تحلیل جریان نقدینگی پروژه با زمان و هزینه خاکستری تحت شرایط عدم اطمینان

علی گودرزی
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد (نویسنده مسئول)
a.goudarzi@shahed.ac.ir

سید میثم موسوی
استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد
Sm.mousavi@shahed.ac.ir

چکیده

مقالات متعددی در دو دهه گذشته در زمینه برنامه‌ریزی و کنترل هزینه وجود دارد؛ لیکن در اکثر مقالات با محاسبات براساس اعداد قطعی و در تحقیقات جدیدتر با تعداد محدودتری با استفاده از منطق فازی است. آنچه مسلم است در ابتدای فرآیند برنامه‌ریزی و بودجه‌بندی اعداد و ارقام، قطعیت نداشته و همه اعداد و ارقام دارای عدم اطمینان هستند؛ بنابراین با توجه به ماهیت پروژه استفاده از اعداد دارای ماهیت عدم قطعیت برای فرآیند برنامه‌ریزی و کنترل هزینه مناسب‌تر است. لذا در این مقاله استفاده از زمان و هزینه خاکستری برای کنترل زمان‌بندی و جریان نقدینگی در دستور کار قرار دارد. همچنین جهت ارزیابی بهتر تبعات مرتبط با محاسبات عدم قطعیت خاکستری و به‌منظور حصول نتیجه مطلوب‌تر عدم قطعیت در محاسبات تا آخرین سطوح محاسبه حفظ گردیده است. توسعه مدل‌سازی شبکه‌ای در قالب زمان‌های خاکستری به فرم بازه‌ای از مدل ساده قطعی، جنبه جدید بودن پژوهش حاضر است. در پایان حل گام‌های مدل پیشنهادی پیاده‌سازی و مورد تحلیل قرار می گیرد.

کلیدواژه‌ها: مسیر بحرانی؛ زمانبندی؛ هزینه؛ اعداد خاکستری؛ مدیریت پروژه؛ عدم قطعیت

۱. مقدمه و بیان مسئله

از اوایل دهه اول قرن نوزدهم میلادی با نوآوری آقای هنری گانت در طراحی و استفاده از گانت چارت جهت نمایش ساده زمانبندی فعالیتهای پروژه ها و نمایش شبکه ای فعالیتها با استفاده از گره و کمان در نمایش روابط و مسیر فعالیتها مرسوم گردیده است که در این مقاله نیز فعالیتها به صورت شبکه ای از گره ها و روابط به صورت کمانهایی بین این گره ها نمایانگر فعالیت و روابط فعالیتها نشان داده خواهند شد زمانبندی فعالیتها به صورت اعداد خاکستری با حد پایین و حد بالا در محاسبات زودترین تاریخ شروع و زودترین تاریخ خاتمه و همچنین دیرترین زمان شروع و دیرترین زمان خاتمه هر فعالیت بعلاوه زمان شروع و پایان پروژه در نظر گرفته خواهند شد. مسئله اصلی شامل مدل‌سازی جریان نقدینگی با استفاده از سیستم شبکه‌ای با به‌کارگیری عدم قطعیت در زمان و هزینه خاکستری می‌باشد (کتاب مدیریت پروژه، ۲۰۰۴). از اهداف این پژوهش رسیدن به روشی مدون در زمان‌بندی و مدل‌سازی جریان نقدینگی به‌منظور بهتر زمان‌بندی به روش‌های سیستمی فرآیند گرا به‌منظور بالا بردن کارایی و اثربخشی می‌باشد (اتکینز، ۲۰۰۶)؛ به‌گونه‌ای که مدل‌سازی زمان‌بندی با در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود به‌جای قطعیت‌های تخمینی موجب کنترل بهتر زمان‌بندی پروژه‌ها و با ارائه مدل‌سازی جریان نقدینگی مرتبط با آن توأمان موجب جلوگیری از هدر رفتن منابع مالی چه در حالت جریان‌های نقدی منفی و چه جریان‌های نقدی مثبت که هر دو حالت مخرب هستند؛ خواهد گردید (جبوری و همکاران، ۲۰۱۲).

اهمیت و ضرورت این پژوهش با توجه سال‌ها تجربه محقق در زمینه مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌های نفت، گاز و پتروشیمی که ازجمله بزرگ‌ترین پروژه‌های کشور بوده‌اند و سهم به سزایی در افزایش درآمد سرانه ملی کشور عزیزمان ایران دارند. مشکلات بسیاری در مدیریت، برنامه‌ریزی، زمان‌بندی و به‌تبع آن جریان نقدینگی موردنیاز متأثر از این برنامه‌ها و تأخیرات حاصله محقق را بر آن داشته است تا در مسیر اصلاح این مهم هرچند کوچک گام بردارد (مجید سبزه پرور، ۱۳۹۰).

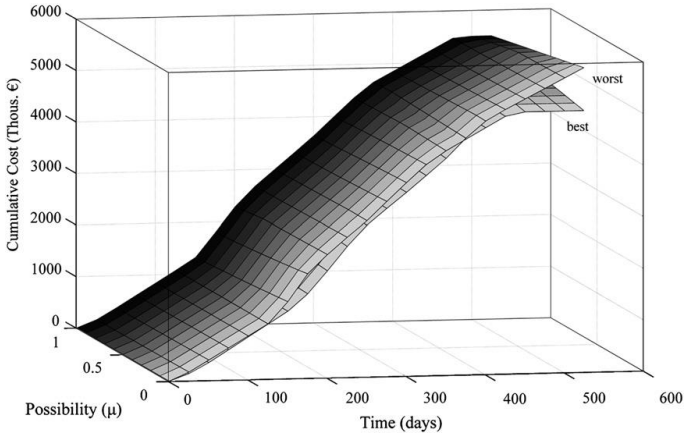
از جنبه نظری این پژوهش موجب تولید مدل‌سازی شبکه فعالیت‌ها بازمان و هزینه تحت شرایط عدم قطعیت و با منطق خاکستری و همچنین توسعه مدل‌سازی شبکه فعالیت‌ها در حالت تک پروژه ای خواهد بود. از دستاوردهای این پژوهش می‌توان به بهبود زمان‌بندی پروژه‌های ساخت در کشور با کنترل زمان‌بندی پروژه‌ها، مدیریت بهتر جریان نقدینگی با استفاده از هزینه دارای عدم قطعیت‌های اعداد خاکستری به فرم بازه‌ای، تولید مدل جدید شبکه فعالیت‌ها در غالب زمان‌های خاکستری به فرم بازه‌ای، افزایش راندمان و دستیابی به برنامه‌ریزی دینامیک در صورت تحقق هدف‌های اولیه و پایه تحقیق که مورداستفاده سازمان‌های پروژه محور مشتمل بر کارفرمایان، پیمانکاران، شرکت‌های مشاور، تیم‌های کنترل پروژه، تیم مدیریت پروژه، سازندگان، تأمین‌کنندگان تجهیزات و سرمایه‌گذاران در صنعت ساخت می‌تواند قرار گیرد (سپاسگزار، ۲۰۱۵).

نظر به اینکه کنترل زمان‌بندی و مدیریت بهتر جریان نقدینگی موردنظر می‌باشد، لذا روش‌های مدل‌سازی و سیر تکاملی به‌عنوان تعاریف ابتدایی مفاهیم مورداستفاده در این پژوهش بررسی و مطالعه گردیده‌اند. با توجه به اینکه مدل‌سازی زمان و هزینه خاکستری مدنظر می‌باشد، لذا رویکردهای مختلف مدل‌سازی و مفاهیم اولیه مرتبط بایستی موردبررسی و مطالعه گردد. در این خصوص رویکردهای زمان‌بندی، کنترل زمان‌بندی، محدودیت‌های زمان‌بندی، عوامل مؤثر بر تأخیرات زمان‌بندی و ملاحظات مدیریت پروژه شامل محدوده، هزینه، زمان، تدارکات، منابع، ریسک و رویکردهای مواجهه با عدم قطعیت ازنظر قطعی، احتمالی، فازی و خاکستری و جریان‌های نقدینگی طبقه‌بندی گردند (خسروشاهی و همکاران، ۲۰۰۷)، (توپال و همکاران، ۲۰۰۸)، (اودینیکا، ۲۰۱۴)، (چنگ و همکاران، ۲۰۱۰و ۲۰۱۱). در این فصل به مفاهیم اولیه پایه موردنیاز برای زمان‌بندی و جریان نقدینگی ارائه‌شده و به نسبت اهمیت اولویت‌بندی گردیده‌اند. سپس راهکارهای جلوگیری از بروز تأخیرات و مدیریت بهتر جریان نقدینگی پرداخته‌شده است (بارازا و همکاران، ۲۰۰۴)، (هان، ۲۰۱۴). با توجه به رویکرد مدل‌سازی خاکستری پیشنهادی در این پژوهش، در این قسمت ابتدا مدل پایه ارائه می‌گردد و پس از بیان مدل ارائه‌شده مورد بررسی قرارگرفته و سرانجام خروجی محاسبات مسئله پایه مطرح‌شده شناسایی و ارائه می‌گردند.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

عدم قطعیت و عدم دقت داخلی در زمان‌بندی پروژه طرح توسعه تکنیک‌های زمان‌بندی شبکه فعالیت را امکان‌پذیر کرده است. بر اساس این، روش محاسبه جریان نقدی برای پروژه‌های شامل فعالیت‌هایی با طول مدت فازی و یا هزینه فازی همانگونه که در شکل ۱ نشان داده شده موردمحاسبه قرارگرفته‌اند. در این حالت مقادیر به‌صورت خوش‌بینانه و بدبینانه مدنظر قرارگرفته‌اند (ماراواس و پانتواکیس، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲).

روش مسیر بحرانی که بر پایه فعالیت استوار است و اولین بار توسط جی.ای.کلی و ام.آر.واکر در ارتباط با طرح تحقیقاتی شرکت دپونت برای برنامه‌ریزی ساختمان تهیه شد. روش مسیر بحرانی همان پرت به انضمام دو مطلب مهم استوار است. اول اینکه کاهش و افزایش هزینه را تنها در تقلیل و تطویل زمان برنامه‌ها ندانسته و به محاسبه مستقیم هزینه می‌پردازد و دوم اینکه چون به‌ندرت به اجرای برنامه‌های بی‌سابقه می‌پردازد (آردیتی، ۲۰۰۶)، از لحاظ برآورد زمان مشکلات بسیار کمتری داشته تلاش خود را صرف محاسبات بودجه می‌کند. درروش مسیر بحرانی برای اجرای هر فعالیت دو زمان منظور می‌گردد، اول: زمان طبیعی که طی آن فعالیت با هزینه‌ای طبیعی انجام می‌پذیرد و دوم: زمان فشرده که برای انجام فعالیت با مدت کوتاه‌تر و طبیعتاً با صرف هزینه بیشتری بکار می‌رود (عبدالرحمن و همکاران، ۲۰۰۶).



شکل۱ منحنی S خوش‌بینانه و بدبینانه فازی

۳. روش‌شناسی

بررسی‌های (ماراواس و پانتوواکیس بیانگر این واقعیت است که باوجوداینکه تأییدشده است که مدیریت عدم قطعیت شرط ضروری برای مدیریت مؤثر پروژه می‌باشد، می‌توان چنین استدلال کرد که قبل از اینکه نتایج عملی جمع‌آوری و گلچین شود باید تخصصی‌تر و کامل‌تر شود. به‌ویژه، با توجه به گسترش زمان‌بندی پروژه‌ها با استفاده از روش مسیر بحرانی بر اساس نظریه مجموعه فازی که تحت عنوان زمان‌بندی پروژه فازی به دستور کار مدیر پروژه در طی سالیان گذشته افزوده‌شده است. همچنین بررسی‌ها بیان داشته‌اند که کاربرد روش زمان‌بندی پروژه فازی پتانسیل بالایی برای تغییرات و اضافه‌کاری‌ها دارد. درعین‌حال، روش‌هایی با دامنه گسترده‌تر نظیر روش‌هایی که شامل سیستم‌های پشتیبانی تصمیم چند معیاره، روش‌های تصمیم‌گیری با اهداف چندگانه، روش زمان‌بندی فازی با قید محدودیت منابع و تحلیل حساسیت فعالیت‌های شبکه با عدم قطعیت در مدت‌زمان فعالیت‌ها و روش زمان‌بندی تکرار فازی هیچ‌کدام تاکنون تأثیر ثبت‌شده‌ای روی مسائل مربوط به زمان‌بندی پروژه ایجاد نکرده‌اند. بدین منظور این پژوهش در نظر دارد تا با در نظر گرفتن زمان و هزینه‌های فعالیت‌ها به‌صورت خاکستری باهدف ایجاد تغییر و توسعه رویه‌های مرسوم مدل‌سازی زمان‌بندی در جهت کنترل بهتر زمان‌بندی و جریان نقدینگی پروژه‌ها اقدام نماید.

مفروضات. مفروضات این پژوهش به صورت زیر بوده اند:

۱- استفاده از عدم قطعیت اعداد خاکستری بازه‌ای در محاسبات شبکه فعالیت‌های پروژه‌های ساخت موجب ایجاد تغییر در محاسبات زمان‌بندی پروژه ها خواهد شد.

۲- استفاده از اعداد خاکستری بازه‌ای در محاسبات زمان پروژه‌های ساخت در بهبود جریان نقدینگی تأثیر خواهد گذاشت.

۳- استفاده از اعداد خاکستری بازه‌ای در محاسبات هزینه پروژه‌های ساخت در بهبود جریان نقدینگی تأثیر خواهد گذاشت.

گام‌های محاسباتی از محاسبات مسیر بحرانی به‌صورت خاکستری به فرم بازه‌ای با تعیین زودترین و دیرترین زمان‌های شروع فعالیت‌ها استخراج‌شده‌اند؛ در تشریح رویه انجام کار این گام باید به تعیین زمان فعالیت آغازین و محاسبات مسیر رفت اشاره نمود. این مرحله با تعیین دیرترین زمان و زودترین زمان خاتمه در مسیر برگشت با اعداد خاکستری به فرم بازه‌ای تکمیل شد. گام بعدی محاسبات مربوط به دست آوردن مدت‌زمان فعالیت‌ها با زمان‌های خاکستری با فرم بازه‌ای بوده است، سپس محاسبات توزیع هزینه‌ها فعالیت‌ها در طول دوره انجام فعالیت‌ها برای هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم و در نهایت هزینه کل فعالیت‌ها در هر دوره زمانی و در نهایت در کل پروژه تعیین گردید در گام پنجم نیز کمترین مقدار و بیشترین مقدار جریان نقدینگی برای فعالیت‌ها تعیین گردید و در گام آخر نیز جریان نقدینگی با استفاده از اعداد خاکستری با فرم بازه‌ای که دارای عدم قطعیت می‌باشد محاسبه گردید، لازم به ذکر است که کلیه گام‌های حالت چند پروژه‌ای با در نظر گرفتن فرض چند پروژه در گام‌های چهارم و پنجم علاوه بر انجام محاسبات برای هر فعالیت در هر پروژه محاسبات مربوط به تجمیع فعالیت‌ها در پروژه‌ها نیز لحاظ گردید و در نهایت گام ششم اطلاعات کل پروژه‌ها با یکدیگر جمع گردیدند. از مهم‌ترین فاکتورهای این محاسبات حفظ عدم قطعیت خاکستری به فرم بازه‌ای تا پایان محاسبات از جمله برتری‌های این روش محاسباتی می‌باشد.

گام اول: محاسبه مسیر بحرانی خاکستری. در این گام محاسبات مربوط به مسیر بحرانی برای به دست آوردن طولانی‌ترین مسیر پروژه و یا به عبارتی به دست آوردن فعالیت‌ها با شناوری صفر صورت می‌پذیرد.

$$\otimes ES_{i\,start} = [\underline{0}, \overline{0}\ ] \quad (۱)$$

$$\otimes ES_i = \max\left[\otimes EF_p\right] \quad (۲)$$

$$\otimes EF_i = \otimes ES_i + \otimes d_i \Rightarrow \otimes EF_i = [\underline{es}_i, \overline{es}_i\ ] + [\underline{d}_i, \overline{d}_i\ ] \quad (۳)$$

$$\otimes LF_i = \min\left[\otimes LS_p\right] \quad (۴)$$

$$\otimes LS_i = \otimes LF_i - \otimes d_i \Rightarrow [\underline{lf}_i, \overline{lf}_i\ ] - [\underline{d}_i, \overline{d}_i\ ] \quad (۵)$$

گام دوم: محاسبه مدت‌زمان خاکستری فعالیت‌ها. محاسبات این گام به‌منظور تعیین کمترین و بیشترین مدت زمان خاکستری فعالیت‌ها صورت می پذیرد.

$$\otimes ES_i = \left[\underline{es}_i, \overline{es}_i\right] \quad (۶)$$

$$\otimes EF_i = \left[\underline{ef}_i, \overline{ef}_i\right] \quad (۷)$$

$$\otimes D_i = \left[\underline{d}_i, \overline{d}_i\right] \quad (۸)$$

$$Min \otimes D_i = \left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i\right] \quad (۹)$$

$$Max \otimes D_i = \left[\overline{es}_i, \overline{es}_i + \overline{d}_i\right] \quad (۱۰)$$

گام سوم: محاسبات توزیع هزینه خاکستری فعالیت‌ها. در گام سوم مربوط به محاسبات توزیع هزینه‌های فعالیت‌ها بوده و محاسبات مربوط به هزینه‌های تک‌تک فعالیت‌ها به‌صورت خاکستری با بازه‌های شامل حد پایین کمترین مقدار هزینه فعالیت i ام و حد بالای آن بیشترین مقدار هزینه فعالیت i ام تعریف شود. در این صورت $Minimum$ مقدار هزینه توزیع شده فعالیت i ام از تقسیم رابطه

مقادیر هزینه (۱۱) بر رابطه مدت زمان (۹) و *Maximum* مقدار هزینه توزیع شده فعالیت *i* ام از تقسیم رابطه مقادیر هزینه (۱۱) بر رابطه مدت زمان (۱۰) به دست آمده است.

$$\otimes C_i = \left[\underline{c}_i, \overline{c_i}\right], \quad For\ \ Activity\ \ A:\ \otimes C_A = \left[\underline{c_A}, \overline{c_A}\right] \tag{۱۱}$$

$$\otimes C_{i_{\min}} = \left[\underline{c}_i, \overline{c_i}\right] \Rightarrow Min \otimes CD_i = \frac{\left[\underline{c}_i, \overline{c_i}\right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i\right]} \tag{۱۲}$$

$$\otimes C_{i_{\max}} = \left[\underline{c}_i, \overline{c_i}\right] \Rightarrow Max \otimes CD_i = \frac{\left[\underline{c}_i, \overline{c_i}\right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es_i} + \overline{d}_i\right]} \tag{۱۳}$$

گام چهارم: محاسبات هزینه خاکستری فعالیت‌ها در هر دوره. این گام به انجام محاسبات هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم خاکستری و درنهایت محاسبه هزینه کل خاکستری در هر دوره زمانی پرداخته است. هزینه‌های مستقیم خاکستری: بخش اول محاسبات گام چهارم مربوط به محاسبات هزینه‌های مستقیم خاکستری فعالیت‌ها در دوره زمانی *t* بوده و محاسبات مربوط به هزینه‌های مستقیم فعالیت‌ها در هر دوره به‌صورت خاکستری برای کلیه فعالیت‌های موجود در آن دوره زمانی در این صورت *Minimum* و *Maximum* مقدار هزینه توزیع شده در دوره زمانی *t* از حاصل مجموع فعالیت‌ها از فعالیت یکم تا فعالیت آخر حاصل تقسیم رابطه‌های (۱۲) و (۱۳) به ترتیب بر رابطه‌های (۹) و (۱۰) به‌دست‌آمده است.

$$Min\ \otimes CD_t = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cd_{it_{\inf}}}, \overline{cd_{it_{\inf}}}\right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i\right]} \tag{۱۴}$$

$$Max\ \otimes CD_t = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cd_{it_{\sup}}}, \overline{cd_{it_{\sup}}}\right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es_i} + \overline{d}_i\right]} \tag{۱۵}$$

هزینه های غیرمستقیم. بخش دوم محاسبات گام چهارم مربوط به محاسبات هزینه‌های غیرمستقیم خاکستری فعالیت‌ها در دوره زمانی *t* بوده و محاسبات مربوط به هزینه‌های غیرمستقیم فعالیت‌ها در هر دوره به‌صورت خاکستری برای کلیه فعالیت‌های موجود در آن دوره زمانی در این صورت *Minimum* و *Maximum* مقدار هزینه توزیع شده در دوره زمانی *t* از حاصل مجموع فعالیت‌ها از فعالیت یکم تا فعالیت آخر حاصل تقسیم کمترین مقدار و بیشترین مقدار رابطه‌های (۱۲) و (۱۳) ضربدر ۰/۱۵ حد پایین و حد بالای کمترین مقدار هزینه‌های غیرمستقیم بر رابطه (۹) و حد پایین و حد بالای بیشترین مقدار هزینه‌های غیرمستقیم بر رابطه (۱۰) به دست آمده است.

$$Min\ \otimes CIN_t = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cin_{it_{\inf}}}, \overline{cin_{it_{\inf}}}\right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i\right]} \tag{۱۶}$$

$$Max\ \otimes CIN_{jt} = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cin_{it_{\sup}}}, \overline{cin_{it_{\sup}}}\right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es_i} + \overline{d}_i\right]} \tag{۱۷}$$

هزینه کل. جمع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم خاکستری – بخش پایانی محاسبات گام چهارم مربوط هزینه کل در هر دوره زمانی می‌باشد، برای کلیه فعالیت‌های موجود در آن دوره زمانی را در بر می‌گیرد. در این حالت لازم است که ابتدا رابطه‌های (۱۴) و (۱۶) با یکدیگر جمع شوند و رابطه (۱۸) را به وجود آورند سپس رابطه‌های (۱۵) و (۱۷) نیز با یکدیگر جمع شده و رابطه (۱۹) را پدید آورده است، در پایان لازم است تا رابطه‌های (۱۸) و (۱۹) بایکدیگر جمع گردند تا هزینه کل در هر دوره زمانی حاصل گردد.

$$Min \otimes TC_t = Min\ \otimes CD_t + Min\ \otimes CIn_t = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cd_{it_{\inf}}}, \overline{cd_{it_{\inf}}}\right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i\right]} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cin_{it_{\inf}}}, \overline{cin_{it_{\inf}}}\right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i\right]} \tag{۱۸}$$

$$Max \otimes TC_t = Max\ \otimes CD_t + Max\ \otimes CIn_t = \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cd_{it_{\sup}}}, \overline{cd_{it_{\sup}}}\right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es_i} + \overline{d}_i\right]} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cin_{it_{\sup}}}, \overline{cin_{it_{\sup}}}\right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es_i} + \overline{d}_i\right]} \tag{۱۹}$$

$$\otimes TC_t = Min \otimes TC_t + Max \otimes TC_t = \quad (۲۰)$$

$$\otimes TC_t = \left(\sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cd_{it_{\inf}}}, \overline{cd_{it_{\inf}}} \right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i \right]} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cin_{it_{\inf}}}, \overline{cin_{it_{\inf}}} \right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i \right]} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cd_{it_{\sup}}}, \overline{cd_{it_{\sup}}} \right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es}_i + \overline{d}_i \right]} + \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{cin_{it_{\sup}}}, \overline{cin_{it_{\sup}}} \right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es}_i + \overline{d}_i \right]} \right)$$

گام پنجم: محاسبات کمترین و بیشترین مقدار جریان نقدینگی خاکستری. برای گام پنجم که محاسبات کمترین و بیشترین مقدار جریان نقدینگی را پدید خواهد آورد، برای کمترین و بیشترین مقدار به ترتیب رابطه‌های (۱۸) و (۱۹) را برای کل دوره‌های زمانی از صفرتا انتهای پروژه با یکدیگر به‌صورت جداگانه جمع گردیده‌اند.

$$Min \otimes CF = \sum_{t=0}^{T} \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{c_{it_{\inf}}}, \overline{c_{it_{\inf}}} \right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i \right]} \quad (۲۱)$$

$$Max \otimes CF = \sum_{t=0}^{T} \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{c_{it_{\sup}}}, \overline{c_{it_{\sup}}} \right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es}_i + \overline{d}_i \right]} \quad (۲۲)$$

گام ششم: محاسبات جریان نقدینگی کل دارای عدم قطعیت. در گام ششم محاسبات عدم قطعیت جریان نقدینگی صورت می‌پذیرد، برای این کار لازم است تا رابطه (۲۲) از رابطه (۲۱) کسر گردند.

$$CFU = Max \otimes CF - Min \otimes CF = \sum_{t=0}^{T} \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{c_{i_{\sup}}}, \overline{c_{i_{\sup}}} \right]}{\left[\overline{es}_i, \overline{es}_i + \overline{d}_i \right]} - \sum_{t=0}^{T} \sum_{i=1}^{n} \frac{\left[\underline{c_{i_{\inf}}}, \overline{c_{i_{\inf}}} \right]}{\left[\underline{es}_i, \underline{es}_i + \underline{d}_i \right]} \quad (۲۳)$$

٤. تحلیل داده ها و یافته ها

در این قسمت به بررسی صحت و کارایی مدل پیشنهادی در قسمت چهارم پرداخته می‌شود. در ابتدا با مثال عددی، مدل پیشنهادی در حالت تک پروژه‌ای به کار گرفته شده و با مدل قطعی مقایسه شده و صحت آن نشان داده می‌شود.

شرح مسئله، روش شناسایی و نحوه انجام محاسبات و جداول اطلاعات ورودی. هدف اصلی شرکت مورد بررسی، دستیابی به جریان نقدینگی و زمان‌بندی بهینه و تحت کنترل با بکار گیری عدم قطعیت موجود در اعداد خاکستری به فرم بازه‌ای در زمان و هزینه می‌باشد. ازآنجایی‌که شرایط طراحی، ساخت و اجرا در پروژه‌های مختلف متفاوت می‌باشد، مطالعه مورد نظر از روی اطلاعات پروژه احداث جاده، پل‌ها و جاده‌های دسترسی مربوطه که اطلاعات ورودی در جدول شماره ۱ نمایش داده شده‌اند. برای پیاده‌سازی مدل پیشنهادی خاکستری در واقعیت، ابتدا با مطالعه مقاله‌های مختلف در خصوص جریان نقدینگی و زمان‌بندی، فاکتور های مؤثر بر نتایج آن‌ها جمع‌آوری، طبقه‌بندی و مشخص گردیده‌اند.

جدول ۱ اطلاعات ورودی شبکه فعالیت‌ها

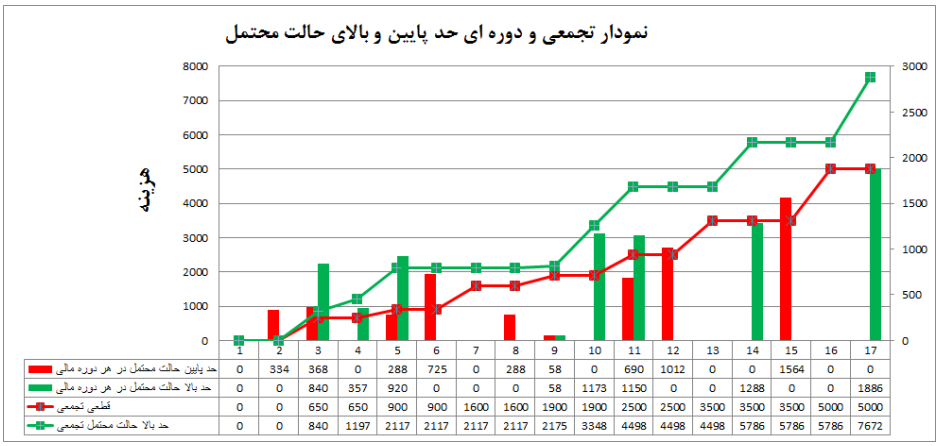
کد فعالیت	شرح فعالیت	پیش نیاز	مدت زمان قطعی (روز)	مدت زمان خاکستری (روز)	هزینه قطعی (هزار یورو)	هزینه خاکستری (هزار یورو)
	پل				3,500	
A	عملیات خاکی	-	30	[25,35]	150	[140,160]
B	اجرای پایل فونداسیون در جا	A	120	[110,130]	1,000	[880,1120]
C	abutments	B	40	[40,40]	250	[250,250]
D	piers	B,C	80	[80,80]	600	[600,600]
E	سازه های اصلی	D	210	[180,240]	1,500	[1360,1640]
	جاده				1,500	
F	عملیات خاکی	B	60	[45,75]	700	[630,770]
G	اجرای زیرگذر	F	70	[70,70]	50	[50,50]
H	اجرای آب های سطحی و کالورت	F	70	[65,75]	250	[250,250]
I	انجام عملیات پیوینگ	G,H	30	[25,35]	150	[150,150]
J	اجرای آسفالت	I	30	[30,30]	200	[170,230]
K	signage	J	30	[30,30]	150	[150,150]

خروجی حاصل از محاسبات گام ششم در جدول شماره ۲ ارائه گردیده است، لازم به ذکر است کلیه محاسبات فوق بر مبنای حالت محتمل صورت پذیرفته‌اند و محاسبات در حالت خوش‌بینانه و بدبینانه در زیر ارائه گردیده‌اند. بررسی نمودارهای مربوط به هر دوره مالی که در شکل شماره ۴ نشان داده‌شده بیانگر مطلوبیت پروژه در محاسبات اعداد خاکستری هم در حد پایین و هم در حد بالایی محتمل‌ترین حالت بوده است، درحالی‌که این محاسبات در حد پایین و بدترین وضعیت فرم بازه‌ای را نزدیک به اعداد قطعی می‌باشد.

جدول ۲ محاسبه کمترین– بیشترین مقدار و جریان نقدینگی کل دارای عدم قطعیت خاکستری

Calculation Description		Result
Uncertainity Cash Flow:	Maximum Cash Flow - Minimum Cash Flow	= [0.83,1.92]
Minimum Cash Flow:	Direct Cost + Indirect Cost	= [0.32,2.21]
Maximum Cash Flow:	Direct Cost + Indirect Cost	= [0.29,1.15]

مقایسه‌ی روش خاکستری بازه ای ارائه شده با روش قطعی. بررسی نمودار جریان نقدینگی تجمعی که در شکل شماره ۲ ارائه گردیده است، مقدار حد پایین (بدترین وضعیت) اعداد خاکستری نزدیک به اعداد قطعی در پایان پروژه را در کمترین مقدار سود نشان می‌دهند، در حالی که حد بالایی اعداد خاکستری پروژه را در وضعیت مناسب و با سود مطلوب نشان می‌دهد. جدول مقایسه اطلاعات عدم قطعیت خاکستری بازه ای در حالت محتمل با اعداد قطعی که در جدول شماره ۳ نشان داده شده است بیانگر این واقعیت می باشد که رویکرد مدل پیشنهادی در تهیه برنامه زمان‌بندی و جریان نقدینگی با انعطاف‌پذیری بیشتر نسبت به حالت قطعی اطلاعات بهتری به مدیریت به‌منظور تصمیم‌گیری‌های پیش رو در نحوه تعامل و برخورد با پیمانکاران و سازندگان متناسب با شرایط و محدودیت‌های پروژه و سازمان ارائه می‌دهد، همچنین ویژگی برتر مدل پیشنهادی در عمل، در دسترس بودن اطلاعات میزان منابع مالی مربوط به جریان نقدی ورودی و خروجی به‌صورت بازه‌ای شامل حداقل و حداکثر با یک بازه محدود منطبق با دوره‌های زمانی پیش رو به‌منظور جلوگیری از جریان‌های نقدی منفی و مثبت در سازمان‌ها و در آخر نیز برتری کاربردی اعداد خاکستری به فرم بازه‌ای در زمان و هزینه به‌منظور بیان عدم قطعیت مرتبط بازمان و هزینه با واقعی‌تر نمودن برنامه زمان‌بندی موجب جلوگیری از ایجاد برنامه غیرواقعی و بنابراین کنترل بهتر زمان‌بندی، بالا بردن اثربخشی زمان‌بندی پروژه‌های ساخت و مدیریت کاراتر جریان نقدینگی گردیده است.



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
حد پایین حالت محتمل در هر دوره مالی	0	334	368	0	288	725	0	288	58	0	690	1012	0	0	1564	0	0
حد بالا حالت محتمل در هر دوره مالی	0	0	840	357	920	0	0	0	58	1173	1150	0	0	1288	0	0	1886
قطعی تجمعی	0	0	650	650	900	900	1600	1600	1900	1900	2500	2500	3500	3500	3500	5000	5000
حد بالا حالت محتمل تجمعی	0	0	840	1197	2117	2117	2117	2117	2175	3348	4498	4498	4498	5786	5786	5786	7672

شکل۲. جریان نقدینگی تجمعی و دوره‌ای حد پایین و بالا در حالت محتمل

جدول ۳ مقایسه خروجی محاسباتی اطلاعات عدم قطعیت اعداد خاکستری به فرم بازه‌ای در حالت محتمل با اعداد قطعی

جدول مقایسه خروجی اطلاعات عدم قطعیت اعداد خاکستری بازه ای در حالت محتمل با اعداد قطعی						
	جریان نقدینگی در هر دوره			جریان نقدینگی تجمعی		
زمان	حد پایین درحالت محتمل	قطعی	حد بالا درحالت محتمل	حد پایین در حالت محتمل	قطعی	حد بالا در حالت محتمل
0	0	0	0	0	0	0
25	334	0	0	334	0	0
30	368	650	840	702	650	840
35	0	0	357	702	650	1197
40	288	250	920	990	900	2117
45	725	0	0	1715	900	2117
60	0	700	0	1715	1600	2117
65	288	0	0	2003	1600	2117
70	58	300	58	2061	1900	2175
75	0	0	1173	2061	1900	3348
80	690	600	1150	2751	2500	4498
110	1012	0	0	3763	2500	4498
120	0	1000	0	3763	3500	4498
130	0	0	1288	3763	3500	5786
180	1564	0	0	5327	3500	5786
210	0	1500	0	5327	5000	5786
240	0	0	1886	5327	5000	7672

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

باوجود بازه کمترین و بیشترین مقدار محاسبات به‌جای نمایش اعداد قطعی، بازه‌ای تحت کنترل از منظر زمان و هزینه را ترسیم نموده است که حرکت در بازه محاسبه شده موجب اتمام پروژه و یا پروژه‌ها با زمان و هزینه مناسب‌تر و بهینه‌تر و در دسترس تر خواهد گردید. نتایج محاسبات بیانگر بالاتر رفتن کارایی و اثربخشی مدل پیشنهادی و برتری و رجحان آن نسبت به مدل قطعی و سنتی در زمان‌بندی و مدیریت هزینه‌های پروژه‌ها می‌باشد. تولید مدل‌سازی شبکه فعالیت‌ها در حالت عدم قطعیت خاکستری به صورت تک پروژه در سازمان‌های پروژه محور با به‌کارگیری زمان‌ها و هزینه‌های دارای عدم قطعیت خاکستری می‌تواند موجب مدیریت بهتر زمان‌بندی و جریان نقدینگی سازمان و جلوگیری از جریان نقدینگی مثبت (انباشته) و منفی (کمبود منابع مالی) خواهد گردید. پیشنهاد می شود که در مطالعات آتی در محاسبات مربوط به توزیع هزینه علیرغم دستیابی به روشی جدید برای توزیع هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم به نظر می‌رسد که توزیع خطی و مستقیم روشی بهینه نباشد؛ چراکه هزینه‌های غیرمستقیم مثل هزینه زمین، اجاره، استحصال زمین، آب، برق و نظایر آن در زمان‌های مشخص در پروژه‌ها بروز می‌نمایند و یا در هزینه مستقیم فعالیت‌ها به‌عنوان مثال در خرید، تدارک و تأمین تجهیزات می تواند به‌صورت مایلستون به این معنی که در زمان‌های مشخص شده در قرارداد خرید تجهیزات تعیین گردیده‌اند و به‌صورت خطی در طول اجرای فعالیت توزیع نگردیده‌اند، لذا توجه به این مطلب در مدل‌سازی می‌تواند به دستیابی به مدل بهینه کمک شایانی نماید. انجام محاسبات در حالت های چند پروژه ای و یا طرح از دیگر پیشنهادات این مقاله می باشد.

منابع

۱. مجید سبزه پرور; (۱۳۹۰);"کنترل پروژه"; تهران، انتشارات ترمه، ص۲۰-۴۵و ۵۰-۷۰.

2. Project Manegement Institiute; (2004),"A Guide to the Project Management Body of Knowledge"; 3rd edition , USA, PMI, PAGE 5-8).Turner, J. Rodeny;(1999);"The Handbook of Project- based Management"; UK, McGraw- Hill, Page 3.

3. Atkinson, R., Crawford, L., Ward, S.;(2006); Fundamental uncertainties in projects and the scope of project management nternational Journal of Project Management 24 (8), 687–698.
4. Maravas, A., & Pantouvakis, J. P.(2010). A study of cash flows in projects with fuzzy activity durations.In Proceedings of the international conference on computing in civil and building engineering, Nottingham.
Tarek Zayed and Yaqiong Liu;(2014); Engineering, Construction and Architectural Management Vol.21 No.2,170-189.
5. Alexander Maravas, John-Paris Pantouvakis.(2012); International Journal of Project Management 30, 374–384.
6. Khalil I. Al-Joburi; Raid Al-Aomar; and Mohammed E. Bahri; (2012); Journal of Management in Engineering, Vol. 28, No. 4, 382-390.
7. Samad M E Sepasgozar, Mohamad Ahmadzade Razkenari, Khalegh Barati; (2015); American Journal of Civil Engineering and Architecture, Vol.3, No.1,15-20.
8. David Arditi, Thanat Pattanakitchamroon; (2006); International Journal of Project Management 24, 145–155.
9. H. Abdul-Rahman; M. A. Berawi; A. R. Berawi; O. Mohamed; M. Othman; and I. A. Yahya;(2006); Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 132, No. 2, ©ASCE, ISSN 0733-936/2006/2-125–133.
10. Khosrowshahi, F., & Kaka, A. P;(2007); A decision support model for construction cash flow management. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 22(7), 527-539.
11. Erkan Topal. Int. J; (2008); Mining and Mineral Engineering, Vol. 1, No. 1, 62-76.
12. Alexander Maravas, John-Paris Pantouvakis;(2012); International Journal of Project Management 30, 374–384.
13.Henry A. Odeyinka, Ammar Kaka; (2014); " Journal of Financial Management of Property and Construction, Vol. 13 Iss 1 , 5 – 17.
14. Cheng, M. Y., Tsai, H. C., & Sudjono, E; (2010); Evolutionary fuzzy hybrid neural network for project cash flow control. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 23(4), 604-613.
15. Barraza, G.A., Back, W.E., Mata, F; (2004); Probabilistic forecasting of project performance using stochastic S curves. Journal of Construction Engineering and Management 130 (1), 25–32.16. Sathe, V. (1983). Implications of corporate culture: a manager's guide to action. *Organizational Dynamics,* 5-23.
16. Cheng, M. Y., & Roy, A. F; (2011); Evolutionary fuzzy decision model for cash flow prediction using time-dependent support vector machines. International Journal of Project Management, 29(1), 56-65.
17. Maravas, A., & Pantouvakis, J. P; (2010); Fuzzy repetitive scheduling method for projects with repeating activities. Journal of Construction Engineering and Management, 137(7), 561-564.
18. Han, S. H., Park, H. K., Yeom, S. M., & Chae, M. J; (2014); Risk-integrated cash flow forecasting for overseas construction projects. KSCE Journal of Civil Engineering, 18(4), 875.