

کاربرد مدل‌سازی آماری و آنالیز ارزش حاصله برای مساله موازنه زمان-هزینه در محیط فازی

مصطفی سالاری^۱، مرتضی باقرپور^{۲*}، کاوه تقی‌زاده^۳، هادی منعم^۱

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲-استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران،

۳-دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه مازندران

چکیده

مساله موازنه زمان و هزینه، یکی از مسائل مهم درحیطه برنامه‌ریزی پروژه است. هیچ یک از مطالعات پیشین در این زمینه به بررسی امکان ادغام مساله موازنه زمان-هزینه با عملکرد پروژه هنگام اجرای آن به منظور ارائه یک مدل یکپارچه برای کنترل و برنامه‌ریزی پروژه در تمام طول اجرای آن نپرداخته است. مدل ارائه شده در این مقاله به ارائه یک ساختار کنترلی جدید می‌پردازد که شامل برنامه‌ریزی پیش از شروع پروژه، کنترل عملکرد این برنامه ریزی در فاز اجرا به منظور بررسی ضرورت برنامه‌ریزی دوباره و در نهایت، ارائه راهکاری برای برنامه‌ریزی دوباره پروژه است. در مدل یاد شده ر برای هر فعالیت چندین انتخاب وجود دارد و این انتخاب‌ها مسیرهای متفاوتی برای اجرای پروژه به وجود می‌آورند. برای هر انتخاب از فعالیت‌ها، زمان و هزینه به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. بهترین مسیر اجرای پروژه با توجه به زمان و هزینه اجرای پروژه در مسیرهای متفاوت، انتخاب می‌گردد. در ادامه، از روش مدیریت ارزش حاصله برای کنترل شاخص‌های عملکردی پروژه، همچون زمان و هزینه و از روش آماری برای پیش بینی وضعیت آینده شروع آن به زمان اجرای آن انتقال می‌دهد. نتایج به دست آمده از این مدل می‌تواند وضعیت پروژه را در آینده پیش بینی نموده، نیاز آن به برنامه‌ریزی دوباره را مشخص و نحوه برنامه‌ریزی دوباره را تعیین کند.

واژه‌های کلیدی: موازنه زمان-هزینه، نظریه فازی، آنالیز ارزش حاصله، رگرسیون، پیش بینی یت شغلی، فرسودگی شغلی، سلامت روان، کارگران، کارخانه ذوب آهن.

۱- مقدمه

مایر، ۱۹۶۵؛ تالبوت، ۱۹۸۲). روش‌هایی که در فوق ذکر شدند، بر حل مساله موازنه زمان-هزینه در محیط قطعی تاکید دارند، اما در واقعیت عوامل ناشناخته بسیاری بر روی پروژه تاثیر گذار هستند. برای مثال، زمان و هزینه اتمام پروژه می‌تواند توسط بسیاری از عوامل خارجی، همچون تغییرات آب و هوا، کمبود تجهیزات و غیره تحت تاثیر قرار بگیرند. در نتیجه برنامه ریزی در محیط غیر قطعی به میزان بیشتری با واقعیت پروژه سازگار خواهد بود. برنامه ریزی غیر قطعی برای مساله موازنه زمان-هزینه را می‌توان به دو شاخه اصلی تقسیم نمود: مدل‌های احتمالی و مدل‌های فازی. گلدراٹ^۴ (۱۹۹۷) در مقاله خود اعتبار محیط قطعی را در برنامه ریزی زمان و هزینه پروژه زیر سوال برد و مدل احتمالی خود را برای مساله موازنه زمان-هزینه ارائه داد. در ادامه، تحقیقات در محیط غیر قطعی، فنگ و همکاران^۵، (۲۰۰۰) مساله موازنه زمان-هزینه را در محیط غیرقطعی و با استفاده از مدل‌های احتمالی حل نمودند. آنها از داده‌های از پیش تعیین شده برای محاسبه زمان و هزینه استفاده نمود و توابع چگالی احتمالی برای زمان و هزینه تولید کرد.

در موارد بسیاری استفاده از توابع توزیع احتمالی برای زمان و هزینه فعالیت‌ها دشوار است (به دست آوردن این توابع، بخصوص در صورتی که داده‌های از پیش تعیین شده در دسترس نباشد، کار دشواری است) همچنین، شمار زیادی از پروژه‌ها برای نخستین بار است که اجرا می‌شوند در نتیجه، برای بسیاری از مدل‌ها تئوری احتمالات نمی‌تواند به حل این مساله کمک شایانی بکند. بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از روشی کارا تر برای مدل نمودن این مساله ضروری است. لئو و همکاران^۱ (۲۰۰۱)، اشتهااردیان

از اواخر دهه ۱۹۵۰ روش مسیر بحرانی به عنوان روشی سودمند برای برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه در نظر گرفته می‌شد، اما در بسیاری از موارد پروژه‌ها باید در زمانی کمتر از زمان تعیین شده توسط روش مسیر بحرانی به پایان برسند. برای رسیدن به این هدف، استفاده از تجهیزات پیشرفته تر و یا منابع انسانی بیشتر می‌تواند راهکارهای مناسبی باشند، اما اجرای آنها مستلزم افزایش هزینه‌های پروژه خواهد بود. یافتن راهی برای اینکه بتوان پروژه را به گونه‌ای برنامه ریزی نمود که در زمان و هزینه معین به اتمام برسد، یکی از اهداف برنامه ریزان پروژه‌ها است. در نتیجه، برای اجرای پروژه با کمترین زمان و هزینه ممکن یافتن راهی برای موازنه زمان و هزینه پروژه ضروری به نظر می‌رسد. مساله موازنه زمان-هزینه به این منظور مطرح می‌شود تا تصمیم‌گیرندگان بتوانند با استفاده از اعمال تغییر در زمان و هزینه فعالیت‌ها، پروژه را در زمان دلخواه و هزینه معین برنامه ریزی کنند. مسائل هزینه و زمان را می‌توان به دو دسته کلی برنامه ریزی قطعی و غیر قطعی تقسیم نمود: مدل‌های قدیم این مساله بیشتر برای محیط‌های قطعی طراحی شده‌اند. کلی^۱ (۱۹۶۱) برای نخستین بار تحقیقی را در مورد مسائل زمان-هزینه در فضای قطعی انجام داد. در دوره‌های پس از وی، تحقیقات بیشتری بر روی این نوع خاص از مسایل هزینه و زمان انجام شد. بیشتر این مدل‌ها، مدل‌های تحلیلی و هیوریستیک هستند. در بین آنها می‌توان از مدل‌های مصلحی^۲ (۱۹۹۳) و سیمن^۳ (۱۹۷۱) نام برد. برخی از محققان نیز از روش‌های تحقیق در عملیات برای حل مساله موازنه زمان-هزینه استفاده کرده‌اند (

روش‌های متفاوتی وجود دارد. هر کدام از این روش‌ها نیز به منابع مشخصی نیاز دارند. بنابراین، اگر این رابطه به شکل پیوسته در نظر گرفته شود، این اطمینان وجود ندارد که برای مقادیر بیشتر و یا کمتر زمان و هزینه، منابع کافی و لازم در دسترس باشد. بعلاوه، پیدا کردن رابطه پیوسته بین هزینه و زمان که در هر سطحی از هزینه (زمان) بتوان زمان (هزینه) معادل آن را به دست آورد، کار دشواری خواهد بود. به خاطر سازگار بودن رابطه گسسته زمان و هزینه با واقعیت، شیوه‌های زیادی برای حل مساله زمان-هزینه در این حیطه ارائه شده است (حجازی^۹، ۱۹۹۹؛ زنگ و همکاران، ۲۰۰۵؛ لئو و همکاران، ۲۰۰۱).

همچنین، هزینه کل و زمان اتمام پروژه توسط زمان و هزینه فعالیت‌های آن پروژه تعیین می‌شود. در هر پروژه زمان و هزینه فعالیت‌ها به عواملی چون تجهیزات، نیروی کار و غیره وابسته است. برای مثال، فعالیتی در پروژه که تنها به نیروی انسانی نیاز دارد، می‌تواند توسط یک، دو و یا چندین کارگر انجام شود. انجام این فعالیت به هر یک از این روش‌ها هزینه و زمان خاصی را برای آن فعالیت رقم خواهد زد. در نتیجه برای اجرای این فعالیت چندین انتخاب وجود خواهد داشت. برای تمامی فعالیت‌های پروژه نیز همانند مثال فوق می‌توان چندین انتخاب را در نظر گرفت. در این مقاله نیز فرض شده است که برای اجرای هر فعالیت چندین انتخاب وجود دارد که هر کدام از این انتخاب‌ها بیانگر روش مشخصی برای استفاده از منابع است که زمان و هزینه معینی را به دنبال خواهد داشت.

و همکاران^۷ (۲۰۰۸) و زنگ و همکاران^۸ (۲۰۰۵)، در تحقیق‌های بعدی خود از تئوری فازی در مساله موازنه زمان-هزینه بهره بردند. این مقالات روش‌های جدیدی را برای موازنه زمان و هزینه در محیط غیر قطعی ارائه می‌دهند اما، باز هم حیطه کارایی این مقالات به زمان بندی پروژه در ناحیه برنامه ریزی ختم می‌شود. به این معنی که برای کنترل زمان و هزینه پروژه و موازنه آنها هنگام اجرای پروژه روشی را ارائه نمی‌دهند. در این مقاله تلاش شده است تا با استفاده از تکنیک‌های ارائه شده، یک ساختار کنترلی جدید برای کنترل پروژه هنگام اجرای آن و در قالب مساله موازنه زمان-هزینه فراهم شود. در این راستا، وضعیت آینده پروژه از لحاظ زمان‌بندی و هزینه، پیش بینی شده، نیاز و یا عدم نیاز پروژه به برنامه‌ریزی مجدد مشخص شود و روشی برای برنامه‌ریزی مجدد پروژه ارائه گردد.

در این مقاله در بخش ۱-۱ مساله موازنه زمان-هزینه با رابطه گسسته و فعالیت‌های چند انتخابی معرفی می‌شود. در بخش ۲ به شرح مساله پرداخته شده است. در بخش ۳ روش پیشنهادی برای حل مساله بر اساس فلوچارت رسم شده در شکل (۱) ارائه شده و در بخش ۴ مثالی که توسط این روش حل شده است، بیان می‌گردد و نتایج به دست آمده گزارش می‌شود. در بخش ۵ نیز نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

۱-۱ - مساله موازنه زمان-هزینه با رابطه گسسته

رابطه بین زمان و هزینه هر فعالیت می‌تواند به شکل‌های مختلفی در نظر گرفته شود. از این میان، در نظر گرفتن رابطه این دو به صورت گسسته بیشتر با واقعیت سازگار است، زیرا برای اجرای هر پروژه

۱-۲- مدیریت ارزش حاصله

مدیریت ارزش حاصله به عنوان یکی از روش‌های اندازه‌گیری پیشرفت پروژه به حساب می‌آید. بر اساس تعریفی که توسط موسسه استاندارد پروژه^{۱۰} ارائه شده است، با استفاده از روش آنالیز ارزش حاصله، نخستین هشدارها در مورد عملکرد نامناسب پروژه داده می‌شود. روش مدیریت ارزش حاصله به اندازه‌گیری عملکرد و رشد پروژه با استفاده از یکپارچه کردن سه عامل زمان بندی، هزینه و محدوده می‌پردازد. در حقیقت ارزش حاصله برای اندازه‌گیری شاخص زمان بندی، شاخص هزینه، پیش بینی زمان پایان پروژه و پیش بینی هزینه پایان پروژه به کار می‌رود و در بازه‌های زمانی مختلف با استفاده از مقایسه هزینه واقعی و ارزش برنامه‌ریزی شده و ارزش واقعی، به بررسی عملکرد و پیشرفت پروژه می‌پردازد. علی‌رغم کارایی بالای روش مدیریت ارزش حاصله، مقاله‌های موجود در این زمینه بسیار محدود هستند. در یکی از مطالعات موجود در این زمینه، لپیکه^{۱۱} (۱۹۹۹) نسبت هزینه و زمان بندی را برای مدیریت زمان بندی و هزینه در پروژه توسعه داد. در کارهای بعدی، وی شاخص ارزش برنامه‌ریزی شده^{۱۲} را معرفی کرد تا مشکلاتی را که در محاسبه واریانس زمان بندی و شاخص زمان بندی وجود داشت، بر طرف کند (لپیکه، ۲۰۰۳). در ادامه مطالعات پیرامون ارزش حاصله، هندرسون^{۱۳} (۲۰۰۳) و کاربرد (۲۰۰۴) قابلیت اطمینان ارزش برنامه‌ریزی شده را بررسی کرد. انبری^{۱۴} (۲۰۰۳) کارایی پیاده‌سازی روش ارزش حاصله را توسعه بخشید و در مطالعه‌ای دیگر باقرپور^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۰) روش مدیریت ارزش حاصله را در مدل‌های برنامه‌ریزی تولید به کار بردند. همچنین، لپیکه و همکاران^{۱۶} (۲۰۰۹) روشی کارآمد برای پیش بینی زمان و

هزینه‌هایی پروژه ارائه دادند بتواند مدیریت پروژه را برای تصمیمات آگاهانه یاری کند.

۲- شرح مساله

مدل ارائه شده در این مقاله به بررسی مساله موازنه زمان-هزینه و ارائه راهکاری برای کنترل پروژه در محیط غیر قطعی و با استفاده از داده‌های فازی می‌پردازد. در این مدل، زمان و هزینه اجرای فعالیت‌ها به صورت فازی در نظر گرفته می‌شوند. برای اجرای هر فعالیت چندین انتخاب وجود دارد که با در کنار هم قرار گرفتن این انتخاب‌ها مسیرهای مختلفی برای اجرای پروژه پدید می‌آید. بهترین مسیر اجرای پروژه در مرحله برنامه‌ریزی به گونه‌ای گزینش می‌شود که مسیری با کمترین زمان و هزینه ممکن انتخاب گردد. با شروع اجرای پروژه، شاخص‌های زمان و هزینه که از روش ارزش حاصله به دست می‌آیند، به صورت پیوسته در هر روز محاسبه می‌شوند. با توجه به اینکه نگرش روش مدیریت ارزش حاصله نسبت به گذشته است و در این مقاله از این روش برای پیش بینی وضعیت آینده پروژه استفاده شده است، از تکنیک‌های آماری برای پیش بینی روند توسعه، عوامل مختلف، همچون پیشرفت واقعی و هزینه واقعی و در نهایت، پیش بینی شاخص‌های زمان و هزینه، در آینده استفاده می‌شود. در نتیجه، با محاسبه این شاخص‌ها در هر زمان از اجرای پروژه، وضعیت پروژه در آینده نیز مشخص می‌شود. اگر شاخص‌های زمان و هزینه پیش بینی شده در برهه‌ای از پروژه کمتر از حد مورد انتظار باشند این امر نشان دهنده آن است که در آن زمان یا پیش از فرا رسیدن آن، پروژه به برنامه‌ریزی دوباره نیاز دارد. در واقع، این مدل به تصمیم

جایی که \tilde{A}^α اعضایی از \tilde{A} هستند که درجه عضویت آنها بزرگتر مساوی α باشد.

یک عدد فازی یک مجموعه محدب و نرمال فازی است. برای مثال، اعداد فازی مثلثی و اعداد فازی ذوزنقه‌ای. عدد فازی مثلثی \tilde{M} ، به صورت $\tilde{M} = (l, c, r)$ نشان داده شده و تابع عضویت آن به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\tilde{M}}(X) = \begin{cases} (x-l)/(c-l) & ; l < x \leq c \\ (r-x)/(r-c) & ; c < x \leq r \\ 0 & ; \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

برای محاسبه زمان و هزینه اجرا فعالیت‌ها و همچنین، پروژه ابتدا تمام مسیرهای ممکن محاسبه می‌شود. هر مسیر شامل تمام فعالیت‌های پروژه بوده، تفاوت مسیرها در متفاوت بودن انتخاب‌هایی است که از هر فعالیت به ناشی شده است. مسیرهای اجرای پروژه با p_r نشان داده می‌شود که از ۱ تا n (وایسته به تعداد مسیرهای ممکن) متغیر خواهد بود. ترتیب و توالی فعالیت‌ها نیز در هر مسیر p_r به این صورت تعریف می‌گردد: $p_r = \{i1r, i2r, \dots, imr\}$ جایی که در ikr ، i نشان دهنده فعالیت در مسیر r و k ترتیب توالی را نشان می‌دهد. m نیز تعداد فعالیت‌های یک مسیر را نشان می‌دهد. در نهایت، تمام این مسیرها در مجموعه D گرد آوری می‌شود $D = \{p_r / r = 1..n\}$ در این مقاله، زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته می‌شوند. در هر مسیر p زمان فعالیت i به صورت عدد فازی $\tilde{t}_{ij} = (t_{Lij}, t_{Cij}, t_{Rij})$ در نظر گرفته شده که j نشان دهنده برگزیدن j امین انتخاب از

گیرندگان پروژه این امکان را می‌دهد که به برنامه‌ریزی هدفمند پروژه هنگام اجرای آن نیز بپردازند؛ به گونه‌ای که با توجه به وضعیت پروژه در زمان حال، وضعیت آن را در ادامه نیز پیش بینی کنند و زمان‌هایی را که پروژه به برنامه‌ریزی دوباره نیاز دارد، مشخص نمایند.

۳- روش تحقیق

فرمول‌بندی مدل ارائه شده، در این بخش مطرح می‌گردد. بدین منظور ابتدا ادبیات فازی مربوط به مدل و در ادامه آن محاسبات مرتبط با زمان و هزینه اجرای پروژه و مباحث مربوط به انتخاب بهترین مسیر ارائه می‌گردد. همچنین، شکل (۱) توضیح کلی در مورد روند پیاده‌سازی مدل را ارائه می‌دهد. لازم به ذکر در شکل (۱) مسیر اجرای مدل به ترتیب کشیده شده است و جهت فلش‌ها، جهت مسیر اجرای مدل را نشان می‌دهد.

۳-۱- زمان و هزینه فازی فعالیت‌ها

در بسیاری از مواقع، تعیین دقیق هزینه و زمان هر فعالیت به علت وجود عوامل زیادی که این دو متغیر را تحت تاثیر قرار می‌دهند، کار دشواری است، بنابراین، برای برطرف کردن این مشکل، از نظریه فازی استفاده می‌شود تا بتوان تاثیر عواملی همچون تغییرات آب و هوا، کمبود منابع و... را نیز در نظر گرفت. عدد فازی \tilde{A} با درجه عضویت μ_A و در سطح برش α به صورت زیر تعریف می‌شود: (کافمن و گوپتا^{۱۷}، ۱۹۸۸).

$$A = \{X_i : \mu_{\tilde{A}}(X_i) \geq \alpha, X_i \in X\} \quad (1)$$



شکل ۱- فلوچارت مراحل اجرای مدل ارائه شده

اجرا (انتخاب) انتخاب خواهد شد. در محدودیت فوق s یک مقدار متغیر است، چون تعداد انتخاب هایی که برای فعالیت های مختلف وجود دارد، با یکدیگر تفاوت خواهند داشت. برای هر مسیر (p_r) هزینه انجام پروژه از طریق فرمول (۴) محاسبه می-شود.

$$\begin{aligned} \tilde{C}_{tot} &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^s \tilde{c}_{ij} x_{ij} + \tilde{T} \times \tilde{c}_d + \\ & \text{MAX}[0, \tilde{T} - \tilde{T}_d] \times \tilde{c}_p + \text{MAX}[0, \tilde{T}_d - \tilde{T}] \times \tilde{c}_r \end{aligned} \quad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^s x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, m$$

در محاسبه هزینه پروژه، \tilde{T}_d برابر با زمان مورد علاقه برای انجام پروژه، \tilde{C}_d برابر هزینه غیر مستقیم روزانه، \tilde{C}_r ، تشویق روزانه (در صورتی که پروژه زودتر از زمان مقرر انجام پذیرد) و \tilde{C}_p جریمه تاخیر روزانه (به ازای هر روز تاخیر) می باشد و \tilde{C}_d برابر با هزینه غیر مستقیم روزانه است. $\tilde{C}_d, \tilde{C}_p, \tilde{C}_r, \tilde{C}_d, \tilde{T}_d$ اعداد فازی مثلثی هستند. با محاسبه فرمول (۴) می-توان هزینه پروژه را برای هر مسیر به دست آورد.

۳-۳- انتخاب بهترین مسیر

انتخاب بهترین مسیر در مرحله برنامه ریزی از طریق فرمول (۵) صورت می گیرد. با استفاده از این فرمول، از اعضای مجموعه D عضوی انتخاب می شود که کمترین زمان و هزینه برای اجرای پروژه را داشته باشد. برای محاسبه این فرمول زمان ها و هزینه هایی که برای هر مسیر و در هر سطحی از α از طریق فرمول های (۳) و (۴) به دست آمده است مقایسه

فعالیت i است، هزینه فعالیت i و j امین انتخاب از آن نیز به صورت $\tilde{C}_{ij} = (c_{Lij}, c_{Cij}, c_{Rij})$ نمایش داده می شود. برای تعیین سطح ریسک پروژه از α - CUT استفاده می شود که α بین بازه صفر و یک متغیر است: $(0 \leq \alpha \leq 1)$. پس از تعیین α بازه اعداد فازی تغییر می کند که در نهایت، این اعداد برای زمان و هزینه فعالیت ها به ترتیب به صورت مقابل است

$$\tilde{t}_{ij}^{\alpha} = (t_{Lij}^{\alpha}, t_{Cij}^{\alpha}, t_{Rij}^{\alpha}),$$

$$\tilde{c}_{ij}^{\alpha} = (c_{Lij}^{\alpha}, c_{Cij}^{\alpha}, c_{Rij}^{\alpha})$$

برای دیفازی سازی از روش رتبه بندی به کمک مرکز ثقل استفاده شده است.

۳-۲- محاسبه زمان و هزینه اجرای پروژه:

زمان انجام پروژه در هر مسیر، p_r ، به صورت زیر به دست می آید:

$$\tilde{T} = \text{MAX}_{p_r \in D} [\sum \tilde{t}_{ij} x_{ij}]$$

$$\sum_{j=1}^s x_{ij} = 1 \quad \forall i = 1, \dots, m$$

(۳)

جایی که t_{ij} نشان دهنده زمان فعالیت i است؛ در صورتی که j امین روش برای اجرای این فعالیت انتخاب شود. x_{ij} یک متغیر صفر و یک است و در صورتی که j امین روش برای اجرای فعالیت i انتخاب گردد، x_{ij} برابر یک و در غیر این صورت برابر با صفر خواهد بود. بدیهی است جمع متغیرهای صفر و یک برای یک فعالیت در یک مسیر مشخص برابر با یک است؛ به این معنی که در یک مسیر مشخص برای هر فعالیت تنها یک روش

درصد پیشرفت برنامه‌ریزی شده^{۲۵} قابل محاسبه است:

$$EV = BAC \times AP \quad (۶)$$

$$PV = BAC \times PP \quad (۷)$$

به علت این که در اینجا هزینه انجام پروژه به صورت فازی در نظر گرفته شده است، مقادیر ارزش حاصله و ارزش برنامه‌ریزی نیز فازی هستند، در سطوح مختلف α قابل محاسبه هستند، که به صورت زیر نمایش داده می‌شوند:

$$\bar{EV}^\alpha = (EV_L^\alpha, EV_C^\alpha, EV_R^\alpha)$$

$$\bar{PV}^\alpha = (PV_L^\alpha, PV_C^\alpha, PV_R^\alpha)$$

شاخص هزینه از تقسیم ارزش حاصله بر هزینه واقعی^{۲۶} مصرف شده برای فعالیت‌هایی که تاکنون انجام شده‌اند، به دست می‌آید:

$$CPI = \frac{EV}{AC} \quad (۸)$$

به علت اینکه در اینجا ارزش حاصله، عددی فازی مثلثی است، شاخص هزینه نیز عددی فازی مثلثی خواهد بود و برای سه نقطه آن شاخص هزینه به این صورت محاسبه می‌شود:

$$\bar{CPI}^\alpha = \left(\frac{EV_L^\alpha}{AC}, \frac{EV_C^\alpha}{AC}, \frac{EV_R^\alpha}{AC} \right)$$

شاخص دیگری که در آنالیز ارزش حاصله به کار می‌آید، شاخص زمان‌بندی است که از پارامترهای ارزش برنامه‌ریزی شده و ارزش حاصله به دست می‌آید. ارزش حاصله نیز از طریق فرمول (۹) و ارزش برنامه‌ریزی شده از فرمول (۱۰) محاسبه

می‌شوند. بهترین مسیر اجرای پروژه در مرحله برنامه‌ریزی به این طریق محاسبه می‌گردد:

$$BEST \ PATH = \left[\begin{array}{l} MAX \left[W_1 \left(\frac{MIN [T_1, \dots, T_n]}{T_n} \right) + W_2 \left(\frac{MIN [BAC_1, \dots, BAC_n]}{BAC_1} \right), \dots \right] \\ W_1 \left(\frac{MIN [T_1, \dots, T_n]}{T_n} \right) + W_2 \left(\frac{MIN [BAC_1, \dots, BAC_n]}{BAC_n} \right) \end{array} \right] \quad (۵)$$

BAC_i و T_i به ترتیب نشان دهنده‌ی هزینه و زمان اجرای پروژه از طریق مسیر i ام می‌باشد. همچنین w_1 و w_2 به عنوان ضرایب وزنی برای معادله فوق به کار می‌روند که: $0 \leq w_1, w_2 \leq 1$ و $w_1 + w_2 = 1$ است. در این مقاله از ضرایب وزن تعدیل شده^{۱۹} برای محاسبه بهترین مسیر استفاده شده است. به این علت که این ضرایب به صورت مداوم باید در حال تعدیل شدن باشند و همچنین، امکان دخالت تصمیم‌گیرندگان پروژه نیز برای وزن دهی فراهم باشد، از این روش که با اهداف مطرح شده تطابق پذیری بالایی را دارد، استفاده شده است.

۳-۴- محاسبه شاخص های زمان بندی و هزینه روش ارزش حاصله

برای محاسبه شاخص‌های آنالیز ارزش حاصله، ابتدا باید پارامترهای دخیل در آنها را محاسبه نمود. از جمله این پارامترها ارزش حاصله^{۲۰} و ارزش برنامه‌ریزی^{۲۱} هستند. ارزش حاصله از حاصلضرب بودجه پروژه^{۲۲} (هزینه انجام پروژه است که از مجموع هزینه برنامه‌ریزی شده فعالیت‌ها محاسبه می‌شود) در درصد پیشرفت واقعی^{۲۳} محاسبه می‌گردد. ارزش برنامه‌ریزی شده^{۲۴} از حاصلضرب بودجه پروژه در

صورت فازی در نظر گرفته شده اند. همچنین، برای هر کدام از فعالیت‌ها چندین انتخاب برای اجرای آنها وجود دارد که زمان و هزینه هر کدام از این انتخاب‌ها به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. از آنجا که هدف این مقاله ارائه یک ساختار کنترلی برای پروژهای با فعالیت‌های چند انتخابی می‌باشد، ارائه یک مثال، برای نشان دادن نحوه پیاده سازی مدل کافی است، هر چند در پایان همین بخش به مقایسه و بررسی روش‌های موجود با روش ارائه شده در این مقاله پرداخته خواهد شد

برای این پروژه اطلاعات مربوط به عملکرد پروژه تا روز ۱۵ بعد از شروع آن در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده اند. همچنین، جزئیات دیگر مربوط به این مثال در جداول (۱) و (۲) آورده شده است. برای حل این مثال در ابتدا تصور می‌شود که از طریق فرمول (۵) بهترین مسیر انجام پروژه به ازای $\alpha = 0.7$ در مرحله برنامه‌ریزی تعیین شده است. همچنین، به ازای وزن‌های متفاوت در فرمول (۵) بهترین مسیر انجام پروژه متفاوت خواهد بود. جدول (۳) بهترین مسیر انجام پروژه به ازای وزن‌های متفاوت را نشان می‌دهد. همچنین، در این جدول مسیر جانشین، در صورت لغو شدن برنامه اولیه، زمان و هزینه انجام پروژه^{۲۸} برای هر مسیر بیان شده است. (مسیر جانشین مسیری است که دارای بیشترین مقدار در فرمول (۵) بعد از بهترین مسیر می‌باشد). سپس فرض می‌شود پروژه با بهترین مسیر شروع می‌شود. در مثال حل شده فرض شده است که ضرایب $W_1 = W_2 = 0.5$ و هم اکنون در روز پانزدهم از اجرا می‌باشد. بدیهی است در اجرا های مختلف، می‌توان این ضرایب وزنی را

می‌شود، در نتیجه شاخص زمان بندی برابر خواهد بود با:

$$SPI = \frac{EV}{PV} \quad (9)$$

برای محاسبه این شاخص، در صورت کسر، ارزش حاصله مرکز (EV_c^α) قرار داده می‌شود و برای مخرج کسر نقاط سمت چپ، مرکز و راست در فرمول ارزش برنامه‌ریزی قرار داده می‌شود.

$$\widetilde{SPI}^\alpha = \left(\frac{EV_c^\alpha}{PV_L^\alpha}, \frac{EV_c^\alpha}{PV_C^\alpha}, \frac{EV_c^\alpha}{PV_R^\alpha} \right)$$

۳-۵- مدل‌سازی آماری

مدل‌سازی آماری به عنوان روشی توانمند برای پیش بینی روند توسعه عوامل مختلف شناخته می‌شود. کواچ وهمکاران (۱۹۸۱) با استفاده از رگرسیون گیری با هزینه واقعی، ارزش حاصله و شاخص هزینه به عنوان متغیر وابسته و ارزش حاصله یا زمان به عنوان متغیر مستقل، دوازده مدل مستقل برای تخمین بودجه پیش بینی شده ارائه دادند. هر چند مدل‌های ارائه شده توسط آنها نتایج رضایت بخشی در بر نداشت، اما باعث شد تا از این روش در تحقیق‌های بعدی نیز استفاده شود. در این مقاله از روش‌های رگرسیون مختلفی، شامل رگرسیون خطی و رگرسیون با متغیر وقفه ای^{۲۷} برای پیش بینی هزینه واقعی و درصد پیشرفت واقعی پروژه استفاده می‌شود.

۴- مثال ارائه شده

در ادامه مقاله، مثالی برای نشان دادن کاربرد روش ارائه شده بیان می‌شود. این مثال مرتبط با یک پروژه ساختمانی است که زمان و هزینه فعالیت‌های آن به

جدول ۱- هزینه و زمان انجام فعالیت های مثال ارائه شده

فعالیت	پیش نیازی	ضریب وزنی ^{۲۹}	انتخاب	زمان	هزینه
۱		۰,۱۸	۱	(۱۲,۱۴,۱۶)	(۲۰۵۰۰,۲۳۰۰۰,۲۸۲۰۰)
			۲	(۱۷,۲۰,۲۳)	(۱۶۲۰۰,۱۸۰۰۰,۲۱۲۰۰)
			۳	(۱۹,۲۴,۲۹)	(۱۱۵۰۰,۱۲۰۰۰,۱۳۵۰۰)
۲	۱	۰,۱۳	۱	(۱۲,۱۵,۱۸)	(۲۸۷۰۰,۳۰۰۰۰,۳۵۸۰۰)
			۲	(۱۳,۱۸,۲۳)	(۲۲۶۰۰,۲۴۰۰۰,۲۹۰۰۰)
			۳	(۱۵,۲۰,۲۵)	(۱۵۰۰۰,۱۸۰۰۰,۲۱۵۰۰)
			۴	(۲۳,۳۰,۳۷)	(۱۰۸۰۰,۱۲۰۰۰,۱۹۰۰۰)
			۵	(۵۴,۶۰,۶۶)	(۵۰۰,۶۰۰,۷۲۰)
۳	۱	۰,۱۴	۱	(۱۰,۱۵,۲۰)	(۴۲۰۰,۴۵۰۰,۴۹۵۰)
			۲	(۲۰,۲۲,۲۴)	(۳۷۵۰,۴۰۰۰,۴۵۰۰)
			۳	(۲۸,۳۳,۳۸)	(۲۹۰۰,۳۲۰۰,۳۷۵۰)
۴	۱	۰,۱۲	۱	(۱۰,۱۲,۱۴)	(۴۳۵۰۰,۴۵۰۰۰,۴۸۸۵۰)
			۲	(۱۲,۱۶,۲۰)	(۳۳۶۲۰,۳۵۰۰۰,۳۸۹۰۰)
			۳	(۱۷,۲۰,۲۳)	(۲۸۵۰۰,۳۰۰۰۰,۳۴۵۰۰)
۵	۳ و ۲	۰,۲	۱	(۱۶,۲۲,۲۸)	(۱۸۱۰۰,۲۰۰۰۰,۲۳۵۰۰)
			۲	(۲۰,۲۴,۲۸)	(۱۵۲۰۰,۱۷۵۰۰,۲۱۰۰۰)
			۳	(۲۳,۲۸,۳۳)	(۱۳۷۰۰,۱۵۰۰۰,۱۸۵۰۰)
			۴	(۲۵,۳۰,۳۵)	(۸۷۵۰,۱۰۰۰۰,۱۱۸۰۰)
۶	۴	۰,۱۱	۱	(۱۲,۱۴,۱۶)	(۳۸۵۰۰,۴۰۰۰۰,۴۹۵۰۰)
			۲	(۱۵,۱۸,۲۱)	(۳۰۲۵۰,۳۲۰۰۰,۳۶۲۰۰)
			۳	(۲۰,۲۴,۲۸)	(۱۶۸۰۰,۱۸۰۰۰,۲۱۰۵۰)
۷	۶ و ۵	۰,۱۲	۱	(۷,۹,۱۱)	(۲۸۴۰۰,۳۰۰۰۰,۳۴۰۰۰)
			۲	(۱۳,۱۵,۱۷)	(۲۲۲۰۰,۲۴۰۰۰,۲۶۸۰۰)
			۳	(۱۵,۱۸,۲۱)	(۲۱۰۰۰,۲۲۰۰۰,۲۳۲۵۰)

امکان محاسبه شاخص های هزینه و زمان بندی تا این روز از اجرای پروژه فراهم می شود. برای پیش بینی این شاخص ها در روزهای آتی از مدل های رگرسیون گیری ارائه شده استفاده می شود.

با مقادیر متفاوت در نظر گرفت. با استفاده از فرمول (۶) می توان ارزش حاصله را تا روز پانزده محاسبه نمود. ارزش برنامه ریزی شده نیز با استفاد از فرمول (۷) تا انتهای پروژه قابل محاسبه خواهد بود. با محاسبه ارزش حاصله و ارزش برنامه ریزی شده

جدول ۲- اطلاعات تکمیلی پروژه

هزینه دیر کرد	تشویق زودکرد	هزینه غیر مستقیم روزانه	زمان مورد علاقه برای پایان پروژه
(۶۰۰,۸۳۰,۹۵۰)	(۴۰۰,۶۵۰,۸۰۰)	(۴۵۰,۵۰۰,۶۰۰)	(۴۵,۵۴,۶۳)

پیش بینی و میزان واقعی برای سه روز پایانی (پیش از روز ۱۵) و تعیین درصد خطا به کار رفته است. بهترین روش بر این اساس که مقدار R^2 برای آن نزدیک به یک، تعداد مشاهدات غیر معمول و درصد خطا برای سه روز پایانی آن حداقل باشد، انتخاب می‌گردد. با توجه به جداول (۴) و (۵) مشخص می‌شود که استفاده از متغیرهای وقفه‌ای کمک موثری به روند پیش بینی مدل رگرسیون خواهد کرد. از روش انتخاب شده به عنوان پیش بینی کننده هزینه واقعی و ارزش حاصله در آینده استفاده می‌شود. پس از محاسبه آنها، امکان محاسبه شاخص‌های زمان‌بندی و هزینه در آینده فراهم خواهد شد.

روش‌های ارائه شده برای پیش بینی درصد پیشرفت واقعی و هزینه واقعی در جداول (۴) و (۵) مقایسه شده اند. در این جداول معادله‌های ارائه شده بر اساس عوامل مختلفی سنجیده می‌شوند. مقدار R^2 میزان پراکندگی کلی حول هزینه واقعی (پیشرفت واقعی) که توسط مدل رگرسیون به دست آمده است را نشان می‌دهد. همچنین، تعداد مشاهدات غیر معمول نیز برای هر یک از مدل‌های رگرسیون بیان شده است. بدیهی است هرچه مشاهدات غیر معمول بر اساس مدل رگرسیون ارائه شده کمتر باشد، آن مدل از اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود در نهایت، در این جداول ستون‌هایی برای مقایسه مقدار

جدول ۳- بهترین مسیر های انجام پروژه

مسیر جانشین	بودجه پروژه	زمان مسیر بحرانی	مسیر انتخابی	وزن ۱	وزن ۲
۱۱۱۳۴۳۱	(۱۶۳۱۵۰,۱,۱۶۹۹۷۰,۱۸۱۲۲۵,۴)	(۵۹,۴,۶۳,۶۶,۶)	۱۱۱۲۲۳۱	۰,۵	۰,۵
۱۱۱۲۱۲۱	(۱۷۵۴۹۳,۳,۱۸۲۴۸۰,۱۹۵۱۳۸,۸)	(۵۶,۱,۶۰,۶۴,۵)	۱۱۱۱۱۳۱	۰,۴	۰,۶
۱۱۱۲۱۲۱	(۱۷۵۴۹۳,۳,۱۸۲۴۸۰,۱۹۵۱۳۸,۸)	(۵۶,۱,۶۰,۶۴,۵)	۱۱۱۱۱۳۱	۰,۳	۰,۷
۱۱۱۳۴۳۱	(۱۶۳۱۵۰,۱,۱۶۹۹۷۰,۱۸۱۲۲۵,۴)	(۵۹,۴,۶۳,۶۶,۶)	۱۱۱۲۲۳۱	۰,۶	۰,۴
۱۱۱۲۱۲۱	(۱۷۱۶۲۲,۳,۱۷۸۴۸۰,۱۹۰۷۸۸,۸)	(۵۶,۱,۶۰,۶۴,۵)	۱۱۱۱۱۳۱	۰,۲	۰,۸
۱۱۱۲۱۲۱	(۱۷۱۶۲۲,۳,۱۷۸۴۸۰,۱۹۰۷۸۸,۸)	(۵۶,۱,۶۰,۶۴,۵)	۱۱۱۱۱۳۱	۰,۱	۰,۹
۱۱۱۲۲۳۱	(۱۵۷۱۵۹,۱,۱۶۴۱۲۰,۱۷۶۲۱۳)	(۶۴,۴,۶۸,۷۲,۲)	۱۱۱۳۴۳۱	۰,۷	۰,۳
۱۱۱۲۲۳۱	(۱۵۷۱۵۹,۱,۱۶۴۱۲۰,۱۷۶۲۱۳)	(۶۴,۴,۶۸,۷۲,۲)	۱۱۱۳۴۳۱	۰,۸	۰,۲
۱۱۱۲۲۳۱	(۱۵۷۱۵۹,۱,۱۶۴۱۲۰,۱۷۶۲۱۳)	(۶۴,۴,۶۸,۷۲,۲)	۱۱۱۳۴۳۱	۰,۹	۰,۱

فازی محاسبه شده و دارای سه نمودار خواهد بود. این نمودارها پیشرفتی را که برای پروژه تا انتهای آن در نظر گرفته شده است، نشان می‌دهند.

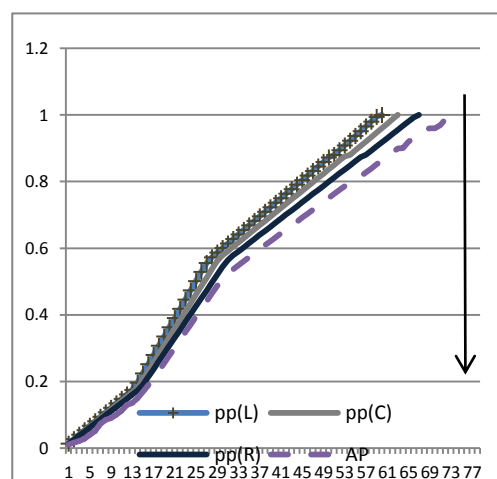
در شکل (۲) پیشرفت برنامه‌ریزی شده برای مسیر انتخابی رسم شده است. چون متغیرهای تعریف شده همانند زمان انجام فعالیت‌ها به صورت فازی هستند، بنابراین، پیشرفت برنامه‌ریزی شده نیز به صورت

مشخص شده بودند، به صورت $pp(c)$ به تصویر در آمده است.

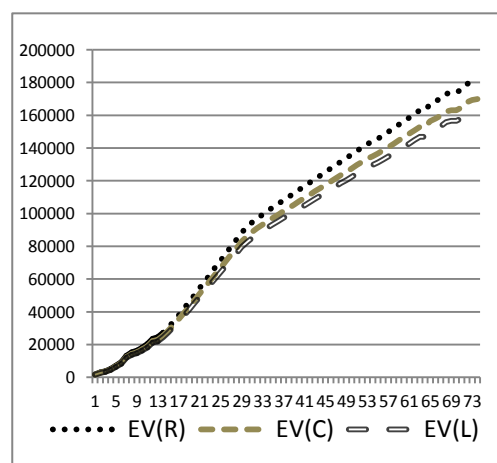
اگر پروژه از مسیر نرمال انجام شود، پروژه به صورت برنامه ریزی شده باید در روز ۶۳ به پایان برسد. مسیر نرمال در واقع برابر با زمانی است که α برابر با یک فرض شود. نمودار سوم $pp(R)$ ، برای پیشرفت برنامه ریزی شده مربوط به پیش بینی در حالت بد بینانه است که در واقع، شامل نقاط سمت راست اعداد فازی است. با توجه به شکل (۲) پروژه در سطح ریسک α برابر با ۰,۷ و در حالت بدبینانه در پایان روز ۶۷ به پایان خواهد رسید. نمودار دیگری که در این شکل بسیار مهم است، به پیشرفت واقعی مربوط است. خط عمودی که در پایان روز پانزدهم رسم شده است، نشان دهنده این موضوع است که پروژه تا پایان روز پانزدهم انجام شده و همان طور که در شکل مشخص است، پس از پایان روز پانزدهم پیشرفت واقعی به صورت خط چین نشان داده شده است که مربوط به ناحیه پیش بینی است.

برای پیش بینی پیشرفت واقعی اعداد فازی مربوط به پیشرفت برنامه ریزی شده توسط روش مرکز ثقل به صورت دیفازی تبدیل شده اند و سپس از مدل رگرسیون ارائه شده، پیشرفت واقعی تا انتهای پروژه به دست آمده است. با توجه به شکل (۲) و نمودار پیشرفت واقعی پیش بینی بینی می شود پروژه در روز ۷۳ به پایان برسد که این مقدار حتی از زمان اتمام پروژه در حالت بد بینانه نیز بیشتر است. شکل (۳) نشان دهنده ارزش حاصله است. با توجه به اینکه هزینه اجرای پروژه توسط فرمول (۴) به صورت فازی محاسبه شد، ارزش حاصله نیز با توجه به فرمول (۶) به صورت عددی فازی به نمایش درآمده است:

$$\tilde{EV}^{\alpha} = (EV_L^{\alpha}, EV_C^{\alpha}, EV_R^{\alpha})$$



شکل ۲- مقایسه پیشرفت برنامه ریزی شده و پیشرفت واقعی



۳-مقایسه ارزش حاصله در حالت فازی

همچنین، در شکل (۲) با مقایسه پیشرفت های برنامه ریزی شده، سه زمان متفاوت برای پایان پروژه پیش بینی شده است. اگر مسیر انجام پروژه به شکل خوشبینانه در نظر گرفته شود، پروژه پس از ۶۰ روز به پایان خواهد رسید. این مسیر خوشبینانه در شکل (۲) به صورت $pp(L)$ به نمایش در آمده است. مسیر نرمال انجام پروژه که زمان ها و هزینه های مربوط به آن در قسمت تعریف متغیرها با اندیس c

جدول ۴-مقایسه بین روش‌های رگرسیون برای پیش‌بینی پیشرفت واقعی

معادله	R^2	مشاهدات غیر معمول	درصد خطا برای دوره ۱	درصد خطا برای دوره ۲	درصد خطا برای دوره ۳	متوسط درصد خطا
$AP = -0.0101 + 0.873PP$	۸۲,۱	۱	۱۴	۱۶	۲۱	۱۷
$AP_t = -0.00112 + 0.442 PP + 0.517 AP_{t-1}$	۸۹,۲	۱	۱۲	۸	۸	۹

کار توسط مدل آماری ارائه شده انجام می‌گیرد. در شکل (۲) نیز پیشرفت واقعی تا پایان پروژه نیز نمایش داده شده است. نقاط انتهایی برای سه ارزش حاصله نشان دهنده هزینه اجرای پروژه در سه حالت خوشبینانه، نرمال و بد بینانه هستند که به ترتیب مربوط به نقاط سمت چپ، مرکز و سمت راست عدد فازی محاسبه شده در فرمول (۵) و برابر (۵۹,۴,۶۳,۶۶,۶) هستند.

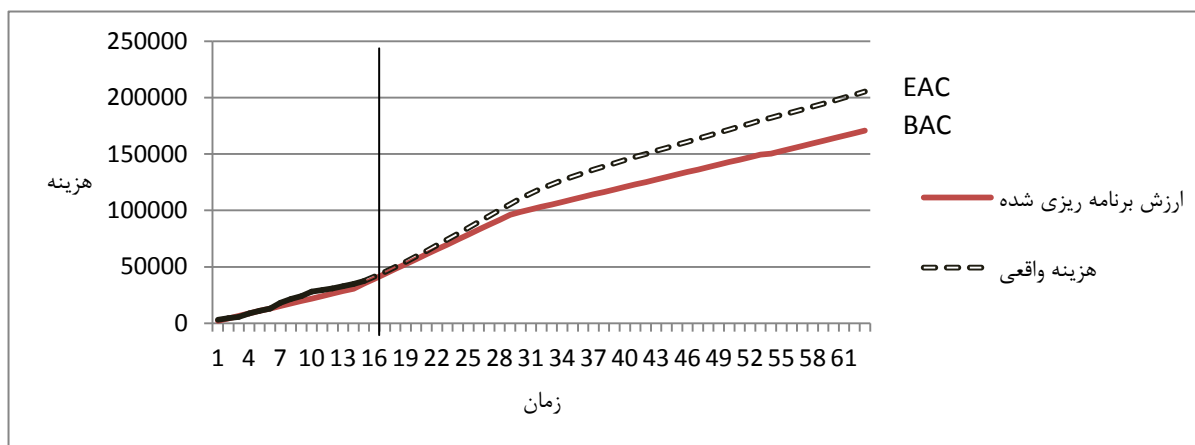
: که در اینجا α برابر ۰,۷ است. خط عمودی که در پایان روز پانزدهم رسم شده است، همانند شکل (۲) بیانگر این موضوع است که پروژه تا پایان روز پانزدهم انجام شده و از روز پانزدهم به بعد نمودارهای ارزش حاصله (ناحیه نقطه چین) مربوط به قسمت پیش بینی است. برای محاسبه ارزش حاصله تا پایان پروژه بر اساس فرمول (۷) نیاز است تا پیشرفت واقعی تا پایان پروژه محاسبه شود. این

جدول ۵-مقایسه بین روش‌های رگرسیون برای پیش‌بینی هزینه واقعی

معادله	R^2	مشاهدات غیر معمول	درصد خطا برای دوره ۱	درصد خطا برای دوره ۲	درصد خطا برای دوره ۳	متوسط درصد خطا
$AC = 1932 + 1.33EV$	۹۳,۲	۲	۲۳	۲۲	۱۹	۲۱,۳
$AC = -436 + 1.17PV$	۹۴,۱	۱	۱۴	۱۵	۱۴,۳	۱۴,۴
$AC = 947 + 0.468PV + 0.804EV$	۹۲,۱	۲	۳۲	۳۰	۲۲	۲۸
$AC_t = 2431 - 0.023 PV + 0.41EV + 0.71AC_{t-1}$	۹۵,۶	۱	۶	۳	۳,۱	۴,۰۳
$AC_t = 2380 + 0.391 EV + 0.705 AC_{t-1}$	۹۳,۶	۲	۱۶	۱۸	۱۸,۳	۱۷,۴
$AC_t = 1918 + 0.261 PV + 0.773 AC_{t-1}$	۹۴,۵	۱	۱۸	۱۴	۱۱	۱۴,۳

ارزش برنامه‌ریزی نیز می‌باشند بنابراین برای اینکه بتوان از آنها در این مدل استفاده کرد، ابتدا توسط فرمول (۳) دیفازی شده و سپس برای محاسبه هزینه واقعی به کار گرفته شده است. در شکل (۴) هزینه کل در انتهای پروژه نیز پیش بینی شده است.

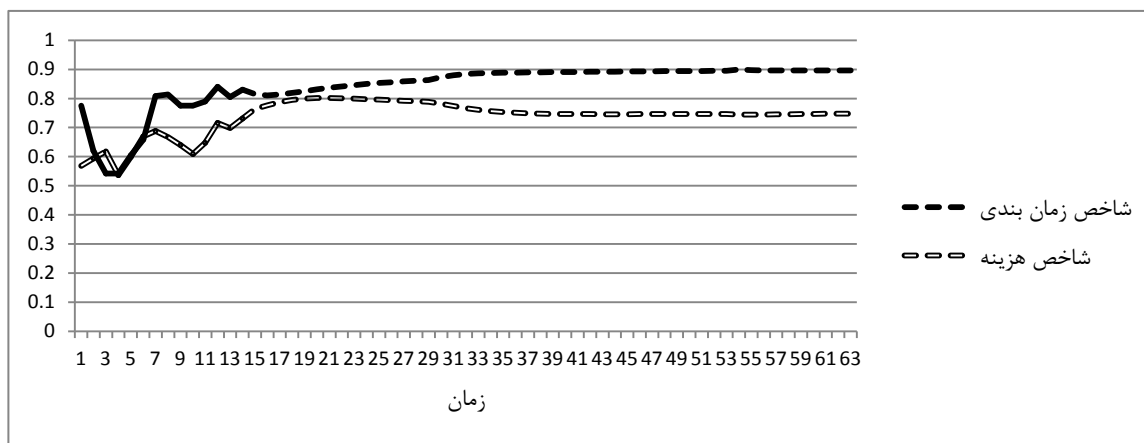
در شکل (۴) هزینه واقعی و ارزش برنامه‌ریزی شده ترسیم شده‌اند. قسمت نقطه چین مربوط به ناحیه پیش بینی بوده که تا از طریق مدل رگرسیون ارائه شده در جدول (۵) به دست آمده است. با توجه به اینکه مدل رگرسیون برای محاسبه هزینه واقعی، علاوه بر متغیر وقفه‌ای دارای پارامترهای ارزش حاصله و



شکل ۴- محاسبه هزینه واقعی و ارزش حاصله ارزش برنامه ریزی شده تا انتهای پروژه

محاسبات مربوطه، پیش بینی نمود. برای محاسبه شاخص زمان بندی تا پایان پروژه نیز بر اساس فرمول (۹) به ارزش حاصله و ارزش برنامه ریزی شده نیاز است. ارزش برنامه ریزی شده بر اساس پیشرفت برنامه ریزی که در شکل (۲) برای بهترین مسیر رسم شده است و هزینه پروژه قابل محاسبه است. ارزش حاصله نیز همان طور که در بالا توضیح داده شد، تا پایان پروژه قابل محاسبه است. برای راحتی استدلالها و استفاده از نتایج این شاخصها به صورت اعداد قطعی پیش بینی شده اند. شکل (۵) شاخصهای هزینه و زمان بندی را برای پروژه نشان می دهد. طبق توضیحات بالا تا روز پانزدهم این نقاط به صورت پیوسته و از روز پانزدهم به بعد تا انتهای پروژه به صورت نقطه چین هستند. در ناحیه پیش بینی (نقطه چین) همان طور که مشخص است به صورت کلی وضعیت شاخص زمان بندی بهتر از هزینه پیش بینی می شود. با توجه به اینکه روش های پیش بینی بر اساس عملکرد گذشته عمل می کنند، در نتیجه می توانند معیاری مناسب برای بررسی وضعیت پروژه باشند.

هزینه پروژه بر اساس مدل برنامه ریزی و پس از دیفازی شدن برابر (۱۷۰۷۰۹,۲۵) شده است، اما بر اساس هزینه واقعی پروژه تا روز ۱۵ و پیش بینی روند آن در آینده این میزان (۲۰۵۳۴۳,۰۰۵۴) تخمین زده می شود. میزان تفاوت بین هزینه پروژه در انتهای آن و هزینه پیش بینی شده توسط مدل رگرسیون می تواند به عنوان معیاری برای مقایسه آنچه برنامه ریزی شده و آنچه در واقعیت صورت گرفته است، باشد، اما در این مقاله برای مقایسه وضعیت پروژه از لحاظ هزینه و زمان بندی (همان طور که در گذشته نیز توضیح داده شد) از شاخص های معرفی شده در روش آنالیز ارزش حاصله استفاده می شود. برای محاسبه شاخص هزینه از طریق فرمول (۸) نیاز به ارزش حاصله و هزینه واقعی نیاز است. ارزش حاصله همان طور که در شکل (۳) نشان داده شد، تا پایان پروژه پیش بینی شد. هزینه واقعی نیز بر اساس مدل رگرسیون و همانطور که در شکل (۴) نشان داده شده است، تا پایان پروژه پیش بینی شده است، بنابراین، می توان شاخص هزینه را تا روز پانزدهم به شکل قطعی و پس از روز پانزدهم بر اساس مدل رگرسیون و



شکل ۵- محاسبه شاخص‌های زمان‌بندی و هزینه تا انتهای پروژه

برای مدیزان پروژه به این صورت تعریف می‌شود:

$$spi_{\alpha} \times cpi_{\alpha} \geq 0.7$$
 در نتیجه، با توجه به اینکه این مقدار در انتهای پروژه برابر ۰,۶۷۰۶۴ پیشی بینی می‌شود، بنابر این، پروژه به برنامه‌ریزی دوباره نیاز خواهد داشت. برای برنامه‌ریزی دوباره با توجه به فلوجارت ارائه شده در شکل (۱) ابتدا ضرایب وزنی تعدیل می‌شوند. سپس فعالیت‌هایی که پیش از این انجام شده یا در میانه اجرا هستند، از شبکه پروژه حذف و برای ادامه پروژه با توجه به فرمول (۵) برنامه‌ریزی شده و بهترین مسیر برای اجرا برگزیده می‌شود. در اینجا ضرایب (w_1, w_2) با توجه به فرمول‌های (۱۰) و (۱۱) به صورت زیر تعدیل می‌شوند: $(0,5337, 0,4662)$ در پایان روز پانزدهم تنها فعالیت ۱ پروژه به پایان رسیده است، بنابر این، این فعالیت از شبکه پروژه حذف و با توجه به فرمول (۵) و ضرایب تعدیل شده فوق، بهترین مسیر برای ادامه کار پروژه انتخاب می‌شود. با توجه به این ضرایب تعدیل شده، مسیر $p_r = 112121$ به عنوان مسیر بهینه برای ادامه پروژه برگزیده می‌شود.

بر اساس آنچه در شکل (۵) مشخص است، در انتهای پروژه شاخص هزینه برابر ۰,۸۹۶۷ و شاخص زمان‌بندی برابر ۰,۷۴۷۹ پیش بینی می‌شود. چنانچه این شاخص‌ها از معیارهای مقرر شده توسط مدیران پروژه کمتر باشد، پروژه نیازمند برنامه‌ریزی دوباره است. برای برنامه‌ریزی مجدد ادامه پروژه می‌توان برای فعالیت‌های باقیمانده مجدداً از فرمول (۵) استفاده نمود؛ با این تفاوت که ضرایب وزنی فرمول (۵) را به شکل هدفمندتری انتخاب نمود. ضرایب تعدیل شده برای برنامه‌ریزی مجدد به این صورت تعریف می‌شود:

$$W_1 = 1 - \frac{\sum_{d=1}^n CPI_d}{\sum_{d=1}^n SPI_d + \sum_{d=1}^n CPI_d} \quad (10)$$

$$W_2 = 1 - \frac{\sum_{d=1}^n SPI}{\sum_{d=1}^n SPI + \sum_{d=1}^n CPI} \quad (11)$$

در این مقاله برای اینکه نحوه اجرای ادامه مدل نیز نمایش داده شود، فرض می‌شود بازه مورد قبول

۱-۴ مقایسه روشهای موجود و روش ارائه شده

اولیه ای است که در این مدل‌ها برای هرچه نزدیک شدن آنها به شرایط واقعی پروژه‌ها در نظر گرفته شده‌اند. جدول (۶) به صورت خلاصه این مقایسه بین روش‌های موجود و روش ارائه شده در این مقاله را ارائه می‌دهد. هر چند مدل ارائه شده همانند مدل اشتهااردیان و همکاران خروجی‌ها را به صورت فازی ارائه نمی‌دهد، اما قابلیت پیش بینی وضعیت آینده پروژه و برنامه‌ریزی دوباره پروژه بر اساس فرمول‌بندی اولیه، از مزایای این روش نسبت به روش‌های پیشین می‌باشد.

هرچند مدل‌های زیادی برای مساله موازنه زمان و هزینه ارائه شده است، ولی با توجه به فرض‌های متفاوتی که در مدل‌سازی هرکدام از این روش‌ها وجود دارد، مقایسه مدل ارائه شده، با همه آنها امکان پذیر نیست، لذا در این بخش سعی شده است، تا مقایسه‌ای بین مدل ارائه شده در این مقاله، و روش‌های پیشینی که به بررسی مساله موازنه زمان و هزینه با در نظر گرفتن فعالیت‌های چند انتخابی و روابط گسسته بین زمان و هزینه پرداخته‌اند، ارائه گردد. این مقایسه بر اساس حیطه کاربرد و فرض‌های

جدول ۶ مقایسه روش ارائه شده و روش‌های ارائه شده توسط محققین

محققین	در نظر گرفتن ورودی‌ها به صورت فازی (زمان و هزینه)	ارائه نتایج خروجی به صورت فازی	استفاده از مدل‌های پیش‌بینی برای پیش‌بینی آینده پروژه	قابلیت برنامه‌ریزی مجدد برای اصلاح برنامه‌ریزی اولیه
فنگ و همکاران (۱۹۹۷)	×	×	×	×
لی و لا (۱۹۹۹)	×	×	×	×
حجازی (۱۹۹۹)	√	×	×	×
فنگ و همکاران (۲۰۰۰)	√	×	×	×
لئو و همکاران (۲۰۰۱)	×	×	×	×
زنگ و همکاران (۲۰۰۵)	×	×	×	×
اشتهااردیان و همکاران (۲۰۰۸)	√	×	×	×
اشتهااردیان و همکاران (۲۰۰۹)	√	√	×	×
مدل ارائه شده	√	×	√	√

۵- نتیجه‌گیری:

از آنها نیز تشریح گردید. واز روش‌های آماری برای پیش‌بینی روند ادامه پروژه استفاده شد و در پایان نیز نحوه برنامه‌ریزی دوباره پروژه تشریح گردید. از مباحث ارائه شده در این مقاله می‌توان در جهت انتخاب مسیر پروژه و کنترل پروژه‌هایی که هنگام اجرا می‌باشند و از انعطاف‌پذیری در انتخاب مسیر

در مقاله حاضر به بیان روش پیشنهادی در قالب الگوریتمی مرحله به مرحله برای حل مسایل موازنه زمان - هزینه پرداخته شد. شاخص‌های مورد استفاده در روش پیشنهادی که شاخص‌های هزینه، زمان‌بندی بودند، برای ارزیابی پروژه به همراه چگونگی استفاده

Kaufman, A., & Gupta, M. (1988). Fuzzy mathematical models in engineering and management science. North-Holland, Amsterdam.

Kelley Jr, J. (1961). "Critical path planning and scheduling mathematical basis". *Operation Research* (9), 296-320.

Leu, S., Chen, A., & Yang, C. (2001). "A GA-based fuzzy optimal model for construction time-cost trade-off". *International Journal of Project Management*, 19 (1), 47-58.

Lipke, W. (1999, March). "Applying Management reserve to software project management. *Journal of Defense Software Engineering*, 17-21.

Lipke, W. (2003). "Schedule is different". *The Measurable News*, 31-34.

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.

Meyer, W., & Shaffer, L. (1963). Extinctions for critical path method through the application of integer programming. University of Illinois. Urbana: Civil engineering construction research series.

Moslehi, O. (1993). "Schedule compression using the direct stiffness method". *Canadian Journal of Civil engineering*, 20, 65-72.

Seimons, N. (1971). "A simple CPM time-cost tradeoff algorithm". *Management Science*, 17 (6), 354-363.

Talbot, F. (1982). "Resource-constrained project scheduling with time-resource trade-offs: the non-preemptive case". *Manage Science*, 28, 1197-1210.

Zheng, D., & Ng, S. (2005). "Stochastic time-cost optimization model incorporating fuzzy sets theory and non replaceable front". *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(2), 176-186.

فعالیت‌ها بهره می‌برند، استفاده کرد. در تحقیقات آتی در این زمینه می‌توان از روش شبیه‌سازی برای حل مدل استفاده کرد و یا از این مدل برای حل مساله موازنه زمان-هزینه کیفیت بهره برد.

منابع:

Anbari, F. (2003). "Earned Value Project Management Method and Extensions". *Project Management Journal*, 34 (41), 12-23.

Bagherpour, M., Zareei, A., Noori, S., & Heydari, M. (2010). "esigning a control mechanism using earned value analysis: An application to production environment". *International journal of advanced manufacturing*, 49, 419-428.

Covach, John, Haydon, J. J., & Reither, R. O. (1981). "A Study to determine Indicator and methods to compute Estimate at completion (EAC)". Virginia: Man Tech international Corporation.

Eshtehardian, E., Afshar, A., & Abbasnia, R. (2008). "Time-cost optimization: using GA and fuzzy sets theory for uncertainties in cost". *Construction Management and Economics*, 26 (7), 679-691.

Feng, C., Liu, I., & Burns, S. (2000). "Stochastic construction time-cost trade-off analysis", *Journal of computing in Civil Engineering*, 14 (2), 117-126.

Goldratt, E. (1997). *Critical Chain*. The North River Press.

Hegazy, T. (1999). "Optimization of construction time-cost trade-off analysis: using genetic algorithms". *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26 (6), 685-697.

Henderson, K. (2003). "Earned Schedule: a breakthrough extensions to earned value theory". *The Measurable News*, 13-23.

Henderson, K. (2004). "Further developments in earned schedule". *The measurable news*, 15-22.

پی نوشت:

- ¹ Kelly
- ² Moslehi
- ³ Siemens
- ⁴ Goldrat
- ⁵ Feng
- ⁶ Leu et al
- ⁷ Eshtehardian et al
- ⁸ Zheng et al
- ⁹ Hegazy
- ^{۱۰} PMI
- ^{۱۱} Lipke
- ¹² Earned Schedule
- ^{۱۳} Henderson
- ^{۱۴} Anbari
- ^{۱۵} Bagherpour *et al*
- ^{۱۶} Lipke et al
- ¹⁷ Kaufman A, Gupta MM
- ¹⁸ Weight 1, weight 2
- ¹⁹ Modified adaptive weights(MAW)
- ²⁰ Earned Value(EV)
- ²¹ Plan Value(PV)
- ²² Budget At Completion(BAC)
- ²³ Actual progress(AC)
- ²⁴ Plan Value(PV)
- ²⁵ Plan progress(PP)
- ²⁶ Actual cost
- ²⁷ Lagged Variable
- ²⁸ Budget At Completion(BAC)
- ²⁹ Weight Factor
- ³⁰ Estimate At Completion(EAC)