

A QUANTITATIVE MODEL TO ESTIMATE PROJECT BUFFER SIZE IN CRITICAL CHAIN METHOD (CCM) BY USING FUZZY APPROACH

Ali Mohaghar* & Mojtaba Safari

Ali Mohaghar, Associate professor of Industrial Engineering, Faculty of Management, University of Tehran
Mojtaba Safari, M.S of Industrial Management, Faculty of Management, University of Tehran

Keywords

Critical Chain Method,
Project Buffer,
Uncertainty,
Fuzzy Logic

ABSTRACT

Uncertainty in project environment is of the most important reasons that causes projects take long time to be closed up. Although the matters somewhat could be resolved by Critical Chain Method (CCM) proposed by Goldratt, there were no quantitative model for estimating project buffer size in the primary method. Since confronting to project uncertainty is of the functions of CCM and fuzzy approach in project scheduling as well, the paper's main objective is to remove the shortage through fuzzy approach. In this study we present a quantitative method based on fuzzy logic to determine project buffer size. Applying three variables such as Risk preference of project manager, Resource tightness, and Network complexity, in proposed model is the paper main innovation. Results come from the using the model in a numerical examples show that it obtains more suitable project buffer size than both C&PM and RSEM methods.

© 2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 26, No. 3, All Rights Reserved

ارائه مدلی کمی برای برآورد اندازه بافر پروژه در روش زنجیره بحرانی با استفاده از رویکرد فازی

علی محقر* و مجتبی صفری

چکیده:

کلمات کلیدی

وجود عدم قطعیت در محیط پروژه یکی از مهمترین دلایل طولانی شدن مدت زمان پروژه است. گلدردت در روش زنجیره بحرانی، تا حدی توانست این مشکل را مرتفع سازد، اما عدم وجود مدلی کمی در تعیین اندازه بافر پروژه^۱ یکی از مهمترین کاستی‌های این روش به شمار می‌رود. از آنجاکه یکی از رسالت‌های روش زنجیره بحرانی و منطق فازی در زمانبندی پروژه، مقابله با عدم قطعیت‌های موجود در پروژه است لذا هدف از انجام این مطالعه، مرتفع ساختن این کاستی، ضمن استفاده از رویکرد فازی می‌باشد. در این مقاله برای تعیین اندازه بافر پروژه، مدلی کمی مبتنی بر منطق فازی ارائه می‌شود. نوآوری این مقاله در لحاظ کردن سه متغیر میزان ریسک پذیری مدیر، فشردگی منبع و پیچیدگی شبکه، در مدل پیشنهادی، قرار دارد. نتایج حاصل از بکارگیری این مدل در یک نمونه عددی، نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی، در مقایسه با دو مدل شناخته شده C&PM و RSEM، اندازه بافر پروژه مناسب تری را حاصل می‌کند.

روش زنجیره بحرانی،
بافر پروژه،
عدم قطعیت،
منطق فازی

برآورد مدت زمان انجام فعالیت‌ها و اندازه بافر پروژه است. گروهی از محققان در تلاش بودند که این خلأ را با استفاده از استدلال‌های آماری برطرف سازند. اما از آنجا که فعالیت‌های پروژه ماهیتاً منحصربه‌فرد بوده و داده‌های تاریخی در خصوص مدت زمان انجام آنها وجود نداشت، مدیران پروژه نمی‌توانستند به متغیرهای تصادفی و تابع توزیع‌های فرضی تکیه کنند [۱۴]. اصولاً در طول اجرای پروژه، مدیران نیازمند داده‌های فراوانی است که برای تعیین آنها باید بر دانش و قضاوت‌های ذهنی خود تکیه کند. در چنین شرایطی استفاده از روش‌های مبتنی بر داده‌های فازی می‌تواند کمک‌شایان توجهی به آنها نماید. بطورکلی نظریه فازی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای تصمیم‌گیری و استفاده از مدل‌های ذهنی کارشناسان، رویکردی جهت نزدیک کردن مدل‌های زمان‌بندی پروژه به واقعیت می‌باشد. در سال‌های اخیر، تعداد نسبتاً زیادی از پژوهشگران حوزه مدیریت پروژه توجه خود را بر استفاده از رویکردهای فازی در روش زنجیره بحرانی معطوف کرده‌اند. البته هر یک از آنها سعی داشته‌اند تا از زاویه خاصی به این موضوع بپردازند.

۱. مقدمه

روش زنجیره بحرانی نخستین بار از سوی گلدردت در دهه ۹۰ ارائه گردید. این روش که در حقیقت از اشاعه نظریه محدودیت‌ها در مدیریت پروژه بوجود آمد، با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌ها و محدودیت‌های پروژه، کلیه منابع را برای از بین بردن تاثیرات نامطلوب آنها به کار می‌گرفت. به عبارت دیگر این روش بر روی محدودیت‌هایی از پروژه تمرکز داشت که مانع از رسیدن پروژه به اهداف خود می‌شد [۹]. در این روش تمامی زمان‌های احتیاطی مرتبط با فعالیت‌های روی زنجیره بحرانی به انتهای پروژه منتقل شده و از آن، به عنوان بافر پروژه یاد می‌شد [۱۲]. زنجیره بحرانی بلندترین مسیر در شبکه‌ی پروژه است که شامل وابستگی فعالیت‌ها و محدودیت‌های منابع می‌باشد [۳]. گرچه بکارگیری این روش باعث ایجاد تحولی شگرف در صنایع تولیدی و سازمانهای پروژه‌محور گردید، اما مشکل اساسی موجود در آن، دقت پایین در

تاریخ وصول: ۹۱/۰۵/۲۴
تاریخ تصویب: ۹۲/۱۰/۱۱
مجتبی صفری، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران.
m_safari@ut.ac.ir
*نویسنده مسئول مقاله: دکتر علی محقر، دانشیار، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، amohaghar@ut.ac.ir

مقالات فوق، تعداد پارامترها و متغیرهایی که بصورت ذهنی از سوی مصاحبه شونده تعیین می‌شدند به قدری زیاد بود که از کاربردی بودن مدل آنها می‌کاست. در این مقاله سعی بر این است تا برخلاف تعداد زیادی از مقالات گذشته که هر یک بطور جداگانه تاثیر یک متغیر را در تعیین اندازه بافر در نظر می‌گرفتند، مهمترین و اثرگذارترین متغیرها شناسایی شده و تاثیر آنها بطور همزمان بر اندازه بافر پروژه بررسی شود. نوآوری این مقاله در لحاظ نمودن متغیرهایی چون سطح ریسک پذیری مدیر پروژه، میزان فشردگی منبع و میزان پیچیدگی شبکه، به صورت همزمان در مدل پیشنهادی، قرار دارد. علاوه بر این مدل سعی شده است تا با استفاده از اعداد فازی دوزنقه ای برای فعالیت های پروژه و همچنین استفاده از نظریه فازی در اجزاء آن، اندازه بافر پروژه ای استخراج گردد که تا علاوه بر حفظ پروژه در مقابل عدم اطمینان های محیطی، پروژه در زمان کوتاه تری به اتمام برسد.

در بخش نخست این مقاله، مروری بر پژوهش های مرتبط با کاربرد منطق فازی در روش زنجیره بحرانی انجام می‌گیرد. در بخش دوم، مدل کمی پیشنهادی برای تعیین اندازه بافر پروژه به همراه اجزاء و متغیرهای تشکیل دهنده آن، به تفصیل تشریح می‌گردد. در بخش سوم، این مدل با مدل های شناخته شده $C\&P^M$ و $RSEM^Y$ در یک نمونه عددی بررسی و مقایسه خواهد شد و در بخش آخر به نتیجه گیری و ارائه پیشنهادهایی برای مطالعات آتی می‌پردازیم. از آنجا که در این مقاله برای تخمین مدت زمان فعالیت های پروژه از اعداد فازی دوزنقه ای^۱ استفاده می‌شود لذا پیش از تشریح مدل پیشنهادی، نیاز است تا اشاره ای به مجموعه های فازی داشت.

۱-۱. مجموعه های فازی

تابع نشانگر مجموعه قطعی A از X ، تابعی از X به مجموعه $\{0,1\}$ می‌باشد. حال اگر برد تابع نشانگر را از مجموعه دو عضوی $\{0,1\}$ به بازه $[0,1]$ گسترش دهیم، تابعی خواهیم داشت که به هر عضو x از X عددی از بازه را نسبت می‌دهد. این تابع، تابع عضویت A نامیده شده و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_{\bar{A}} : X \rightarrow [0,1]$$

مجموعه \bar{A} که به x از X عددی در بازه $[0,1]$ را نسبت می‌دهد، یک زیرمجموعه فازی از X نامیده می‌شود. در تابع $\mu_{\bar{A}}(x)$ ، نزدیکی بیشتر به یک، نشان دهنده تعلق بیشتر x به مجموعه \bar{A} است. به لحاظ شهودی می‌توان $\mu_{\bar{A}}(x)$ را درجه پذیرش ما در قبول x به عنوان عضوی از مجموعه \bar{A} در نظر گرفت.

برش های α

مجموعه مرجع X و زیرمجموعه فازی \bar{A} از آن را در نظر بگیرید. مجموعه عناصری از X را که درجه عضویت آن‌ها در مجموعه فازی \bar{A} حداقل به بزرگی $(\alpha \leq 1)$ باشد، برش α از A یا مجموعه تراز α از A گوئیم و با A_α نشان می‌دهیم [۴]. یعنی:

تغذیه در نظر گرفته شده است. Ohsato و Duc Long در سال ۲۰۰۸ در مقاله خود، روش زنجیره بحرانی فازی را برای زمانبندی پروژه‌ها در شرایط عدم قطعیت با منابع محدود مطرح کردند. در این مقاله برای مقابله با عدم قطعیت، محاسبه بافر پروژه با استفاده از داده های فازی انجام گرفته و برای تسطیح منابع از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. در این مقاله تمرکز نویسندگان در هر دو بخش برنامه ریزی و اجرای پروژه معطوف بوده است. Chao و همکارانش در سال ۲۰۰۸ عدم قطعیت‌ها را به سه دسته: (۱) فاکتور مشخصات پروژه (۲) فاکتور رفتار انسانی (۳) فاکتور محیط خارجی تقسیم کردند. سپس برای برآورد مدت زمان بافرها این شاخص‌ها را در فرمول پیشنهادی خود لحاظ کردند. Quian Shi و Ting Gong در سال ۲۰۰۹ روش جدیدی برای تعیین اندازه بافر پروژه در زنجیره بحرانی تحت شرایط عدم قطعیت و محدودیت منابع معرفی نموده و این روش را با روش‌های $C\&P^M$ و $RSEM^Y$ مقایسه کردند. Yang و همکارانش در سال ۲۰۰۹ روش بهبود یافته اندازه بافر پروژه را پیشنهاد کردند که تعداد فعالیت‌ها، عدم قطعیت مدت زمان اجرا و میزان انعطاف پذیری برنامه زمانبندی را در نظر می‌گرفت. Zhen Yu Zhuo و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در مقاله خود مطابق با مقاله Hsu و Chen در سال ۲۰۰۴ برای لحاظ کردن عدم قطعیت در تعیین اندازه بافرهای پروژه و تغذیه، درجه فازی فعالیت^(۳) و فاصله فعالیت از نقطه شروع پروژه^(۴) را در نظر گرفتند و برخلاف شیوه ی رایج اعمال بافر تغذیه به شبکه فعالیت‌ها، الگوریتم خاصی را در این زمینه پیشنهاد کردند. Lili Chen و همکارانش در سال ۲۰۱۰ در مقاله خود، روشی تحت عنوان بافر ایمنی فازی^(۵) (FSB^۵) را مطرح کردند که در آن، نیازهای مدیر پروژه و مشتریان (کارفرما و سهامداران) بصورت همزمان در نظر گرفته شده بود. Zhang و همکارانش در سال ۲۰۱۱ در مقاله خود، نخست عدم قطعیت های موجود در محیط پروژه را شناسایی کرده سپس آنها را با استفاده از روش ارزیابی تفسیری فازی، ارزیابی نموده و در نهایت رویکرد جدیدی در برآورد اندازه بافر ارائه کردند.

همان گونه که ملاحظه نمودید، هر یک از مقالات فوق از زاویه خاصی، به کاربرد منطق فازی در روش زنجیره بحرانی پرداخته اند. باتوجه به آنکه از یک طرف، رویکرد گلدردت در بکارگیری روش زنجیره بحرانی، مقابله با عدم قطعیت های موجود در پروژه بوده و از طرف دیگر بکارگیری منطق فازی در برنامه ریزی و کنترل پروژه نیز ماهیتاً بر همین هدف استوار است، ازاینرو این مقاله در صدد تلفیق دو رویکرد مزبور و تجمیع آنها در مدلی کمی برای برآورد اندازه بافر پروژه است. در ارائه این مدل سعی بر آن است تا در بین پارامترها و متغیرهایی که بر اندازه بافر پروژه موثر هستند، مهمترین و اثرگذارترین آنها انتخاب شود که البته این موضوع به نوبه خود به کاربردی شدن مدل کمک می‌کند. چراکه در برخی از

آورده شده اند، شناسایی شده و بر اساس آن، مدلی جامع و کاربردی برای برآورد اندازه بافر پروژه استخراج گردد.

در این مدل، فرض های زیر حاکم است:

- مدت زمان انجام فعالیت های شبکه، غیرقطعی فرض شده و در قالب اعداد فازی دوزنقه ای بیان می شود.
- فعالیتی که آغاز شود بدون وقفه تا زمان تکمیل ادامه می یابد.
- در این مدل تمرکز بر بافر پروژه بوده و برآورد اندازه بافرهای تغذیه و منبع مدنظر نیست.
- برای منابع از نوع مواد و مصالح^{۱۱} محدودیتی از نظر دسترسی وجود ندارد.
- برای منابع از نوع نیروی انسانی^{۱۱} و ماشین آلات و تجهیزات^{۱۲} با محدودیت دسترسی مواجه هستیم.

هرولن و لئوس^{۱۳} (۲۰۰۱) در مقاله خود اظهار داشتند که برنامه زمان بندی مبنای بهتر، عملکرد کلی پروژه را بهبود می بخشد. لذا مقاله حاضر نیز در پی آن است تا اولاً با استفاده از منطق فازی، تخمین صحیح تری از مدت زمان انجام فعالیت های پروژه (که از ورودی های مدل پیشنهادی نیز محسوب می شود) داشته باشد و ثانیاً ضمن در نظر گرفتن متغیرهای تاثیرگذار بر اندازه بافر پروژه، از طولانی یا کوتاه شدن بیش از حد بافر پروژه در اثر استفاده از روش های گلدرد (C&PM) و نیوبلد^{۱۴} (RSEM) جلوگیری نماید تا بواسطه آن مدت زمان برنامه مبنای پروژه نیز مقدار معقولی حاصل شود. لازم به ذکر است که پارامترها و نمادهای این مدل در قسمت پیوست مقاله آورده شده است. مدل پیشنهادی از چهار گام اصلی به شکل زیر تشکیل شده است.

$$A_{\alpha} = \{x \in X \mid \mu_{\tilde{A}}(x) \geq \alpha\}, \alpha \in [0, 1] \quad (1)$$

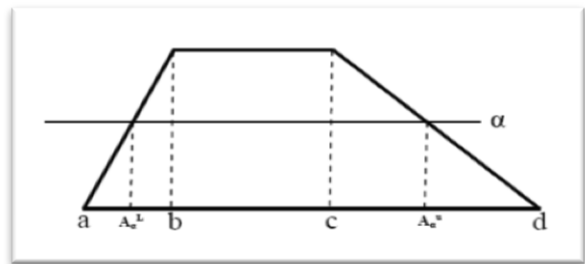
عدد فازی دوزنقه ای

اگر $\tilde{A} = (a, b, c, d)$ یک عدد فازی دوزنقه ای باشد آنگاه برش در سطح α از روابط زیر بدست می آید:

$$A_{\alpha}^L = (b - a) \alpha + a \quad (2)$$

$$A_{\alpha}^U = d - (d - c) \alpha \quad (3)$$

شکل زیر برش در سطح α را نشان می دهد.



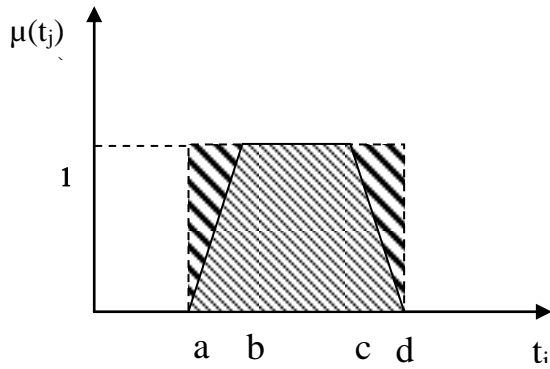
شکل ۱. برش در سطح α

۲. مدل پیشنهادی

پیش از تشریح مدل پیشنهادی لازم است به بیان فرض ها، پارامترها و نمادها، و اهداف این مدل پرداخت. همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، کاستی های موجود در روش های قبلی در برآورد اندازه بافر پروژه، ما را برآن داشت تا با توجه به مدل های پیشنهادی که اخیراً پژوهشگران در زمینه کاربرد منطق فازی در تعیین اندازه بافرها ارائه نموده اند به ارائه مدلی کمی پردازیم. در این مدل سعی شده است حتی المقدور پارامترهایی که بر اندازه بافرها موثرترند و در مقالات و پژوهش های گذشته بصورت پراکنده



شکل ۲. گام های پیاده سازی مدل کمی پیشنهادی



شکل ۴. محاسبه میزان فازی بودن مدت زمان فعالیت از دیدگاه مدیر

متغیر D_j نسبت فاصله زمان شروع فعالیت از زمان آغاز پروژه به مدت زمان کل پروژه را نشان می‌دهد. بطور کلی هرچه از آغاز پروژه جلوتر می‌رویم، امکان اینکه فعالیت‌های ابتدایی پروژه به موقع شروع و پایان نیابند یا مدت زمان انجام آنها طول بکشد، بیشتر خواهد بود. لذا فعالیت‌های موجود در اواسط و اواخر پروژه که متأثر از این فعالیت‌ها بوده نیز به تاخیر خواهند افتاد. از طرفی هم باتوجه به روابط پیشنیازی بین فعالیت‌ها، امکان اینکه فعالیت پیش‌نیازی به تاخیر افتاده و این موضوع منجر به تاخیر در فعالیت مورد بررسی شود نیز بیشتر خواهد شد. از اینرو باید زمان ایمنی بیشتری برای آن فعالیت در نظر گرفت چراکه مدیر (خبره) هنگام برآورد مدت زمان انجام پروژه، ضمن در نظر داشتن این متغیر، محافظه کارانه تر عمل کرده و زمان بیشتری به عنوان زمان ایمنی برای فعالیت‌های پروژه در نظر می‌گیرد. بنابراین متغیر D_j با میزان ریسک پذیر بودن مدیر رابطه عکس دارد.

$$D_j = ES_j / T \quad (6)$$

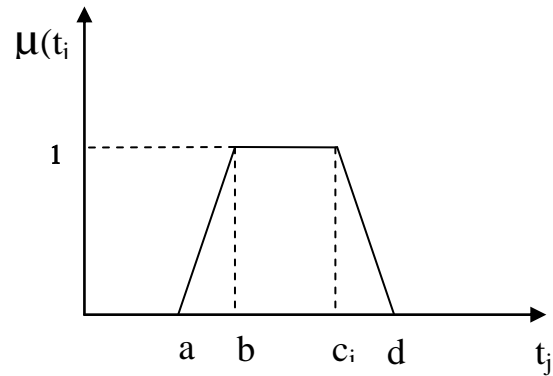
چنانچه β بیانگر وزن (میزان اهمیت) هریک از متغیرها فوق الذکر از نقطه نظر مدیر باشد، در این صورت رابطه زیر سطح ریسک‌پذیری مدیر را نشان می‌دهد.

$$1 - \alpha = (1 - \beta)F_j + \beta D_j ; \quad 0 \leq \beta \leq 1 \quad (7)$$

در رابطه فوق مقدار $1 - \alpha$ بیانگر میزان عدم اطمینان مدیر (خبره) نسبت به مدت زمان برآوردی برای فعالیت‌ها است. هرچه مقدار $1 - \alpha$ بیشتر باشد عدم اطمینان مدیر از زمان فعالیت بیشتر بوده و سطح ریسک‌پذیری مدیر کمتر می‌باشد. با تعیین متغیرهای F_j و D_j ، مقدار $1 - \alpha$ که سطح ریسک‌پذیری مدیر را نشان می‌دهد، بدست آمده و بدین ترتیب سطح برش α از این رابطه استخراج می‌گردد. با اعمال برش در سطح α بر زمانهای فازی هریک از فعالیت‌ها، مقادیر حد پایین و بالا برای زمانها بدست آید:

گام ۱. برآورد مدت زمان انجام فعالیت‌ها با استفاده از اعداد فازی ذوزنقه‌ای

فرض کنید J بیانگر شماره فعالیت و $t_j = (a_j, b_j, c_j, d_j)$ تخمین چهار نقطه‌ای از مدت زمان انجام فعالیت‌های پروژه باشد. در این صورت تابع عضویت مدت زمان انجام فعالیت‌ها یعنی $\mu(t_j)$ به قرار ذیل خواهد بود:



شکل ۵. وضعیت تابع عضویت مدت زمان انجام فعالیت‌های پروژه

$$\mu(t_j) = \begin{cases} (t_j - a_j) / (b_j - a_j) & t_j \in [a_j, b_j) \\ 1 & t_j \in [b_j, c_j) \\ (d_j - t_j) / (d_j - c_j) & t_j \in [c_j, d_j) \end{cases} \quad (4)$$

لازم به ذکر که داده‌های جمع‌آوری شده در این گام، یکی از ورودی‌های مدل پیشنهادی در تعیین زمان ایمنی اولیه فعالیت‌ها می‌باشد.

گام ۲. محاسبه سطح ریسک‌پذیری مدیر در تعیین اندازه بافر پروژه و استخراج زمان ایمنی اولیه فعالیت‌ها

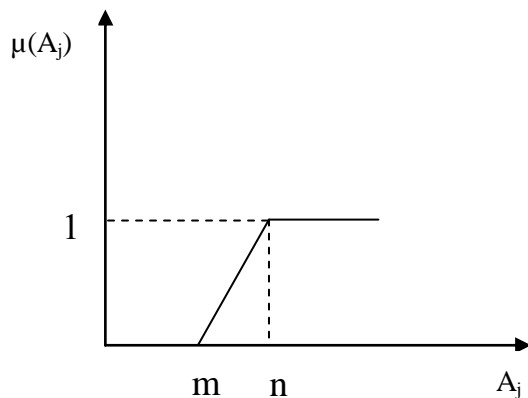
برای محاسبه سطح ریسک‌پذیری مدیر در برآورد مدت زمان انجام هر فعالیت، از دو متغیر F_j و D_j استفاده می‌کنیم. متغیر F_j بیانگر میزان فازی بودن زمان فعالیت است به عبارت دیگر مقدار متغیر F_j میزان اطمینان مدیر (خبره) از مدت زمان برآوردی فعالیت را نشان می‌دهد. هرچه مقدار این متغیر بزرگتر باشد، نشان می‌دهد که عدم اطمینان مدیر در تخمین مدت زمان فعالیت، بیشتر بوده است.

$$F_j = 1 - ((\int_a^{b_j} \frac{x-a}{b-a} dx) + (\int_b^c dx) + (\int_c^d \frac{d-x}{d-c} dx)) / (d-a) \quad (5) \\ = (b_j + d_j - a_j - c_j) / 2(d_j - a_j)$$

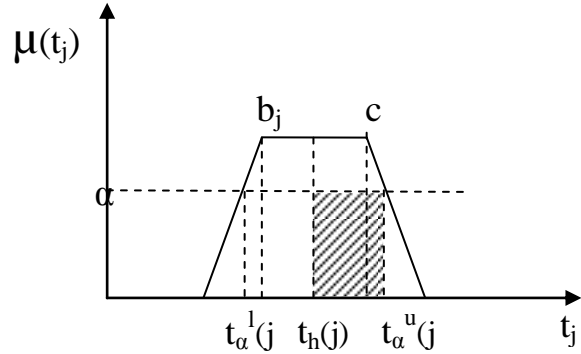
کمبود منبع یا دیررسیدن منبع دچار تاخیر شود بیشتر شده و از اینرو نیازمند زمان ایمنی بیشتری خواهیم بود. حال برای بررسی میزان فشردگی منبع و تاثیر آن بر اندازه بافرهای تغذیه و پروژه از تابع عضویت $\mu(A_j)$ بصورت زیر استفاده می‌نماییم:

$$\mu(A_j) = \begin{cases} 0 & 0 \leq A_j \leq m \\ (m - A_j)/(m - n) & m \leq A_j \leq n \\ 1 & A_j \geq n \end{cases} \quad (12)$$

با توجه به رابطه فوق چنانچه $A_j \leq m$ باشد در این صورت میزان منابع انسانی و تجهیزات در دسترس در مقایسه با مقدار مورد نیاز برای فعالیت j قابل توجه بوده و با فشردگی منبع مواجه نیستیم یا به عبارت دیگر امکان به تاخیر افتادن فعالیت بدلیل فشردگی منبع صفر خواهد بود. در وضعیتی که $m \leq A_j \leq n$ در این صورت فشردگی منبع تا حدی وجود دارد و امکان به تاخیر افتادن فعالیت j متغیر خواهد بود. در این وضعیت لازم است تدابیری برای کاهش امکان به تاخیر افتادن فعالیت j اتخاذ گردد که از آن جمله می‌توان به جلوگیری از پدیده چندکارگی^{۱۵} اشاره کرد. چنانچه $A_j \geq n$ باشد در این صورت فعالیت مربوطه با فشردگی منبع مواجه شده و کمترین انعطاف پذیری لازم برای مقابله با آن، بدون افزایش زمان، وجود خواهد داشت. در این وضعیت امکان به تاخیر افتادن فعالیت، بالا خواهد بود. در روابط فوق مقادیر m و n که بیانگر درجه عضویت حداکثر نسبت منابع در هر یک از فعالیت‌ها می‌باشد، از سوی مدیر (خبره) با درک شرایط موجود (بصورت ذهنی^{۱۶}) تعیین می‌شوند. Qian Shi و Ting Gong در سال ۲۰۰۹ اظهار داشتند که تاثیر فشردگی منبع در تعیین اندازه بافر در بین فاکتورها و موارد دیگر از اهمیت بسیار بالاتری برخوردار است.



شکل ۶. تابع عضویت میزان فشردگی منبع



شکل ۵. برش در سطح α بر زمان های فازی فعالیت ها

$$t_\alpha(j) = [t_\alpha^l(j), t_\alpha^u(j)] \begin{cases} t_\alpha^l(j) = b_j - (b_j - a_j)(1 - \alpha) \\ t_\alpha^u(j) = c_j + (d_j - c_j)(1 - \alpha) \end{cases} \quad (8)$$

حال با توجه به مقادیری که از برش در سطح α بدست آمد، به محاسبه ی مقدار زمان ایمنی اولیه می‌پردازیم:

$$St_j = t_\alpha^u(j) - t_h(j) \quad (9)$$

$$t_h(j) = (c_j + b_j)/2, \quad b_j \leq t_h(j) \leq c_j \quad (10)$$

$t_h(j)$ یکی از امکان پذیرترین زمانها برای فعالیت j است که در این مقاله حد وسط b و c برای آن منظور می‌شود.

گام ۳. بررسی و محاسبه تاثیر فشردگی منبع بر اندازه بافر پروژه

اصولا هرچه وضعیت دسترسی یک فعالیت به منبع مورد نیازش کمتر باشد امکان طول کشیدن زمان انجام آن فعالیت بیشتر خواهد شد لذا امکان نیازمندی این فعالیت به زمان ایمنی، بیشتر خواهد بود. بنابراین ارتباط مستقیمی بین اندازه بافر و فشردگی منبع وجود دارد. بطور کلی انجام فعالیت های یک پروژه نیاز به ۳ دسته منبع دارد: ۱- نیروی انسانی ۲- ماشین آلات و تجهیزات ۳- مواد و مصالح. همان گونه که اظهار شد، در این مقاله فرض بر این است که برای منابع از نوع مواد و مصالح، محدودیتی وجود نداشته باشد. چنانچه A_j معرف حداکثر نسبت منبع مورد نیاز به منبع در دسترس در طول زمان انجام فعالیت j باشد، در این صورت خواهیم داشت:

$$A_j = \max(\max(r_{L(j)} / R_L(j)), \max(r_{NL(j)} / R_{NL(j)})) \quad (11)$$

همانطور که ملاحظه می‌نمایید در رابطه فوق ملاک عمل، بررسی نسبت منبع انسانی و نسبت منبع غیرانسانی (تجهیزاتی) مورد نیاز و در دسترس برای فعالیت‌ها است. بطور کلی چنانچه در طول انجام پروژه، نسبت منابع مورد نیاز از منابع در دسترس بیشتر و یا بسیار به هم نزدیک باشند، امکان اینکه فعالیت مربوطه به دلیل

به واسطه آنکه فعالیت های پروژه بصورت مستقل در نظر گرفته می شوند، اندازه بافر حاصله اغلب کوچکتر از حد نیاز برآورد شده و بدین ترتیب از میزان حفاظت از پروژه در برابر تاخیرها کاسته شده است [۵-۱۷]. نتایج بدست آمده از بکارگیری روش نیوبلد در پروژه های واقعی در مقایسه با روش گلدرد مناسب تر بوده اما کاستی هایی در آن وجود دارد که در این مقاله درصدد آن هستیم تا با مبنا قرار دادن این روش البته به شیوه فازی و لحاظ نمودن پارامترها و متغیرهای فوق الذکر آن را تکمیل تر نموده و از طرفی هم بتوان از طولانی شدن بی مورد پروژه به واسطه تخمین بزرگتر از حد نیاز بافر پروژه جلوگیری نمود.

همانطور که عنوان شد، متغیرهای مطروحه در این مقاله ارتباط مستقیمی با اندازه بافرها دارند. حاصل ضرب این سه متغیر، اندازه زمان ایمنی اصلاح شده را حاصل خواهد نمود. Zhen Yu Zhao و همکارانش در مقاله خود در سال ۲۰۱۰ اظهار داشتند که ریشه دوم (جذر) مجموع مربعات زمان های ایمنی از بزرگ شدن و کوچک شدن بیش از اندازه بافر پروژه جلوگیری می نماید. این نقطه نظر که برگرفته از روش پیشنهادی نیوبلد می باشد، در این مقاله نیز برای کسب نتایج مطلوب استفاده می شود. از اینرو رابطه استخراجی پیشنهادی برای تعیین اندازه بافر پروژه به قرار ذیل خواهد بود:

$$PB = \sqrt{\sum_{j=1}^n (St_j * (1 + \mu(A_j))) * C_{Cj}}^2 \quad (16)$$

در رابطه فوق St_j معادل SD_i در رابطه نیوبلد می باشد. با این تفاوت که در این روش با رویکردی فازی و با دخالت دادن دو متغیر F_j و D_j مقدار ریسک پذیری مدیر، و با کمک آن مقدار زمان ایمنی اولیه استخراج گردید. در این رابطه ملاحظه می نمایید که هرچه نسبت دسترسی به منابع بیشتر باشد امکان اینکه فعالیت به دلیل کمبود منبع به تاخیر بیافتد کمتر بوده و اندازه بافر بزرگتری نیاز نخواهیم داشت. به عبارت دیگر به ازای مقادیر کمتر از m میزان فشردگی منبع برابر با یک در نظر گرفته خواهد شد و به ازای مقادیر بیشتر از m اندازه بافر بزرگتر از یک و برحسب ضریبی طبق رابطه ۱۲ بدست خواهد آمد. رابطه ۱۶ از نقطه نظر پیچیدگی شبکه نیز ارتباط مستقیم بین بافر پروژه و پیچیدگی شبکه را نشان می دهد. بنابراین بطور کلی در این رابطه، متغیرهای فشردگی منبع و پیچیدگی شبکه، به عنوان ضریبی برای زمان ایمنی اولیه (که خود، متناسب با سطح ریسک مدیر (خبره) تعیین می شود) عمل می نمایند.

۳. نمونه عددی

در این مقاله، شبکه پروژه مطروحه در مقاله Zhang Min (2008) و Chen Rongqiu که متشکل از ۸ فعالیت است، ملاک کار قرار می گیرد. در شکل زیر این شبکه و روابط پیشنیازی فعالیت های آن را ملاحظه می نمایید.

گام ۴. بررسی و محاسبه میزان پیچیدگی شبکه براندازه بافر پروژه

اصولا هرچه فعالیتی از پروژه، دارای تعداد پیش نیازهای بیشتری باشد امکان آنکه یکی از پیش نیازها به تاخیر افتاده و منجر به تاخیر در فعالیت مورد مطالعه ما شود، بیشتر خواهد شد. این موضوع منجر می شود تا زمان ایمنی بزرگتری را برای فعالیت مربوطه در نظر بگیریم. دقت شود با توجه به اینکه در روش زنجیره بحرانی برای فعالیت های پیش نیاز یک فعالیت، شناوری وجود ندارد لذا تاخیر در فعالیت پیش نیاز منجر به تاخیر در فعالیت مورد مطالعه و در نهایت مصرف بافر خواهد شد. با توجه به آنکه این مقاله صرفا محاسبه اندازه بافر پروژه را در دستور کار خود قرار داده است از اینرو پیچیدگی شبکه از منظر فعالیت های بحرانی مورد محاسبه قرار می گیرد.

برای محاسبه پیچیدگی شبکه فعالیت های بحرانی از رابطه زیر استفاده می کنیم:

$$C_{Cj} = 1 + ((P_{Cj} - 1) / P_C) \quad (13)$$

با توجه به رابطه فوق، ملاحظه می کنیم که چنانچه تعداد فعالیت های پیش نیاز فعالیت بحرانی برابر با یک باشد در اینصورت میزان پیچیدگی شبکه برای روابط فوق برابر با یک خواهد بود. به همین ترتیب با افزایش تعداد روابط پیش نیازی، میزان پیچیدگی شبکه افزایش خواهد یافت.

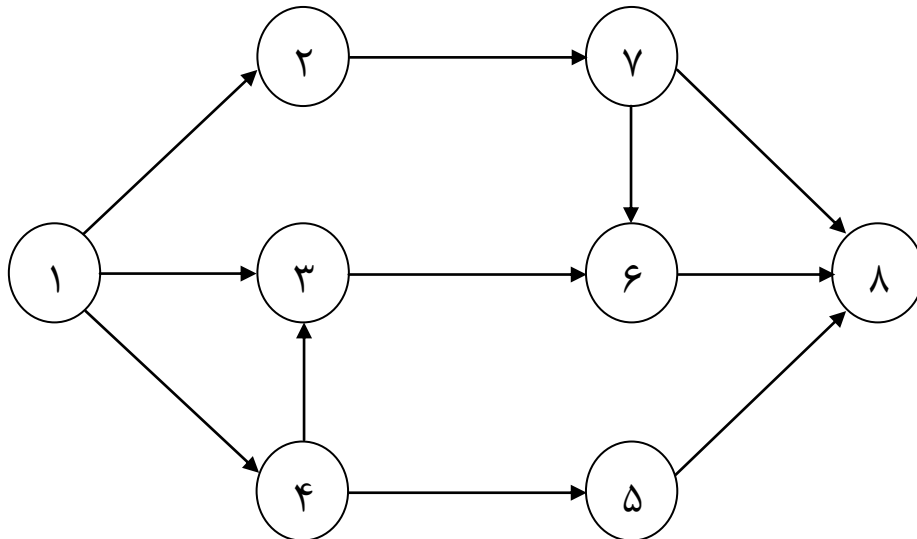
گام ۵. فرمول بندی و محاسبه اندازه بافر پروژه

نیوبلد در سال ۹۸ ادعا کرد، اختلاف میان میانگین زمان فعالیت و زمان بدست آمده از تخمین احتیاطی، معادل با دو برابر انحراف استاندارد فعالیتها می باشد و اندازه بافر از ریشه دوم مجموع انحراف استاندارد هر یک از فعالیتها بدست می آید. با توجه به این رویکرد، در رابطه پیشنهادی این مقاله، St_j بیانگر مطلب فوق با رویکرد فازی است. با توجه به رابطه ذیل که نیوبلد آن را برای محاسبه اندازه بافرها ارائه نمود، ملاحظه می کنیم که تاثیر هیچ یک از متغیرهای فوق الذکر در آنها دیده نشده است.

$$SD_I = \frac{(S_i - A_i)}{2} \quad (14)$$

$$\times \sqrt{\left(\frac{S_1 - A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2 - A_2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{S_n - A_n}{2}\right)^2} \quad (15)$$

اصولا عدم توجه به عواملی چون سطح ریسک پذیری مدیر (خبره)، سطح دسترسی به منابع و ویژگی فنی شبکه از نظر پیچیدگی، موجب شده است، عددی که برای اندازه بافرها استخراج می شود عدد صحیح و مناسبی نباشد. بطور کلی طبق گزارشاتی که از بکارگیری روش پیشنهادی گلدرد در تعیین اندازه بافرها در پروژه های واقعی، بدست آمده دیده شده است که روش پیشنهادی گلدرد (یعنی C&PM) اندازه بافر را بسیار بزرگتر از حد نیاز برآورد کرده است و در روش پیشنهادی نیوبلد (یعنی RSEM) نیز



شکل ۷. شبکه فعالیت های پروژه فرضی

جدول ۲. مدت زمان فعالیت های پروژه بر حسب اعداد فازی

دوزنقه ای				
a	b	c	d	فعالیت‌ها
۲	۴	۶	۸	۱
۱	۳	۷	۱۰	۲
۱۲	۱۶	۲۰	۳۰	۳
۳	۴	۵	۶	۴
۸	۱۰	۱۲	۱۶	۵
۶	۸	۱۰	۱۲	۶
۱۰	۲۰	۳۰	۱۰	۷
۲	۴	۶	۸	۸

گام ۲. از آنجاکه مدت زمان پروژه براساس شبکه فعالیت‌ها برابر با $T=49$ روز می‌باشد و همچنین با فرض اینکه متغیرهای F_j و D_j از نقطه نظر مدیر، دارای وزن یکسان باشند ($\beta=0.5$)، محاسبات مربوط به زمان ایمنی اولیه هر یک از فعالیت‌های فوق بر حسب سطح ریسک مدیر (خبره) به صورت جدول ذیل خواهد بود.

گام ۳. در تعیین میزان فشردگی منابع، پارامترهای m و n آستانه‌ی تحمل مدیر (خبره) را در تعیین حدود پایین و بالای نسبت منبع مورد نیاز به منبع در دسترس، نشان می‌دهند. در این مثال فرض بر این است که $m=0.2$ و $n=0.9$ باشد. جدول زیر محاسبات مربوط به میزان فشردگی منبع در طول زمان انجام هر یک از فعالیت‌های پروژه را نشان می‌دهد مفروض بر آنکه حداکثر منبع کاری در دسترس ۵ نفر و حداکثر منبع غیرکاری در دسترس ۳ واحد باشد. دقت شود که در این جدول، برای تعیین داده‌های مربوط به ستون‌های حداکثر منبع مورد نیاز فعالیت‌ها، می‌توان از نمای گراف نرم‌افزار MSP^{۱۷} استفاده کرد.

تعداد منبع مورد نیاز برای هر یک از فعالیت‌های فوق، که به دو دسته منبع کاری و غیرکاری تقسیم شده‌اند را در جدول ذیل ملاحظه می‌نمایید.

جدول ۱. تعداد منابع مورد نیاز فعالیت های پروژه

فعالیت‌ها	تعداد منبع مورد نیاز	
	منبع کاری	منبع غیرکاری
۱	۲	۱
۲	۳	۰
۳	۲	۱
۴	۳	۱
۵	۱	۱
۶	۱	۲
۷	۱	۱
۸	۰	۲

با بررسی‌های اولیه بر روی شبکه فوق، مشخص شد که فعالیت‌های ۱-۲-۶-۷-۸، فعالیت‌های بحرانی بوده و زنجیره بحرانی شبکه را تشکیل می‌دهند چرا که طولانی‌ترین مسیر را براساس روابط پیش‌نیازی و وابستگی منبع ایجاد می‌کنند. در ادامه، گام‌های مدل کمی پیشنهادی در نمونه عددی به کار گرفته می‌شود.

گام ۱. در این گام از مدیر (خبره) می‌خواهیم تا مدت زمان انجام هر یک از فعالیت‌های پروژه را براساس اعداد فازی دوزنقه‌ای برآورد نماید. در این مثال، از زمان‌های موجود در مقاله مزبور استفاده می‌کنیم.

جدول ۳. محاسبات مربوط به زمان ایمنی اولیه فعالیت های پروژه برحسب سطح ریسک پذیری مدیر

فعالیت‌ها	ES(j)	D _j	F _j	α _j	t _a ^l (j)	t _a ^u (j)	t _n (j)	St _j
1	0	0	0.333333333	0.833333	3.666667	6.333333	5	1.333333
2	5	0.102041	0.277777778	0.810091	2.620181	7.569728	5	2.569728
3	17	0.346939	0.388888889	0.632086	14.52834	23.67914	18	5.679138
4	12	0.244898	0.333333333	0.710884	3.710884	5.289116	4.5	0.789116
5	33	0.673469	0.375	0.475765	8.951531	14.09694	11	3.096939
6	35	0.714286	0.333333333	0.47619	6.952381	11.04762	9	2.047619
7	10	0.204082	0.333333333	0.731293	17.31293	32.68707	25	7.687075
8	44	0.897959	0.333333333	0.384354	2.768707	7.231293	5	2.231293

جدول ۴. محاسبات مربوط به میزان فشردگی منبع در طول زمان اجرای فعالیت های پروژه

فعالیت‌ها	وضعیت حداکثر منابع مورد نیازها در				نسبت	μ(A _j)	A _j	(m- A _j)/(m-n)
	نظر داشتن تداخل منابع		نسبت					
	labor	nonlabor	labor	nonlabor				
1	2	2	0.5	0.6667	0.6668	0.6667	0.6668	
2	3	0	0.75	0	0.7858	0.75	0.7858	
3	4	3	1	1	1	1	1.1429	
4	4	2	1	0.6667	1	1	1.1429	
5	4	3	1	1	1	1	1.1429	
6	2	3	0.5	1	1	1	1.1429	
7	4	3	1	1	1	1	1.1429	
8	0	2	0	0.6667	0.6668	0.6667	0.6668	

جدول ۵. محاسبات مربوط به میزان پیچیدگی شبکه پروژه فرضی

بررسی پیچیدگی شبکه			فعالیت‌های بحرانی
C _{Cj}	P _C	P _{Cj}	
0.8	5	0	1
1	5	1	2
1	5	1	6
1	5	1	7
1.4	5	3	8

گام ۴. برای بررسی میزان پیچیدگی شبکه از منظر فعالیت های بحرانی کفایت با مراجعه به شبکه پروژه، تعداد روابط پیش نیاز هریک از این فعالیت‌ها را تعیین کرد. جدول زیر محاسبات مربوط به پیچیدگی شبکه را نشان می‌دهد.

گام ۵. با محاسباتی که در ۴ گام فوق صورت پذیرفت مقدار متغیرهای St_j، μ(A_j) و C_{Cj} برای تک تک فعالیت های بحرانی این پروژه تعیین گردید. حال با در دست داشتن مقادیر فوق و با استفاده از رابطه ۱۶ به برآورد اندازه بافر پروژه می‌پردازیم. جدول زیر جزئیات مربوط به محاسبه اندازه بافر پروژه را نشان می‌دهد.

جدول ۶. محاسبات مربوط به اندازه بافر پروژه طبق مدل کمی پیشنهادی

فعالیت‌های بحرانی	St _j	(1+μ(A _j))	C _{Cj}	(St _j * (1+μ(A _j))*C _{Cj})^2
1	1.333333	1.666667	0.8	3.160493827
2	2.569728	1.785714	1	21.05708366
6	2.047619	2	1	16.77097506
7	7.687075	2	1	236.3644778
8	2.231293	1.666667	1.4	27.10607206

بافر پروژه=17.448 روز

پیشنهادی را ملاحظه می‌نمایید. لازم به ذکر که در دو روش C&PM و RSEM، داده های فازی جمع آوری شده برای مدت زمان فعالیت‌ها ملاک عمل قرار گرفته است. بعلاوه در روش RSEM نیوبلد، زمان ایمنی فعالیت‌ها با سطح اطمینان ۹۰٪ بدست آمده است.

همان طور که ملاحظه می‌نمایید، اندازه بافر پروژه با استفاده از مدل کمی پیشنهادی در این مثال تقریباً ۱۷.۵ روز بدست آمد لذا بر این اساس، مدت زمان تکمیل پروژه تقریباً برابر با ۶۶ روز خواهد شد. در جدول زیر جزئیات اطلاعات بدست آمده از زمانبندی پروژه مزبور، با استفاده از روش C&PM گلدرت، RSEM نیوبلد و روش

جدول ۷. مقایسه اندازه بافر پروژه و مدت زمان تکمیل پروژه در روشهای RSEM، C&PM و روش پیشنهادی

مدت زمان میانگین در روش پیشنهادی		مدت زمان میانگین و حد بالایی در روش RSEM		مدت زمان میانگین در روش C&PM		فعالیت بحرانی
$t_a^u(j)$	$z_j(t_h)$	$S_j(\%90)$	$A_j(\%50)$	$A_j(\%50)$		
6.333333	5	6.7	5	5		1
7.569728	5	8	5.25	5.25		2
11.04762	9	10.7	9	9		6
32.68707	25	33.7	25	25		7
7.231293	5	6.7	5	5		8
17.448		9.59		24.625		اندازه بافر پروژه
66.448		58.84		۳۷۵.۵۷		مدت زمان پروژه

را در تعیین اندازه بافر پروژه در نظر می‌گرفتند. سپس مدل پیشنهادی بصورت گام به گام در یک مثال عددی پیاده شد و نتایج حاصل از آن با روش های شناخته شده C&PM گلدرت و RSEM نیوبلد مقایسه گردید. نتایج حاصل از بکارگیری مدل پیشنهادی در نمونه عددی نشان می‌دهد که با استفاده از این مدل، اندازه بافر پروژه، عددی بین مقدار حاصل از روش های C&PM و RSEM بدست می‌آید. بنابراین استفاده از مدل پیشنهادی، ضعف‌های موجود در این دو روش شناخته شده را مرتفع می‌سازد و به واسطه آن، مدت زمان برنامه مبنای پروژه نیز عدد معقول تری بدست خواهد آمد. این مدل، برخلاف روش C&PM گلدرت که بافر پروژه را صرفاً از نصف مجموع مدت زمان انجام فعالیت‌های روی زنجیره بحرانی تعیین می‌کرد، با در نظر گرفتن متغیرهای مهم و اثر گذار، به بررسی دقیق تر اندازه بافر پروژه پرداخت. از جمله مهمترین مزیت این مدل می‌توان به انعطاف پذیری آن اشاره نمود چراکه با تغییر سطح ریسک پذیری مدیر $(1-\alpha)$ ، وزن تخصیصی به هریک از متغیرهای تعیین کننده مدت زمان ایمنی اولیه (β) و آستانه تحمل بالا و پایین مدیر در زمینه میزان فشردگی منبع (m) و (n) ، اندازه بافر پروژه قابل تغییر و تعدیل خواهد بود. در روش پیشنهادی، برخلاف روش RSEM نیوبلد که در آن صرفاً یک سطح اطمینان برای تک فعالیت‌ها بصورت S_j تعیین می‌شد، سطح ریسک پذیری مدیر می‌تواند برای هریک از فعالیت‌ها در مقایسه با دیگری متفاوت باشد. بعلاوه، استفاده از زمانهای فازی برای فعالیت های پروژه، مشکلات موجود در روش‌های احتمالی، نظیر روش نیوبلد، را نیز مرتفع می‌ساخت. لازم به ذکر است که

همان گونه که در جدول فوق ملاحظه می‌نمایید، مدت زمان برنامه ای پروژه ضمن استفاده از روش C&PM گلدرت تقریباً برابر با 75 روز، با استفاده از روش RSEM نیوبلد برابر با 59 روز و بر اساس روش پیشنهادی برابر با 66 روز بدست آمد.

۴. نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

بطور کلی طولانی شدن زمان پروژه، تاثیر بسیار زیادی بر عدم سودآوری آن دارد. با کوتاه شدن دوره‌های عمر محصولات، تسریع در زمان اجرای پروژه، از اولویت شرکت‌هایی است که در کلاس جهانی فعالیت می‌کنند [۱]. روش های زمانبندی مرسوم مانند PERT^{۱۹} و CPM^{۱۸}، به دنبال تحویل زودتر از تعهد نیستند، آنها فقط مراقبتند تا پروژه از زمانبندی متعهد شده، دیرتر به اتمام نرسد [۲]. اما در روش زنجیره بحرانی تلاش بر اتمام پروژه در زمان کوتاه‌تر از زمان پیش بینی شده می‌باشد. در این مقاله ضمن بررسی کاربرد منطق فازی در روش زنجیره بحرانی سعی بر آن بود که با توجه به رسالت مشترکی که هریک از این دو رویکرد در مقابله با عدم قطعیت دارند، از تلفیق آنها بهره لازم را در تحقق این هدف برده و پروژه را در زمان کوتاه تری به اتمام رساند. لذا در این مقاله از منطق فازی در برآورد مدت زمان انجام فعالیت های پروژه و تعیین اندازه بافر پروژه که قلب روش زنجیره بحرانی محسوب می‌شود و به نوبه خود سهم بسزایی در مقابله با عدم قطعیت دارد، استفاده گردید. بدین صورت که برای برآورد مدت زمان انجام فعالیت های پروژه از اعداد فازی دوزنقه ای استفاده شد و برای تعیین اندازه بافر پروژه، مدلی کمی پیشنهاد شد که سه متغیر سطح ریسک پذیری مدیر، میزان فشردگی منبع و پیچیدگی شبکه

پیاده سازی مدل پیشنهادی در پروژه های واقعی با تعداد فعالیت های بالا نتایج بهتر و معنی دارتری خواهد داشت. با توجه به آنکه اصولاً علم برنامه ریزی پروژه بدلیل وجود محدودیت در منابع شکل گرفته است و مدیریت صحیح منابع می تواند نقش بسزایی در اجرای موفقیت آمیز پروژه داشته باشد لذا پیشنهاد می شود برای تکمیل مقاله حاضر، مدلی برای تعیین اندازه بافر منبع استخراج گردد. بعلاوه در این مقاله صرفاً به بعد زمانی پروژه پرداخته شد، در پژوهش های آتی می توان تاثیر ساختار هزینه ای پروژه ها را نیز در نحوه تعیین اندازه بافرها مدنظر قرار داد. همچنین تمامی موارد فوق می تواند به حالت چند پروژه ای (پرتفولیوی پروژه) نیز تعمیم یابند.

پیوست

پارامترها و نمادهای مورد استفاده در مدل کمی پیشنهادی

$j=1,2,\dots,n$ شماره فعالیت

$t_j=(a_j,b_j,c_j,d_j)$ مدت زمان برآورد شده از فعالیت j بر مبنای عدد فازی ذوزنقه ای

F_j میزان فازی بودن زمان فعالیت j

D_j نسبت فاصله ی زمان شروع فعالیت j از زمان آغاز پروژه به مدت زمان کل پروژه

T مدت زمان کل پروژه

β_j وزن (میزان اهمیت) متغیرهای D و F از نقطه نظر مدیریت

$t_{\alpha}(j)$ مدت زمان فعالیت به ازای برش در سطح α

$t_{\alpha}^L(j)$ مقدار حد پایین زمان انجام فعالیت به ازای برش در سطح α

$t_{\alpha}^U(j)$ مقدار حد بالای زمان انجام فعالیت به ازای برش در سطح α

$t_{R_j}(j)$ مقدار میانه برای تخمین زمان انجام فعالیت j ام

St_j مقدار زمان ایمنی زمان برای انجام فعالیت j ام

$t_{1L}(j)$ مقدار منبع مورد نیاز از نوع نیروی انسانی برای انجام فعالیت j در طول مدت زمان انجام فعالیت

$t_{1NL}(j)$ مقدار منبع مورد نیاز از نوع تجهیزات برای انجام فعالیت j در طول مدت زمان انجام فعالیت

$R_{1L}(j)$ مقدار منبع در دسترس از نیروی انسانی برای انجام فعالیت j در طول مدت زمان انجام فعالیت

$R_{1NL}(j)$ مقدار منبع در دسترس از نوع تجهیزات برای انجام فعالیت j در طول مدت زمان انجام فعالیت

A_j حداکثر نسبت میزان منبع مورد نیاز به منبع در دسترس فعالیت j

$\mu(A_j)$ تابع عضویت میزان فشردگی منبع مورد استفاده در فعالیت j

P_{C_j} تعداد کل روابط پیشنهادی فعالیت بحرانی j

P_C تعداد کل فعالیت های روی زنجیره بحرانی مربوط به فعالیت j

C_{C_j} میزان پیچیدگی شبکه مرتبط با فعالیت بحرانی j

PB اندازه بافر پروژه

پی نوشت

1. Cut and Paste Method
2. Root Square Error Method
3. Fuzziness
4. Distance
5. Fuzzy Safety Buffer
6. Cut & Paste Method
7. Root Square Error Method
8. Trapezoidal Fuzzy Numbers
9. α - Cut
10. Material
11. Labor
12. Non Labor (Machines)
13. Leus
14. Newbold
15. Multitasking
16. Subjective
17. Microsoft Project
18. Critical Path Method
19. Project Evaluation and Review Technique
20. Project Portfolio

منابع

- [۱] آشتیانی، ب؛ آریان نژاد، م. ب.؛ مقدم، ب. کاربرد انحراف معیار فعالیت ها برای تعیین اندازه بافرها در زنجیره بحرانی، سومین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، (۱۳۸۶).
- [۲] گلگون، ر. پیاده سازی مدیریت زنجیره بحرانی به منظور بهبود زمان و مدیریت عدم اطمینان در پروژه، مقاله ارائه شده در چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران، (۱۳۸۷).
- [۳] منصوریان، ف؛ ایرانمنش، س. ح؛ تابش، م. روشی جدید برای تعیین بافر تغذیه برای محیط های پروژه با ریسک بالا در روش زنجیره ی بحرانی، نشریه تخصصی مهندسی صنایع، (۱۳۸۸)، ۱۲(۱)، صص. ۸۳-۹۴.
- [۴] معصومی سندانی، مهدی. بکارگیری روش زنجیره بحرانی فازی برای زمان بندی پروژه ها با محدودیت منابع و شرایط عدم قطعیت (مطالعه موردی: نیروگاه سیکل ترکیبی یزد)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، (۱۳۸۹).
- [5] Goldratt EM. Critical Chain. Great Barrington: The North River Press Publishing Corporation, (1997).
- [6] Newbold RC. Project Management in the Fast Lane: Applying the Theory of Constraints, St, Lucie Press, New York, (1998).

- Engineering and Management, (2010), Vol. 5, pp. 1056-1060.
- [17] Zhang X, Nanfang C, Li B, Fei Z., Buffer sizing method with considering effect of various uncertainties based on fuzzy comprehensive evaluation method in critical chain scheduling, Journal of science and technology, (2011), Vol. 4, pp. 566-569.
- [7] Herroelen W., Roel L., On the merits and pitfalls of critical chain scheduling, Journal of Operations Management, (2001), Vol. 19, pp. 559-77.
- [8] Long LD, Ohsato A. Project schedule management using a fuzzy activity network considering resource and environmental factors, International Journal of Industrial Management, (2006), Vol. 11, No. 4, pp. 261-271.
- [9] Tukul, O. Walter, I. Rom, O., Sandra Eksioglu, D., An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling, European Journal of Operational Research, (2006), Vol. 172, pp. 401-416.
- [10] Chao Chu Chun. Buffer sizing and critical chain project management, Journal of Computer Integrated Manufacturing, (2008), Vol. 14, No. 5, pp. 1029-1035.
- [11] Long L. D. Ario O., Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty, International Journal of Project Management, (2008), Vol. 26, pp. 688-98.
- [12] Bevilacqua MFE, Ciarapica G., Critical chain and risk analysis applied to high-risk industry maintenance: A case study, International Journal of Project Management, (2009), Vol. 27, pp. 419-432.
- [13] Shi Q, Ting G., An improved project buffer sizing approach to critical chain management under resources constraints and fuzzy uncertainty, Journal of IEEE Computer Society, (2009), Vol. 5, pp. 486-490.
- [14] Yang L. Li S. Huang X. Peng T., A buffer sizing approach in critical chain scheduling with attributes dependent, Journal of Industrial Engineering and Management, (2009), Vol. 4, pp. 11-14.
- [15] Chen L, Feng L, Xiaoran S, Yaqin D, Hui W., Fuzzy-safety-buffer approach for project buffer sizing considering the requirements from project managers and customers, Journal of Industrial Engineering, (2010), Vol. 5, pp. 1-5.
- [16] Zhao Z. Y., Wei Y. Y., Jian Z., Application of innovative critical chain method for project planning and control under resource constraints and uncertainty, Journal of Construction