامه (SPI) که واریانس برنامه زمان‌بندی تفاوت بین ارزش حاصله (EV) و ارزش برنامه‌شده (PV) است. واریانس برنامه زمان‌بندی، حجم کار انجام‌شده را در مقایسه با کار برنامه‌شده اندازه‌گیری می‌کند. شاخص عملکرد برنامه زمان‌بندی (SPI) نسبت بین ارزش حاصله و ارزش برنامه‌شده است که یک شاخص بی‌مقیاس برای اندازه‌گیری کارآیی برنامه است. اما در انتهای طرح، از آنجا که همواره PV=EV است، در نتیجه SV=0 و SPI=1 است؛ از این رو رفتار دو شاخص ذکر شده در بالا، بارها مورد انتقاد قرار گرفته است. SPI در مراحل پایانی پروژه، قابلیت کارآیی خود را از دست می‌دهد؛ به همین دلیل در این تحقیق در همه محاسبات به جای استفاده از SPI، از SPI(t) استفاده شده است [11].

همچنین دو شاخص مهم دیگر برای کنترل هزینه‌های پروژه وجود دارد، واریانس هزینه (CV) و شاخص عملکرد هزینه (CPI). واریانس هزینه اختلاف میان ارزش حاصله (EV) و هزینه واقعی ناشی از انجام کار (AC) است و شاخص عملکرد هزینه (CPI) نسبت بین ارزش حاصله و هزینه واقعی کارهای انجام شده است. شکل (1) یک نمایش کلی از روش ارزش حاصله را نشان می‌دهد [2].



شکل 1: نمایش کلی از روش ارزش حاصله

پیش‌بینی هزینه پروژه

مدیران پروژه، مدیران ارشد و مشتریان، بسیار علاقه‌مند هستند که بدانند در آینده چه اتفاقی برای پروژه خواهد افتاد و هزینه نهایی آن چه قدر خواهد شد. دانستن و تعیین اینکه هزینه دوره‌های بعدی پروژه، چه مقدار خواهد بود، نیازمند ارزیابی کار باقیمانده است. سیستم مدیریت ارزش حاصله، اطلاعات اساسی و مهمی را فراهم می‌کند و مدیران پروژه را قادر می‌کند که فقط پس از تکمیل درصدی از کار پروژه، پیش‌بینی‌های آماری مناسبی از هزینه نهایی طرح داشته باشند [11]. در واقع با استفاده از سیستم مدیریت ارزش حاصله، برای شناسایی مشکلات و وضعیت آینده پروژه به پیشرفت زمانی پروژه تا حدود 90 درصد نیازی نخواهیم داشت. زمانی که پروژه تا این حد پیشرفت داشته است، با درک مشکلات و روبه‌رو شدن با آنها نمی‌توان کاری از پیش برده و راه‌حل مناسب را یافت. در نتیجه، سیستم ارزش حاصله، ابزاری برای هشدار سریع به مدیران پروژه است تا با اقدام‌های اصلاحی و فعالیت‌های مضاعف به موقع، به نتایج نهایی مطلوب دست یابند.

روش‌های تخمین هزینه پروژه را به دو دسته کلی روش‌های شاخص عملکردی و رگرسیونی تقسیم می‌کنیم که در تحقیقات گذشته در مورد مدل‌های شاخص عملکردی بررسی‌های لازم انجام شده و در این تحقیق، مدل‌های رگرسیونی جدید را با آنها مقایسه می‌کنیم.

روش‌های شاخص عملکردی

فرمول‌های زیادی برای تخمین هزینه پایانی پروژه ارائه شده است. در این قسمت ابتدا فرمول کلی تخمین نتایج پایانی پروژه را بررسی کرده و سپس به بیان سه فرمول متداول شاخص عملکردی پرداخته می‌شود[11]:

$$EAC = Actuals + ETC \qquad (1)$$

در فرمول 1، EAC نشان‌دهنده تخمین هزینه نهایی پروژه، Actuals مقدار هزینه واقعی صرف شده تا این مقطع زمانی و ETC مقدار بودجه مورد نیاز برای تکمیل پروژه هستند. در تخمین هزینه پروژه، بیشتر بحث‌ها و فرمول‌های موجود، به دلیل اختلاف نظر در روش تخمین بودجه مورد نیاز برای کارهای باقیمانده به وجود آمده‌اند. به طور کلی بودجه مورد نیاز برای تکمیل پروژه را می‌توان به صورت زیر نشان داد[11] :

$$ETC = (BAC - EV) / P.F \qquad (2)$$

در فرمول 2، $(P.F.)^5$ شاخص عملکرد، BAC کل بودجه مصوب پروژه و EV میزان ارزش حاصله تا این مقطع از پروژه است. همان طور که در فرمول یاد شده

Archive of SID
www.SID.ir

مشخص است، آنچه که در تخمین بودجه مورد نیاز برای کارهای باقیمانده نیز بیشتر مورد بحث قرار می‌گیرد، نحوه و یا فرمول محاسبه شاخص عملکرد پروژه است. با توجه به آنچه گفته شد، برای تخمین آماری هزینه پروژه باید این مراحل را اجرا کرد:

1. مقدار هزینه واقعی صرف‌شده تا کنون را مشخص کنید.
2. مقدار بودجه مورد نیاز برای کارهای باقیمانده را تعیین کنید. این مقدار را می‌توان از تفاضل کل بودجه مصوب پروژه و ارزش حاصله به دست آورد.
3. مقدار کار باقیمانده را بر مقدار یکی از شاخص‌های عملکرد پروژه، مانند شاخص عملکرد هزینه CPI، شاخص عملکرد زمان‌بندی SPI(t) و یا ترکیبی از این دو شاخص، تقسیم کنید.

با استفاده از این سه مرحله، می‌توان مقدار هزینه پروژه و در نتیجه مقدار انحراف هزینه پروژه از بودجه مصوب را تخمین زد. از مراحلی که در تخمین هزینه پروژه عنوان شد، مشخص می‌شود که تفاوت فرمول‌های متداول شاخص عملکردی، در شاخص عملکردهای مختلفی است که در هر یک از این فرمول‌ها استفاده می‌شود [14]. سه فرمول متداول عبارتند از:

محاسبه EAC با شاخص عملکرد هزینه CPI

در این روش از تقسیم بودجه باقیمانده مصوب پروژه بر شاخص عملکرد هزینه، تخمینی از هزینه‌های بعدی پروژه به دست می‌آید و نتیجه ادامه روند عملکرد هزینه را از هم اکنون تا پایان پروژه منعکس می‌کند[13] :

$$EAC = AC + (BAC - EV) / CPI \quad (3)$$

برخی، به جای استفاده از CPI تجمعی، از میانگین 3 یا 6 ماهه CPI به عنوان شاخص عملکرد، استفاده می‌کنند. این کار گرچه احتمالاً اثرات انحراف‌های ایجادشده در CPI (به علت بازنگری مبنای پروژه) را کاهش می‌دهد، ولی در مقابل مشکلات گذشته پروژه را که بر آینده پروژه اثر می‌گذارند، مخفی می‌کند[17] .

محاسبه EAC با ترکیب وزنی CPI و SPI(t)

یکی دیگر از روش‌های پیش‌بینی هزینه نهایی پروژه، ترکیب کردن همزمان شاخص‌های CPI و SPI(t) به عنوان شاخص تعدیل‌کننده است[11]:

$$EAC=AC + (BAC-EV)/(w_1*CPI + w_2* SPI(t)) \quad (4)$$

که در آن w_1 و w_2 وزن‌های اختصاص یافته به CPI و SPI(t) هستند که مجموع آنها باید یک شود:

$$w_1 + w_2 =1 \quad (5)$$

در برآورد هزینه به این دلیل که شاخص CPI نسبت به SPI(t) اهمیت بیشتری دارد، وزن w_1 که به CPI داده می‌شود، اغلب بزرگ‌تر از w_2 است [12]. از سه ترکیب وزنی CPI و SPI(t) با وزن‌های 0.7CPI+0.3SPI(t) ، 0.75CPI+0.25SPI(t) ، 0.8CPI +0.2SPI(t) برای تخمین هزینه واقعی مورد نیاز برای کارهای باقیمانده تا دوره مورد نظر استفاده می‌کنیم.

محاسبه EAC با استفاده از SCI

آخرین فرمول شاخص عملکردی دارای مقبولیت، فرمولی متشکل از حاصل ضرب شاخص عملکرد هزینه (CPI) و زمان ((SPI(t)) است. اگر طرح، از نظر هزینه و نیز زمان‌بندی در وضعیت نامطلوبی قرار داشته باشد، باید افزایش هزینه بیشتری را در پروژه انتظار داشت. دلیل این موضوع می‌تواند افزایش سرعت کارها برای اتمام پروژه در زمان تعیین‌شده باشد. در هر حال، هر دوی اینها هزینه‌بر هستند [12]. از ضرب دو شاخص CPI و SPI(t)، شاخص مرکب[6] (SCI) به دست می‌آید که در محاسبه بودجه کار باقیمانده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بعضی افراد فکر می‌کنند که این فرمول، «بدبینانه» است:

$$EAC= AC + (BAC-EV) / (CPI * SPI(t)) \quad (6)$$

محققان بسیاری مانند «کواچ» [15] و همکارانش، «برایت» و «هوارد» [16]، در مسیر جست‌وجوی بهترین فرمول محاسبه EAC و یا تعیین شاخص عملکرد مناسب، گام برداشته‌اند. در واقع، انتخاب بهترین یا مناسب‌ترین فرمول، به عوامل مختلفی نظیر قضاوت و نظر مدیر پروژه، توافق با کارفرما یا مشتری پروژه، اولویت‌بندی اهداف پروژه (زمان، هزینه و کیفیت) و وضعیت پروژه از نظر زمانی، هزینه‌ای و فنی بستگی دارد [14]. یکی از ایرادهای اصلی تحقیقات گذشته، در این است که آنها

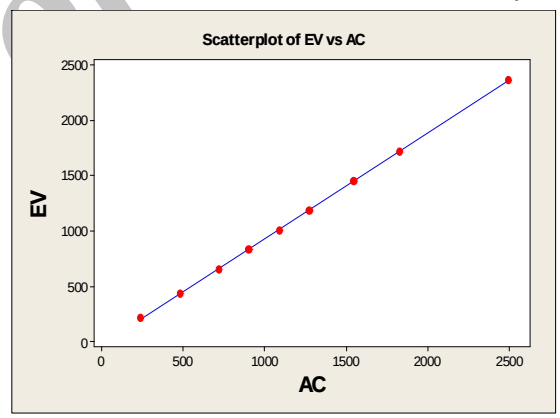
Archive of SID

www.SID.ir

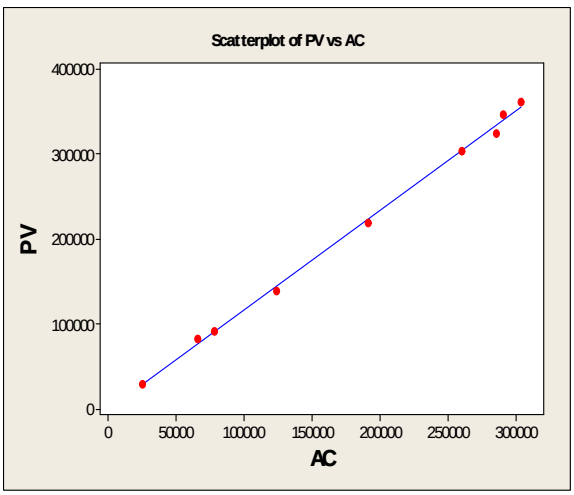
فقط به پیش‌بینی هزینه نهایی (آخرین دوره زمانی) پروژه اکتفا کرده‌اند. در حالی که تخمین هزینه دیگر مقاطع زمانی پروژه، برای نیاز به تأمین مالی هزینه کارکنان، مواد، قطعات مورد نیاز و غیره در هر مقطع (دوره) زمانی، اهمیت خاص خود را دارد.

مدل‌های رگرسیونی و سری زمانی

یکی از هدف‌های اصلی بسیاری از پژوهش‌های آماری، ایجاد وابستگی‌هایی است تا پیش‌بینی یک یا چند متغیر را بر حسب سایرین میسر کند[7]. یک رابطه خطی قوی بین ارزش برنامه‌شده (PV)، ارزش حاصله (EV) و هزینه واقعی (AC) وجود دارد و با توجه به این رابطه خطی، استفاده از رگرسیون خطی می‌تواند روش مناسبی برای پیش‌بینی هزینه پروژه باشد. در شکل (2) وابستگی خطی بین EV و AC، و در شکل (3) وابستگی خطی بین PV و AC برای پروژه 1 و 3 نشان داده شده است. (اطلاعات این پروژه‌ها در جداول (9) و (10) آورده شده است)



شکل 2: وابستگی خطی بین EV و AC



شکل 3: وابستگی خطی بین PV و AC

با توجه به ارتباط خطی بالای PV، EV و AC می‌توان انتظار داشت که مدل‌های رگرسیونی چند متغیره، روشی مناسب برای مدلسازی پیش‌بینی هزینه واقعی باشند. هدف اصلی، پیش‌بینی هزینه واقعی در مراحل مختلف پروژه است؛ به همین دلیل در همه مدل‌های ایجادشده، متغیر هزینه واقعی (AC)، متغیر وابسته خواهد بود و مقادیر آن به کمک دیگر متغیرهای مستقل پیش‌بینی خواهد شد.

در ادامه هفت مدل رگرسیونی و سری زمانی معرفی می‌شوند که در آنها β_0، β_1 ... و β_n ضرائب رگرسیون، عددهای ثابتی هستند که باید از روی داده‌های مشاهده شده، تعیین شوند.

1- مدل اول

$$AC = \beta_0 + \beta_1 PV \qquad (7)$$

در این مدل فقط از PV، برای پیش‌بینی AC استفاده می‌شود. مدل ساده‌ای که می‌توان آن را پایه و اساسی برای دیگر مدل‌ها دانست.

2- مدل دوم

$$AC_t = \beta_0 + \beta_1 PV_t + \beta_2 AC_{(t-1)} \qquad (8)$$

این مدل را می‌توان تلفیقی از یک متغیر سری زمانی و رگرسیون دانست که در آن $AC_{(t-1)}$ متغیر وقفه‌ای است که از هزینه واقعی دوره‌های قبل برای پیش‌بینی کمک می‌گیرد. t در آن نشان‌دهنده دوره (مقطع) زمانی پروژه است.

3- مدل سوم

$$AC = \beta_0 + \beta_1 PV + \beta_2 EV \qquad (9)$$

این مدل، برای پیش‌بینی از دو عامل بنیادی سیستم مدیریت ارزش حاصله، PV و EV به طور همزمان برای مشخص کردن AC استفاده می‌کند. نقطه قوت این مدل در این است که در عین سادگی، از داده‌های پایه‌ای مدیریت ارزش حاصله استفاده می‌کند.

4- مدل چهارم

$$AC_t = \beta_0 + \beta_1 PV_t + \beta_2 EV_t + \beta_3 AC_{(t-1)} \qquad (10)$$

ترکیبی از مدل دوم و سوم است.

Archive of SID
www.SID.ir

5- مدل پنجم

$$AC=\beta_0+\beta_1 PV+\beta_2 EV+\beta_3 T \quad (11)$$

داده‌های آن از مدل سوم بیشتر است. T نشان‌دهنده تعداد دوره‌های (زمان) پروژه است. وقتی که از متغیر دوره زمانی (T) به عنوان متغیر مستقل استفاده می‌شود، بهتر است به همراه آن EV و PV نیز به کار بروند. زیرا تعداد دوره‌های زمانی یک پروژه، به نوعی دنباله‌رو این دو عامل است و توسط این دو عامل محدود می‌شود. در واقع دوره زمانی (T) تا جایی می‌تواند افزایش یابد که EV و BAC با هم برابر شوند و این به معنای پایان پروژه است.

6- مدل ششم

$$AC_t=\beta_0+\beta_1 PV_t+\beta_2 EV_t+\beta_3 T+\beta_4 AC_{(t-1)} \quad (12)$$

جامع‌ترین مدل ایجادشده است که در آن برای پیش‌بینی هزینه واقعی از چهار متغیر مستقل استفاده شده است؛ برای پیش‌بینی هزینه واقعی، نسبت به دیگر مدل‌ها بیشترین داده ورودی را دارد.

7- مدل هفتم s-curve (pearl-reed) سری زمانی

فرم کلی آن بدین صورت است:

$$AC_t = (10^a)/(\beta_0 + \beta_1 \beta_2^t) \quad (13)$$

a یک عدد صحیح است و t زمان، که می‌تواند یک متغیر پیوسته و یا گسسته باشد. مشخص است که این مدل فقط از اطلاعات هزینه واقعی دوره‌های قبل برای پیش‌بینی هزینه دوره‌های بعدی استفاده می‌کند [8]. از آنجا که ماهیت میزان پیشرفت تجمعی پروژه‌ها اغلب از مدل‌های S شکل پیروی می‌کند ، از این مدل‌ها می‌توان برای پیش‌بینی آینده نزدیک روندهای تجمعی پیشرفت پروژه استفاده کرد.

ارزیابی و مقایسه مدل‌ها

برای ارزیابی و مقایسه مدل‌های معرفی‌شده، آنها را روی چهار پروژه تکمیل شده و رو به اتمام آزمایش می‌کنیم. هر یک از این پروژه‌ها، عملکرد متفاوتی دارد، یکی از برنامه زمانبندی عقب افتاده و هزینه آن بیشتر از هزینه برنامه‌شده خواهد بود، یکی زودتر از موعد مقرر پایان یافته، اما هزینه آن از برنامه بیشتر شده و دیگری با هزینه‌ای کمتر و زودتر از موعد مقرر به اتمام رسیده است. داده‌های آنها به طور ماهیانه گزارش شده است. داده‌های پروژه‌ها را توسط مدل‌های رگرسیونی و شاخص عملکردی آزمایش کرده و در پایان، مدل‌های رگرسیونی و شاخص عملکردی را با یکدیگر مقایسه می‌کنیم.

یکی از معیارهای مقایسه، روش‌های پیش‌بینی، اندازه‌گیری و مقایسه خطای پیش‌بینی آنها است. در اندازه‌گیری خطای پیش‌بینی، فرض کنید که A_t نشانگر مقدار حقیقی متغیر مورد نظر در زمان t باشد. اگر $\overline{A_t}$ را نیز نشانگر مقدار پیش‌بینی‌شده متغیرمان (از طریق یکی از روش‌های پیش‌بینی) بدانیم، در این صورت با تفاضل مقدار پیش‌بینی‌شده از مقدار حقیقی آن، خطای پیش‌بینی (e_t) به دست خواهد آمد. در این صورت خطای پیش‌بینی عبارت است از:

$$e_t = A_t - \overline{A_t} \quad (14)$$

برای اندازه‌گیری مقادیر مطلق خطاها، معیار شناخته شده‌ای به نام میانگین انحراف مطلق (MAD) تعریف کرده‌اند:

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^{n}|e_t|}{n} = \frac{\sum_{t=1}^{n}|A_t - \overline{A_t}|}{n} \quad (15)$$

راه دیگر اندازه‌گیری مقادیر خطا، به دست آوردن میانگین مجذور خطاها (MSE) است که به این صورت محاسبه می‌شود:

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^{n}(e_t)^2}{n} = \frac{\sum_{t=1}^{n}(A_t - \bar{A}_t)^2}{n} \quad (16)$$

گاهی، محاسبه خطای پیش‌بینی بر حسب درصد، سودمندتر از دیگر مقادیر خواهد بود [9]. میانگین مطلق درصد خطا (MAPE)، معیاری مهم برای یافتن درصد خطای پیش‌بینی خواهد بود:

$$MAPE = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{e_t}{A_t}\right|}{n} = \frac{\sum_{t=1}^{n}\left|\frac{A_t - \overline{A_t}}{A_t}\right|}{n} \quad (17)$$

از سه انحراف بالا برای محاسبه خطای پیش‌بینی، استفاده شده است.

R^2 (ضریب تعیین) میزان پراکندگی کلی حول میانگین هزینه واقعی که توسط مدل رگرسیون به دست آمده است را نشان می‌دهد. R^2 می‌تواند مقادیری بین 0 و 1 را داشته باشد. در صورتی که مقدار R^2= 0,9 باشد، بدین معنی است که 90درصد متغیر وابسته حاصل از مدل رگرسیون، توسط متغیرهای مستقل پیش‌بینی شده‌اند. هر چه R^2 به یک نزدیک‌تر باشد، میان متغیرها یک رابطه

Archive of SID

www.SID.ir

قوی‌تری برقرار است. R^2(adj) نوعی از ضریب تعیین است که نشان‌دهنده افزایش بیش از اندازه قدرت برآوردکردن برخی از متغیرهای مستقل است که در اثر ارتباط بین آنها به وجود می‌آید؛ بخصوص زمانی که تعداد متغیرهای مستقل افزایش می‌یابد. در آزمون فرض، فرض صفر ادعا دارد که همه متغیرهای مستقل، هیچگونه تأثیری در پیش‌بینی ندارند(ضرائب آنها صفر است). در صورتی که مقدار p-value برای یک مدل کمتر از 5درصد باشد، فرض صفر رد می‌شود و اگر مقدار p-value ناچیز باشد، ارتباط معناداری بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود دارد.

مدل‌های رگرسیونی و سری زمانی با استفاده از نرم‌افزار MINITAB ایجاد شده‌اند.

پروژه 1: این پروژ، پروژه بازسازی ساختمان بازرسی فرودگاه شهر بروکسل است[1]. داده‌های آن به معیارهای مختلف در سیستم مدیریت ارزش حاصله تبدیل شده و در جدول 7 آورده شده است. این پروژه در نهایت با 13 دوره مالی و دیرتر از برنامه زمانبندی و هزینه تکمیل €349379 که کمتر از بودجه در نظر گرفته‌شده به اتمام رسیده است. در این پروژه با استفاده از اطلاعات 7 دوره زمانی(ماه)، مدل‌های آماری ایجادشده و داده‌های هزینه مربوط به دوره‌های 8 الی آخر پروژه برای آزمایش کردن هر یک از مدل‌های رگرسیونی، سری زمانی و شاخص عملکردی به کار رفته است. بدین ترتیب که هزینه واقعی پروژه با مقادیر حاصل از پیش‌بینی مدل‌ها با هم مقایسه شده و سپس درصد خطای پیش‌بینی برای هر دوره به دست آمده و در نهایت میانگین مطلق درصد خطا (MAPE)، میانگین مجذور خطاها (MSE)، میانگین انحراف مطلق (MAD) و ... هر مدل محاسبه شده است. نتایج حاصل در جدول (1) و (2) آورده شده است. در این جداول، شماره مدل‌های رگرسیونی بر اساس همان شماره و ترتیبی است که در بخش قبل برای معرفی آنها استفاده شده است.

جدول 1 : آنالیز مقایسه‌ای مدل‌های رگرسیونی پروژه 1

p-value	R^2(adj)	R^2	MSE	MAD	MAPE	Error of period						Model
						۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	
0.00	.99	.99	319721414	14198	4%	9%	6%	1.6%	.34%	3.9%	3%	۱
0.00	.99	.99	251559264	12867	3.9%	8%	5%	.38%	.66%	4.6%	4.8%	۲
0.00	.99	.99	100702434	7767	2.2%	5%	3%	.18%	.06%	2.2%	3.2%	۳
0.00	.99	.99	119931701	9125	2.6%	5%	3%	.5%	.59%	3.1%	4%	۴
0.00	.99	.99	132686368	10110	3.2%	2%	.05%	3.4%	3.1%	5.8%	4.9%	۵
0.001	.98	.99	164148292	11208	3.4%	2%	.04%	3.6%	3.5%	6%	5.5%	۶
-	-	-	3256427440	173543	52%	63%	63%	63%	53%	43%	28%	۷

جدول 2: آنالیز مقایسه‌ای مدل‌های شاخص عملکردی پروژه 1

MSE	MAD	MAPE	Error of period						Model
			۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	
11255939420	42519	13%	4.4%	8%	13%	15%	20%	19%	**SCI**
7114912483	30263	9.7%	1%	4.6%	9.8%	11%	16%	16%	**CPI**
8497832679	33924	10.8%	1.9%	5.7%	11%	12.5%	17%	17%	**0.7CPI + 0.3SPI(t)**
8249685351	33285	10.5%	1.7%	5.5%	10.8%	12.3%	17%	16%	**CPI + ۷۵۰. SPI(t)۲۵۰.**
8001538023	32658	10.2%	1.5%	5.3%	10.6%	12.1%	16%	16%	**.8CPI + ۰ .2SPI(t)۰**

Archive of SID

جدول 3: آنالیز مقایسه‌ای مدل‌های رگرسیونی پروژه 2

Model	Error of period				MAPE	MAD	MSE	R^2	R^2(adj)	p-value
	7	8	9	10						
۱	2.7%	1.6%	3.5%	7%	3.7%	34	1599	1	1	0.00
۲	3.1%	2.1%	4.1%	7%	4%	39	1994	1	1	0.00
۳	1.2%	.36%	1.1%	2.5%	1.2%	12	201	1	1	0.00
۴	2.9%	5.6%	4.1%	2.8%	3.8%	36	1453	1	1	0.00
۵	1.1%	.1%	.88%	2.4%	1.1%	10	168	1	1	0.00
۶	2.9%	7.4%	11%	12%	8%	۸۳	8390	.99	.97	0.002
۷	8%	9%	10.2%	11.7%	9.7%	91	8526	-	-	-

جدول 4: آنالیز مقایسه‌ای مدل‌های شاخص عملکردی پروژه 2

Model	Error of period				MAPE	MAD	MSE
	7	8	9	10			
SCI	6%	8%	6.7%	3.7%	6.1%	58	3736
CPI	6.3%	7.3%	5.6%	2.3%	5.3%	50	2778
0.7CPI + 0.3SPI(t)	6.5%	7.7%	6.1%	2.9%	5.8%	54	3169
CPI + ۷۵۰. SPI(t)۲۵۰.	7.2%	8.7%	7.4%	4.6%	6.9%	65	4418
.8CPI + ۰ .2SPI(t)۰	6.4%	7.5%	5.9%	2.7%	5.6%	52	3039

همه مدل‌های رگرسیونی ایجادشده، مقادیر R^2 بالایی دارند که‌این موضوع نشان‌دهنده آن است که این مدل‌ها از درجه اعتبار خوبی بهره‌مندند. با نگاه به مقادیر خطای مدل‌های رگرسیونی، می‌توان نتیجه گرفت برای این پروژه، همه مدل‌های رگرسیونی به جز مدل شماره 7 (s-curve سری زمانی) نتایج قابل قبولی را از خود نشان می‌دهند؛ زیرا MAPE برای آنها زیر 4درصد است. کمترین میانگین خطا متعلق به مدل شماره 3 است و بعد از آن مدل شماره 4 با خطای MAPE، 2,6درصد در جایگاه دوم قرار دارد. در این پروژه، همه مدل‌های شاخص عملکردی میانگین مطلق درصد خطایی (MAPE) حدود 10درصد را نشان می‌دهند. اما با نگاهی دقیق‌تر به جدول (2) و درصد خطای دوره‌ها، مشاهده می‌شود که با حرکت به سمت انتهای پروژه، درصد خطای دوره‌ها، روندی نزولی دارد. به طوری که هزینه آخرین دوره را با درصد خطای مناسبی پیش‌بینی می‌کنند.این پروژه با تأخیر به پایان رسیده و هزینه دوره‌هایی که با تأخیر و بعد از برنامه زمانبندی قرار گرفته‌اند، به طور ثابت و برابر با هزینه نهایی پروژه پیش‌بینی می‌شوند. در بین مدل‌های شاخص عملکردی، مدلی که از شاخص عملکرد هزینه (CPI) به عنوان عامل عملکرد استفاده می‌کند، هزینه پروژه 1 را نسبت به دیگر مدل‌های شاخص عملکردی، بهتر پیش‌بینی می‌کند.

پروژه 2: این پروژ، پروژه ساخت سیستم حمل و نقل کالا در فرودگاه است [1]. اطلاعات مالی آن در دوره‌های مختلف در جدول (8) آورده شده است. این پروژه در زمانی کوتاه‌تر از موعد مقرر، اما با هزینه‌ای بیشتر از بودجه در نظر گرفته‌شده به اتمام رسیده است. در این پروژه، با استفاده از اطلاعات 6 دوره زمانی (ماه)، مدل‌های آماری ایجادشده و داده‌های هزینه مربوط به دوره‌های 7 الی آخر پروژه برای آزمایش کردن هر یک از مدل‌های رگرسیونی، سری زمانی و شاخص عملکردی به کار رفته است. نتایج حاصله برای آنالیز مقایسه‌ای مدل‌ها برای پروژه دوم در جداول (3) و (4) خلاصه شده است.

در این پروژه، مدل شماره 7 نسبت به پروژه قبلی بهتر عمل می‌کند، اما باز هم بالاترین مقادیر خطا را در بین مدل‌های رگرسیونی به خود اختصاص می‌دهد. مدل شماره 6 بر خلاف انتظار، کمی ضعیف عمل می‌کند. برای پروژه مدل مناسب جهت پیش‌بینی را می‌توان مدل شماره 5 انتخاب کرد. در مجموع مدل‌های شماره 5 و 3 خطاهای پیش‌بینی کمی را برای این پروژه از خود نشان می‌دهند. همه مدل‌های رگرسیونی ایجادشده مقادیر R^2 بالایی

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 5: آنالیز مقایسه مدل‌های رگرسیونی پروژه 3

Model	Error of period				MAPE	MAD	MSE	R^2	R^2(adj)	p-value
	10	11	12	13						
۱	25%	28%	32%	35%	% ۰3	1062	1168900	.93	.92	0.00
۲	9%	4.5%	1.5%	.37%	%. ۸۴3	127	27040	.97	.96	0.00
۳	.87%	.43%	% ۱.	% ۳.2	% ۰0.4	13	260	1	1	0.00
۴	1.1%	.23%	.34%	.50%	% ۴0.5	19	464	1	1	0.00
۵	% ۶.1	.30%	.43%	.55%	9% ۳0.	13	258	1	1	0.00
۶	1.2%	2.3%	2.1%	1.8%	%. ۸۵1	66	4772	1	1	0.00
۷	% ۷2	۲۹%	% ۱3	% ۴3	% ۲.۰3	1110	1259624	-	-	-

جدول 6: آنالیز مقایسه‌ای مدل‌های شاخص عملکردی پروژه 3

Model	Error of period				MAPE	MAD	MSE
	10	11	12	13			
SCI	86%	78%	70%	63%	74%	2634	6967181
CPI	26%	20%	14%	9%	17%	722	609466
0.7CPI + 0.3SPI(t)	30%	24%	18%	%۳1	21%	863	826188
CPI + ۷۵0. SPI(t)۲۵0.	29%	23%	18%	12%	20%	838	784864
.8CPI + ۰ .2SPI(t)۰	29%	22%	17%	11%	19%	814	745775

دارند. خطای MAPE مقادیر پیش‌بینی شده مدل‌های شاخص عملکردی برای این پروژه از پروژه 1 کمتر و بین 5 تا 7 درصد است. برتری مدل‌های رگرسیونی بر مدل‌های شاخص عملکردی در این پروژه مشهود است.

پروژه 3: جدول 9 داده‌های مالی مربوط به یک پروژه ناتمام عمرانی شبیه‌سازی شده، با مدت برنامه 16 ماه و بودجه تکمیلی €3956 است. پروژه اکنون در ماه سیزده‌ام قرار دارد و از برنامه عقب افتاده است و به نظر می‌رسد با هزینه‌ای بیشتر از آنچه برنامه‌ریزی شده، تکمیل شود [10]. برای این پروژه ابتدا اطلاعات 9 دوره مالی برای آزمایش کردن و مقایسه روش‌های پیش‌بینی به کار برده شده و در قسمت دوم با استفاده از مدل برتر (مدلی که کمترین خطا را داشته) و اطلاعات مالی 13 دوره، هزینه نهایی پروژه تخمین زده شده است. (پروژه سوم یک پروژه ناتمام است)

مدل‌های 3، 4 و 5 رگرسیونی خطاهای پیش‌بینی بسیار ناچیزی را از خود نشان می‌دهند و مقادیر آنها بسیار به هم نزدیک هستند. بر عکس آنها مدل‌های 1 و 7 مقادیر خطای پیش‌بینی چشمگیری دارند. مدل شاخص عملکرد (SCI) بسیار ضعیف عمل می‌کند و مقادیر خطای آن بسیار بالا است. ضعف مدل‌های شاخص عملکردی در پیش‌بینی دوره‌های میانی پروژه، به طور کامل مشهود است. گرچه مدل پنجم رگرسیونی، مقادیر خطای MAPE و MSE نزدیکی را نسبت به مدل سوم از خود نشان می‌دهد، اما با دقت بیشتر به جدول (5)، می‌توان مشاهده کرد که درصد خطای دوره‌های مختلف ناشی از مدل پنجم، روندی صعودی دارد، در حالی که مدل سوم تقریبا عکس آن عمل می‌کند. گرچه اکثریت آنها مقادیر خطای پایینی را از خود نشان می‌دهند، اما مدل سوم را به عنوان مدل برتر برای این پروژه انتخاب می‌کنیم و به کمک آن هزینه نهایی پروژه را پیش‌بینی می‌کنیم که در نهایت این مدل رگرسیونی، هزینه نهایی پروژه را 4213,22 تخمین می‌زند.

پروژه 4: پروژه ساخت خطوط ارتباطی فرودگاه است [1]. داده‌های آن به معیارهای مختلف در سیستم مدیریت ارزش حاصله تبدیل شده و در جدول زیر آورده شده است. این پروژه در نهایت با 12 دوره مالی و 3 ماه تأخیر نسبت به برنامه و هزینه تکمیلی که بیشتر از بودجه در نظر گرفته شده، به اتمام رسیده است.

Archive of SID

جدول 7: آنالیز مقایسه مدل‌های رگرسیونی پروژه4

Model	Error of period					MAPE	MAD	MSE	R^2	R^2(adj)	p-value
	8	9	10	11	12						
۱	3.7%	3.3%	11.5%	17.5%	20%	11%	346	173966	.99	.98	0.00
۲	.48%	.49%	6.9%	11.2%	12.4%	6.2%	197	66139	.99	.98	0.00
۳	1.1%	3.2%	.07%	1.8%	5.2%	2.2%	69	8285	.99	.99	0.00
۴	.02%	2.1%	1.1%	3.2%	7.2%	2.7%	87	14168	.99	.98	0.00
۵	1.2%	3.1%	.36%	2.5%	6.3%	2.6%	82	11446	.99	.98	0.00
۶	1.7%	3.5%	1.1%	1.9%	5.4%	2.9%	93	17572	.99	.97	0.001
۷	4%	2.4%	1.9%	6.1%	7.8%	4.4%	134	24099	-	-	-

جدول 8: آنالیز مقایسه‌ای مدل‌های شاخص عملکردی پروژه4

Model	Error of period					MAPE	MAD	MSE
	8	9	10	11	12			
SCI	25%	27%	16.8%	8.8%	5.2%	%۱۶,۵	۴۶۰	۲۶۰۰۵۷
CPI	19.3%	19.7%	9.5%	2.1%	1.4%	%۱۰,۴	۲۷۸	۱۱۷۶۹۱
0.7CPI + 0.3SPI(t)	20%	20.7%	10.4%	3%	.53%	%۱۰,۹	۲۹۲	۱۳۰۴۲۶
CPI + ۷۵۰. SPI(t)۲۵۰.	18.7%	18%	8.8%	1.5%	2%	%۹,۸	۲۶۶	۱۰۷۳۵۲
.8CPI + ۰ .2SPI(t)۰	19.8%	20.3%	10.1%	2.7%	.08%	%۱۰,۵	۲۸۷	۱۲۵۷۹۷

جدول 9: اطلاعات پروژه 1

	02Jun	02 Jul	02 Aug	02 Sep	02 Oct	02 Nov	02 Dec	02 Jan	03 Feb	03 Mar	03 Apr	03 May	03 Jun
AC	25,567	66,293	78,293	124,073	191,367	259,845	285,612	290,843	303,489	316,431	320,690	336,756	349,379
EV	25,645	68,074	89,135	125,244	198,754	268,763	292,469	306,725	312,864	327,694	338,672	349,861	360,738
PV	28,975	81,681	91,681	138,586	218,141	302,478	323,632	345,876	360,738	360,738	360,738	360,738	360,738
SV	-3330	-13607	-2546	-13342	-19387	-33715	-31163	-39151	-47874	-33044	-22066	-10877	0
CV	78	1781	10842	1171	7387	8918	6857	15882	9375	11263	17982	13105	11359
SPI	0.885	0.833	0.972	0.904	0.911	0.889	0.904	0.887	0.867	0.908	0.939	0.970	1
CPI	1.003	1.027	1.138	1.009	1.039	1.034	1.024	1.055	1.031	1.036	1.056	1.039	1.033
SCI	0.888	0.856	1.107	0.912	0.946	0.919	0.925	0.935	0.894	0.941	0.991	1.008	1.033
SV(t)	-0.115	-0.258	-0.255	-0.284	-0.244	-0.400	-1.119	-1.799	-2.509	-2.817	-3.324	-3.732	-4.00
SPI(t)	0.885	0.871	0.915	0.929	0.951	0.933	0.840	0.775	0.721	0.718	0.698	0.689	0.692
SCI(t)	0.888	0.894	1.042	0.938	0.988	0.965	0.860	0.817	0.743	0.744	0.737	0.716	0.715

جدول 10: اطلاعات پروژه 2 (اعداد به هزار € است)

	Mar-03	Apr-03	May-03	Jun-03	Jul-03	Aug-03	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dec-03
AC	35	95	174	412	623	754	874	932	952	952
EV	36	93	169	402	597	735	839	887	906	906
PV	34	87	157	373	549	673	798	842	876	906
SV	2	6	12	29	48	62	41	45	30	0
CV	1	-2	-5	-10	-26	-19	-35	-45	-46	-46
SPI	1.059	1.069	1.076	1.078	1.087	1.092	1.051	1.053	1.034	1
CPI	1.029	0.979	0.971	0.976	0.958	0.975	0.960	0.952	0.952	-
SCI	1.089	1.046	1.046	1.052	1.042	1.065	1.009	1.003	0.984	-
SV(t)	0.667	0.086	0.056	0.165	0.387	0.496	0.912	1.367	1	-
SPI(t)	1.038	1.043	1.019	1.041	1.077	1.083	1.130	1.171	1.111	-
SCI(t)	1.067	1.021	0.989	1.016	1.032	1.055	1.085	1.114	1.057	-

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 11: اطلاعات پروژه 3 (اعداد به هزار € است)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
AC	240.6	481.6	722.5	906.6	1090	1275	1552.3	1829	2492	3156	3368	3581	3794
EV	220.6	441.3	662	837.5	1013	1188	1456	1725	2375	3025	3217	3410	3602
PV	449.4	61.69	933.8	1176	1446	1717	2788	3250	3497	3751	3809	3868	3906
SV	-228	-250	-271	-338	-433	-529	-1332	-1526	-1122	-725	-592	-458	304
CV	-20	-40	-60	-69	-77	-86	-95	-104	-117	-130	-150	-171	-191
SPI	0.49	0.64	0.71	0.71	0.7	0.69	0.52	0.53	0.68	0.81	0.84	0.88	0.92
CPI	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93	0.94	0.94	0.95	0.96	0.96	0.95	0.95
SV(t)	-0.51	-1.02	-1.12	-1. 4	-1.67	-1.95	-1.96	-1. 99	-2.39	-2.49	-3.07	-3.36	-3.59
SPI(t)	0.49	0.49	0.63	0.65	0.67	0.67	0.72	0.75	0.73	0.75	0.72	0.72	0.72

جدول 12: اطلاعات پروژه 4 (اعداد به هزار € است)

	Sep-03	Oct-03	Nov-03	Dec-03	Jan-04	Feb-04	Mar-04	Apr-04	May-04	Jun- 04	Jul-04	Aug-04
AC	344	452	796	1056	1562	1922	2256	2451	2676	2925	3138	3247
EV	325	427	735	1025	1453	1774	2024	2190	2356	2565	2735	2875
PV	375	525	850	1355	1768	2125	2452	2625	2875	2875	2875	2875
SV	-50	-98	-115	-330	-315	-351	-428	-435	-519	-310	-140	0
CV	-19	-25	-61	-31	-109	-148	-232	-261	-320	-360	-403	-372
SPI	0.867	0.813	0.865	0.756	0.822	0.835	0.825	0.834	0.819	0.892	0.951	1
CPI	0.945	0.945	0.923	0.971	0.930	0.923	0.897	0.894	0.880	0.877	0.872	0.885
SCI	0.819	0.768	0.798	0.734	0.764	0.771	0.741	0.745	0.721	0.782	0.829	0.885
SV(t)	-0.133	-0.653	-0.354	-0.653	-0.763	-0.983	-1.283	-1.801	-2.294	-2.347	-2.560	-3
SPI(t)	0.867	0.674	0.882	0.837	0.847	0.836	0.817	0.775	0.745	0.765	0.767	0.75
SCI(t)	0.819	0.636	0.814	0.812	0.788	0.772	0.733	0.692	0.656	0.671	0.669	0.664

این پروژه با تأخیر به پایان رسیده و اشکال عمده مدل‌های شاخص عملکردی در آن مشهود است. هزینه دوره‌هایی که با تأخیر انجام شده و بعد از برنامه زمانبندی قرار گرفته‌اند، به طور ثابت و برابر با هزینه نهایی پروژه پیش‌بینی می‌شوند. در بین مدل‌های شاخص عملکردی، مدلی که از ترکیب وزنی $0.75CPI + 0.25SPI(t)$ به عنوان عامل عملکرد استفاده می‌کند را به عنوان مدلی که هزینه این پروژه را دقیق‌تر پیش‌بینی می‌کند، انتخاب می‌کنیم. در بین مدل‌های رگرسیونی، مدل شماره 7 نسبت به پروژه‌های قبلی بهتر عمل می‌کند. بالاترین مقادیر خطا متعلق به مدل شماره 1 و پس از آن مدل شماره 2 است. در این پروژه، مدل شماره 3 با کمترین میانگین خطا و بالاترین ضریب تعیین، به عنوان مناسب‌ترین مدل برای پیش‌بینی هزینه‌های آینده پروژه برگزیده می‌شود. بعد از آن، به ترتیب مدل‌های 5 و 4 در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند.

نتیجه‌گیری

روش‌های مختلف آماری رگرسیونی، سری زمانی و همچنین مدل‌های شاخص عملکردی با استفاده از داده‌های واقعی مورد بحث و بررسی قرار گرفتند.

مدل‌های شماره 1 و 7 نسبت به دیگر مدل‌های رگرسیونی، نتایج غیر قابل اعتمادی ارائه کردند. انتظار می‌رفت مدل شماره 6 به این دلیل که از داده‌های بیشتری استفاده می‌کند، نتایج بهتری را از خود نشان دهد که در عمل خلاف آن ثابت شد. مدل شماره 2 نیز

Archive of SID
www.SID.ir

نتوانست نتایج راضی‌کننده‌ای از خود نشان دهد. اما با توجه به اعتبار مدل‌های 3، 4 و 5 رگرسیونی ایجادشده و بخصوص مدل شماره 3 می‌توان گفت این مدل‌ها می‌توانند با درجه اطمینان قابل قبولی هزینه‌های آینده پروژه را پیش‌بینی کنند. در مجموع، مدل شماره 3 را به عنوان مدل برتر برای پیش‌بینی هزینه‌های آینده پروژه‌های مورد بحث انتخاب می‌کنیم. با این حال یادآور می‌شویم که برای هر پروژه با توجه به موقعیت آن ممکن است یک معادله خاص، پیش‌بینی‌های دقیق‌تری را ارائه دهد، اما می‌توان مدل‌های رگرسیونی را در بیشتر پروژه‌ها با موقعیت‌های مختلف برای پیش‌بینی هزینه واقعی دوره‌های مختلف به شکل مؤثری به کار برد. درباره مدل‌های شاخص عملکردی می‌توان گفت این مدل‌ها برای پیش‌بینی دوره‌های میانی پروژه، اصلاً مناسب نیستند و در ارزیابی و مقایسه آنها با مدل‌های رگرسیونی ثابت شد که مدل‌های رگرسیونی بهتر عمل می‌کنند. مدل شاخص عملکردی SCI همان طور که گفته شد [12] بدبینانه عمل می‌کند و اغلب هزینه را بیشتر از آنچه که هست، پیش‌بینی می‌کند. مدل‌های شاخص عملکردی ترکیب وزنی CPI و SPI(t) که با وزن‌های مختلفی ارائه شدند، نتایج نزدیکی را نسبت به هم ارائه دادند. مدلی که از CPI به عنوان عامل عملکرد استفاده کرد، مقادیر خطای کمتری را نسبت به دیگر مدل‌های شاخص عملکردی نشان داد، اما با مقایسه مقادیر خطای آن با مدل‌های رگرسیونی 3، 4 و 5 برتری مدل‌های رگرسیونی به طور کامل مشخص است. در نهایت می‌توان اینگونه اظهار داشت که استفاده از روش‌های رگرسیونی، مدیران را به ابزار ارزشمندی مجهز می‌کند تا به کمک آن بتوانند انحراف‌های از برنامه را به حداقل ممکن کاهش دهند و با دقت بالایی هزینه واقعی را در دوره‌های آینده پیش‌بینی کرده و در نتیجه، تصویر روشن‌تری از وضعیت هزینه پروژه داشته باشند.

مراجع

1- Vandevoorde, S. and Vanhoucke, M. (2003). “A comparison of different project duration forecasting methods using earned value metrics.” *Int Project Management J*; 34(4):12-23

2- Anbari, F. (2003). “ Earned value method and extentions. ” *Int Project Management J*; 34(4):12-23

3- Christensen, D. S. (1996). "Project Advocacy and the EAC Problem." *Journal of Cost Analysis*, PP. 35-60.

4- Christensen, D. S. (1994). "Using Performance Indices to Evaluate the Estimate at Completion." *Journal of Cost Analysis*, PP.17-24.

5- Christensen, DS. (1993). "The estimate at completion problem: a review of three studies." *Int Project Management J;* 24:37-42

6- Christensen, D. S. and Rees, D. (2002). Is the Cumulative CPI-based EAC a Lower Bound to Final Cost on Post-A12 Contracts? *Journal of Cost Analysis and Management*, PP. 55-65.

7- Gregory C. Reinsel and Wai-Kwong Cheang. (2003). “ Approximate ML and REML estimation for regression models with spatial or time series AR(1) . ” Statistics & Probability Letters, Volume 62, Issue 2, Pages 123-135

8- Phillips, F. (2007). “ On S-curves and tipping points.” Technological Forecasting and Social Change, Volume 74, Issue 6, Pages 715-730

9- Lam, K. F., Mui, H. W. and Yuen, H. K. (2001). “ A note on minimizing absolute percentage error in combined forecasts.” *Computers & Operations Research*, Volume 28, Issue 11 , Pages 1141-1147

10- VANHOUCKE, M. and VANDEVOORDE, S. July (2005). An evaluation of earned value metrics to forecast the project duration, 30 p.

11- Fleming, Q. and Koppleman, J. (2000). Earned value project management Newtons Square. PA: PMI.

12- Fleming, Q. and Koppelman, J. M. (2000). Earned value project management. 2nd Edition, Project Management Institute, Pennsylvania, USA.

Archive of SID

www.SID.ir

13- Nagrecha, S. (2002). An introduction to Earned Value Analysis MBA, PMP, CNA

14- Vahedi diz, A. (2004). Project Management by Earned Value Management System; Supply Automotive Parts Company (SAPCO), Tehran-Iran. [In Farsi]

15- Covach, J., et al. (1981). A Study to Determine Indicators and Methods to Compute EAC. Virginia: ManTech International Corporation.

16- Bright, H. R. and Howard, T. W. (1981). Weapon system cost control: forecasting contract completion costs. *Comptroller/Cost Analysis Division,US Army Missile Command*, Redstone Arsenal, Alabama.

17- Caroll, R. et al. (2000) Estimate at completion (EAC) EVMS Conference, presentation Papers.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1- Planned Value
2- Earned Value
3- Actual Cost
4- Budget at Completion
5- Performance Factor
6- Schedule-Cost Performance Index

Archive of SID

www.SID.ir