فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی (مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هفدهم/ شماره ۵۹ / بهار ۱۴۰۱

ارائه الگوریتمی بر پایه روش گرت و شبیه‌سازی مونت کارلو جهت مدیریت و کنترل پروژه‌های تحقیق و توسعه (مطالعه موردی: هواپیما مدل)

امیر افسر(نویسنده مسؤول)
گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران
Email: amir.i650@yahoo.com
سید جلال ضیایی
گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۰ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۲/۱۱

چکیده

با توجه به اهمیت روزافزون مباحث مدیریت و کنترل پروژه و منافعی که در انتخاب روش صحیح مدیریت مطابق با نوع خاص پروژه‌ها وجود دارد، هدف تحقیق حاضر ارائه روشی مناسب جهت برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های تحقیق و توسعه می‌باشد. وجود عدم قطعیت و مبانی احتمالی چه در حوزه زمان‌های احتمالی و چه در مباحث مربوط به وجود شاخه‌ها و فعالیت‌های احتمالی، به جذابیت مسائل حوزه مدیریت و کنترل پروژه می‌افزاید. قطعی نبودن فعالیت‌ها و زمان لازم برای تکمیل هر یک از فعالیت‌های پروژه، مدیر پروژه را ملزم به استفادی از تکنیک‌هایی متناسب با ماهیت خاص پروژه مورد بررسی خود می‌کند. در این مقاله با تشریح پروژه احتمالی ساخت هواپیما مدل با توجه به فضای احتمالی موجود، یک الگوریتم مناسب بر پایه روش گرت و شبیه‌سازی مونت کارلو به گونه‌ای ارائه می‌گردد که در نتیجه آن مدیر پروژه بتواند از خروجی حاصل از الگوریتم، به بررسی مولفه‌های اساسی و برآورد متغیرهای تصادفی نظیر زمان مورد انتظار تکمیل پروژه و هزینه متوسط تکمیل فعالیت‌های پروژه بپردازد و نتایج دل‌خواه خود را جهت مدیریت و کنترل هر چه بهتر پروژه استخراج سازد. جهت ارائه مطلوب و درک بهتر الگوریتم پیشنهادی، نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم جهت برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه ساخت هواپیما مدل، بررسی و تشریح خواهد شد و در نتیجه، زمان و هزینه مورد انتظار انجام پروژه در بازه اطمینان ۹۵ درصد استخراج میگردد.

کلمات کلیدی: پروژه‌های تحقیق و توسعه، روش گرت، شبیه‌سازی مونت کارلو، مدیریت و کنترل پروژه، هواپیما مدل.

۱-مقدمه

لزوم برنامه‌ریزی صحیح و مدیریت زمان، هزینه و منابع در دسترس در کلیه حوزه‌های صنعت، به امری بدیهی در راستای موفقیت و عملکرد سطح بالا و رضایت‌بخش یک سیستم تبدیل گردیده است. هرچه برنامه‌ریزی برای انجام یک فعالیت دقیق‌تر و بهتر باشد، منافعی که در نتایج حاصل از انجام آن فعالیت بدست‌می‌آید معمولا به گونه‌ای است که کلیه هزینه‌ها و وقت تخصیص یافته جهت برنامه‌ریزی مدون را پوشش می‌دهد. همچنین مدیریت صحیح یک سیستم، نیازمند شناخت جز به جز و آشنایی با ریزه‌کاری‌های سیستم مورد بررسی و برنامه‌ریزی مطلوب قبلی می‌باشد. مدیریت صحیح و برنامه‌ریزی مطلوب پروژه نیز که یکی از حوزه‌های بسیار مهم در صنایع مختلف و علوم مدیریتی است، به بهبود نتایج مورد انتظار پس از تکمیل پروژه و رضایت مدیران و ذینفعان پروژه منجر می‌گردد. تکمیل پروژه در چهارچوب استانداردی از زمان، هزینه و کیفیت مورد قبول، خواسته هر نهاد و ذینفعان از مدیر پروژه می‌باشد. مدیر پروژه باید با شناخت صحیح و کافی از پروژه پیش روی خود، به برآورد متغیرها و برنامه‌ریزی فعالیت‌های پروژه جهت نیل به اهداف مورد انتظار با هزینه توافق شده قبلی در مدت زمان معین، بپردازد. هر یک از مدیران پروژه در صدد ارائه و بکارگیری روشی جهت برنامه‌ریزی پروژه پیش روی خود مطابق با ماهیت منحصر به فرد آن پروژه می‌باشند.

وجود عدم قطعیت و مبانی احتمالی چه در حوزه زمان‌های احتمالی و چه در مباحث مربوط به وجود شاخه‌ها و فعالیت‌های احتمالی، به جذابیت مسائل حوزه مدیریت و کنترل پروژه می‌افزاید. در اینگونه مسائل، تلاش جهت برآورد هرچه بهتر متغیرهای تصادفی بمنظور ارائه راه حل مطلوب و مدیریت و زمانبندی مناسب پروژه، بسیار حائز اهمیت است. در بیشتر مباحث کلاسیک مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه، فعالیت‌های پروژه و زمان لازم برای انجام هر یک از فعالیت‌ها به صورت قطعی در نظر گرفته می‌شود. اما در بسیاری از پروژه‌ها مخصوصا در پروژه‌های تحقیق و توسعه، معمولا فعالیت‌های زیادی یافت می‌شوند که دارای زمان‌های احتمالی هستند. همچنین در اینگونه پروژه‌ها علاوه بر عامل زمان که می‌تواند معین نبوده و احتمالی در نظر گرفته شود، ممکن است فعالیت‌هایی وجود داشته باشند که پیشبینی دقیق آن‌ها در فاز برنامه‌ریزی و قبل از شروع عملیات اجرایی پروژه ممکن نیست و نمی‌توان با قاطعیت بیان نمود که چنین فعالیتی در این پروژه لزوما انجام می‌گردد یا نه.

با عنایت به اینکه هر یک از پروژه‌های صنایع هوایی و هواپیمایی، منحصر به فرد می‌باشند و هر یک دارای ماهیت خاص و خصوصیاتی متفاوت از پروژه دیگر می‌باشند، استفاده از یک روش برنامه‌ریزی برای کلیه پروژه‌های تعریف شده در این صنعت، غیر ممکن می‌باشد. همچنین ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت می‌باشد که با توجه به ماهیت متفاوت پروژه‌های بخش تحقیق و توسعه و لزوم وجود آزادی عمل جهت بررسی جنبه‌ها و انجام اقدامات مختلف در راستای رسیدن به اهداف بهتر، نیاز به تعریف راهکاری است که بتواند آزادی و ابتکار عمل را در اختیار مدیران پروژه جهت تعریف شبکه‌ای کامل از فعالیت‌های قطعی و احتمالی، قرار دهد. در نتیجه در پروژه‌های طراحی و ساخت هواپیما که از نمونه پروژه‌های تحقیقات و توسعه در صنایع هوایی می‌باشند، فعالیت‌های با ماهیت احتمالی فراوان به چشم می‌خورد که قبل از شروع پروژه نمی‌توان در مورد انجام و یا عدم انجام آن‌ها نظر قطعی داد و لازم است روشی متناسب با ویژگی این قبیل از پروژه‌ها ارائه گردد.

همانطور که اشاره گردید، در بیشتر مباحث کلاسیک مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه، فعالیت‌های پروژه و زمان لازم برای انجام هر یک از فعالیت‌ها به صورت قطعی در نظر گرفته می‌شود؛ حال آن‌که در واقعیت امکان قطعیت تمامی پارامترها و انجام کلیه فعالیت‌ها، امکان‌پذیر نمی‌باشد. خصوصا در پروژه‌های بخش تحقیق و توسعه، معمولا فعالیت‌های زیادی یافت می‌شوند که دارای زمان‌های احتمالی هستند. در برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های تحقیق و توسعه، علاوه بر عامل زمان که می‌تواند معین نبوده و احتمالی در نظر گرفته شود، پارامترهای زیاد دیگری نیز وجود دارند که پیشبینی دقیق آن‌ها در فاز برنامه‌ریزی و قبل از شروع عملیات اجرایی ممکن نیست و نمی‌توان به طور یقین بیان نمود که چنین فعالیتی در این پروژه لزوما انجام می‌گردد یا نه. بعنوان مثال برای تولید یک محصول جدید، لازم است قبل از تولید محصول در مقادیر زیاد، یک نمونه یا مدل از محصول مورد نظر ساخته شده و مورد آزمایش قرار گیرد. در صورتی که نتیجه آزمایش رضایت بخش باشد، می‌توان به تولید انبوه محصول پرداخت ولی در صورت رضایت‌بخش نبودن نتیجه آزمایش، لازم است مهندسین و طراحان به میزهای طراحی و نقشه‌کشی بازگردند و

طرح و نقشه مدل را تغییر دهند. فعالیت مربوط به تغییرات در طرح مدل، در زمان برنامه‌ریزی پروژه تولید محصول نو، جنبه احتمالی دارد. فقط بعد از انجام آزمایش بر روی مدل است که می‌توان لزوم یا عدم لزوم اجرای این فعالیت را به طور حتمی بیان نمود. در پروژه‌های تحقیق و توسعه ناگزیر به تعریف چنین فعالیت‌های احتمالی میباشد که بایستی از روش‌های خاص متناسب با آن استفاده نمود.

با توجه به ماهیت خاص پروژه‌های صنعت هوایی و وجود جنبه‌های احتمالی فراوان در خصوص انجام فعالیت‌ها و زمان لازم برای انجام هر فعالیت، در مقاله ابتدا به بررسی یک پروژه ساخت هواپیما مدل که کاربردهای متنوعی در حوزه‌های نظامی اعم از فعالیت‌های پژوهشی، شناسایی و تجسس، عکس‌برداری و فیلم‌برداری، مانور و حرکات تمرینی و ... دارند، پرداخته می‌شود و پس از تشریح پروژه، فعالیت‌های احتمالی و فعالیت‌های با زمان احتمالی شناسایی می‌گردد و پروژه ساخت هواپیما مدل با شبکه احتمالی که حاوی فعالیت‌هایی است که وقوع یا عدم وقوع آن‌ها قطعیت ندارد و همچنین حاوی فعالیت‌هایی است که زمان انجام آن‌ها قطعی نیست، تشریح می‌گردد. لذا با عنایت به مفروضات در نظر گرفته شده و اهداف مدیر پروژه و همچنین با توجه به ماهیت خاص این دسته از پروژه‌ها و وجود جنبه‌های احتمالی، الگوریتمی بر پایه روش گرت[1] و شبیه‌سازی مونت کارلو[2] جهت مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌های احتمالی، ارائه می‌گردد تا مدیر پروژه بتواند جهت برنامه‌ریزی هرچه بهتر پروژه، به برآورد متغیرهایی تصادفی نظیر زمان مورد انتظار تکمیل پروژه، هزینه متوسط تکمیل فعالیت‌های پروژه و احتمال وقوع هریک از شاخه-ها (فعالیت‌ها) بپردازد. در انتها نیز نتایج عددی حاصل از بکارگیری الگوریتم ارایه شده در پروژه ساخت هواپیما مدل، بررسی و تشریح می‌گردد.

۲- روش شناسی پژوهش

روش گرت برای شرکت RAND در آمریکا پایه گذاری شده و اولین کاربردهای آن در پروژه‌های ساخت سفینه‌های فضایی بوده است. با کاربرد تحلیل شبکه در طراحی و کنترل پروژه‌ها از دهه ۱۹۵۰ و توسعه مدل‌های شبکه ای همچون CPM[3] و *PERT*[4] بتدریج مشخص شد که امکانات محدود روش‌های مذکور در مدلسازی پروژه‌هایی که دارای شبکه‌های پیچیده هستند، معضلی در برنامه ریزی این پروژه‌ها است. به همین دلیل محققینی همچون المغربی و پرینسکر و سایر همکارانشان به دنبال ابزار تعمیم یافته تری در تحلیل شبکه ای که قابلیت تطابق بالاتری نسبت به روش‌های CPM و PERT داشته باشد، این روش را ابداع کردند و توسعه دادند (Farzi Poursaen, 1999). کارآمدی و قابلیت‌های ویژه روش گرت برای شبیه سازی، طرح ریزی، زمان بندی و تجزیه و تحلیل پروژه‌ها در سیستم‌های متعدد در صنایع مختلف به اثبات رسیده است. به عنوان نمونه برای پروژه ساخت پره توربین در مرکز تحقیقات جهاد سازندگی (Doroudian, 1995) برنامه ریزی پروژه‌های اکتشافی معدنی(Sadri & Sakaki, 2005) و تجزیه و تحلیل ویژگی‌های دینامیکی فرآیندهای تولید محصول و انجام تنظیمات، سرویس‌ها و تعمیرات اصلاحی (Gauri & Ajay, 2002) از روش گرت استفاده شده است. همچنین از توانایی‌های روش گرت برای تحلیل قابلیت اعتماد سامانه‌ها (Manju & Pooja, 2007) و ارزیابی در دسترس بودن یک سیستم در قالب یک رساله دکترا در دانشگاه لینکلن نبراسکا (Joseph, 1978) استفاده شد. نتایج حاصل، نشان دهنده نقطه قوت گرت برای نمایش گرافیکی از سیستم و راحتی درک آن می‌باشد. مطالعات متعددی همچون مطالعات (Chen-Tung & Sue-Fen, 2007)، (Hsiau & Lin, 2009)، (Mahlouji, 2008) و ... توانمندی و لزوم به کارگیری این روش را در زمان بندی پروژه‌ها تصدیق می‌نمایند. (Gavareshki, 2004) روشی جدید از طریق تکنیک گرت فازی برای زمان بندی پروژه‌های تحقیقاتی ارائه کرد. او از اعداد فازی ذوزنقه ای برای تعریف زمان و حلقه‌های موجود در شبکه استفاده کرد (Wang et al., 2011). روش نوینی برای تحلیل شبکه‌های گرت را در تولید لوح‌های سیلیکونی در صنعت الکترونیک پیشنهاد نموده‌اند. آن‌ها در مدل پیشنهادی خود از یک سیستم تصمیم گیری پشتیبان برای انجام محاسبات پیچیده بهره بردند. هر چند استفاده از قابلیت‌های شبکه گرت و همچنین

[1] Gert (graphical evaluation and review technique) method
[2] Monte Carlo simulation
[3] Critical path method
[4] Program evaluation and review technique

منطق فازی در بحث زمان بندی پروژه تاکنون بصورت متعدد توسط محققان مختلفی از جمله (Kazemi & Fakhouri, 2013)، (Lachmayer et al., 2012) و (Shomeili, 2012) مورد بررسی قرار گرفته است.

(Kazemi & Fakhouri, 2013) مقاله ای ارائه دادند که در آن به منظور کاهش محدودیت‌های مربوط به عدم قطعیت در برنامه-ریزی و اجرای پروژه، منطق و سیستم کنترل فازی پیشنهاد و در آن میانگین، واریانس، ارزش و تعداد حلقه‌های شبکه گرت و همچنین عوامل تأثیرگذارِ محیطی بر اجرای پروژه به صورت فازی در نظر گرفته شده اند. بدین ترتیب برای اولین بار، با استفاده از قابلیت‌های موجود در شبکه‌های گرت و همچنین منطق و سیستم فازی، سیستم کنترل فازی طراحی شده و در آن سعی گردیده تا تمامی حالت‌های موجود در اجرای یک پروژه تحلیل شود. در سال ۱۳۹۴ پایان نامه ای تحت عنوان «تدوین مدل کاهش هزینه‌های تولید از روش گرت فازی (نیروگاه تولید برق شهیدرجایی)» مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش هزینه-های تولید در صنعت تولید برق (نیروگاه) با استفاده از گرت فازی مدلسازی شد. این پژوهش سعی نموده تا یکی از شاخص‌های عمده اساسی در فرآیند تغییر ساختار صنعت برق را مورد ارزیابی قرار دهد و با ارائه مدلی جدید و کاربردی در جهت کاهش هزینه‌های تولید گام مهمی بردارد. بدین لحاظ در این پژوهش ضمن مطرح نمودن مفاهیم و اشکال هزینه وطبقه بندی آن، با ارائه مدل گرت فازی بهترین مسیر برای کاهش هزینه‌ها را تعیین می‌شود (Haji Karimi et al., 2015). به علت توانایی و قابلیت شبکه گرت، از آن به عنوان ابزاری توانمند در برنامه ریزی و زمان بندی عملیات تولید نیشکردر استان خوزستان استفاده کردند.

منزجی و همکاران (۲۰۱۵) در سال ۱۳۹۶، مقاله ای با عنوان رهیافتی فازی برای بهینه‌سازی زمانی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر با استفاده از روش شبکه‌ای گرت ارائه دادند. در این تحقیق، مساله زمانبندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر به لحاظ محدودیت در دسترس نبودن ماشین‌ها در دوره‌های زمانی از قبل مشخص شده، و با هدف کاهش زمان انجام کارها مورد بررسی قرار گرفت(Manjezi et al., 2017). همچنین در سال ۱۳۹۷، طکی دیزجی و منزجی (۲۰۱۸) بمنظور مدیریت و زمانبندی هر چه بهتر تعمیرات اساسی دروگر نیشکر، یک مدل شبکه‌ای ارائه دادند و با توجه به قابلیت‌های روش گرت، از آن به عنوان ابزاری توانمند در زمانبندی تعمیرات اساسی دروگر نیشکر در شرکت کشت و صنعت امیرکبیر استفاده کردند(Zaki-Dizaji & Manjezi, 2018). مطابق با این پژوهش مشخص گردید زمانبندی و مدیریت صحیح عملیات تعمیرات سالانه دروگر، ضروری می‌باشد و انجام این تعمیرات در مدت زمان بهینه، سبب افزایش قابلیت اطمینان دروگر و راندمان عملیات برداشت و سوددهی تولید می‌گردد.

طالش حسینی و همکاران (۲۰۱۹) از شبکه برنامه‌ریزی گرت در پروژه‌های اکتشافی بهره برد و در صنایع معدنی از روش گرت استفاده نمود(Talesh-Hosseini et al., 2019). همچنین مرتضوی و همکاران (۲۰۱۹) یک الگوریتم ابتکاری بر مبنای روش گرت جهت برنامه‌ریزی فعالیت‌های پرستاران بخش مراقبت‌های ویژه یک بیمارستان ارائه دادند که به موجب آن کارهای تخصیص یافته به کلیه پرستاران به گونه‌ای تعیین گردید که زمان کل فعالیت‌های هر یک از پرستارها با یکدیگر تفاوت معناداری نداشته باشند که این امر باعث افزایش رضایتمندی پرستاران و بهبود عملکرد آن‌ها می‌گردد(Mortazavi et al, 2019). همچنین در پژوهش ساعی (۲۰۱۹) از مفاهیم روش گرت جهت واکاوی موانع و مشکلات تولید محصولات گلخانه‌ای در صنایع کشاورزی استفاده شد و مشخص گردید که بمنظور ارتقا تولید این محصولات، نیاز است به جای تاکید بر جنبه‌های فنی تولید، به رفع مشکلات بازاریابی و کمبود منابع مالی بهره‌برداران پرداخته شود(Saei, 2019). در سال ۱۴۰۰، علیایی و همکاران برای تخمین هزینه پروژه‌های احداث راه‌آهن، مدلی بر پایه سیستم عصبی–فازی پیشنهاد دادند و با توجه به شناسایی عوامل تاثیرگذار بر هزینه‌های پروژه، به پیشبینی آن پرداختند(Aliaei et al., 2021). همچنین رضایی (۲۰۲۱) بمنظور ارزش گذاری انجام یک پروژه در صنعت حفاری، الگوریتم جدیدی با استفاده از منطق فازی جهت ارزیابی خطر و ریسک موجود در پروژه احتمالی مد نظر، ارائه داد که در نتیجه استفاده از الگوریتم، اطمینان پروژه در متغیرهای پیش رو افزایش میابد(Rezaei, 2021).

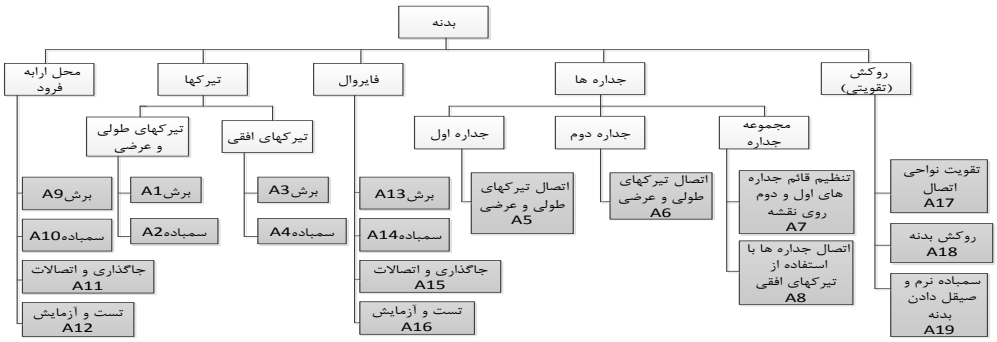
الف) معرفی هواپیما مدل

هواپیماهای مدل از دسته هواپیماهای فوق سبک (طبق تعریف مصوب سازمان بین المللی هواپیمایی کشوری، دارای وزنی کمتر از ۷۰۰ کیلوگرم) اما بدون سرنشین بشمار می‌آیند. برای ساخت، هواپیمای مدل عموما از چوب بالسا، پلی وود، فوم، پلاستوفوم، بلوفوم، کامپوزیت و ... استفاده می‌کنند. در کلیه مراحل ساخت نهایت تلاش برای کاهش وزن هواپیمای ساخته شده انجام می‌شود زیرا چند گرم وزن کمتر تاثیر زیادی در مقدورات پروازی می‌تواند ایجاد کند. طراحان بزرگ این رشته، عموما کارشان را با هواپیما مدل شروع کرده‌اند و بسیاری از طرح‌های تجربی پیش از ساخته شدن، با کمک مدل‌های مقیاسی، ارزیابی و محاسبه شده‌اند و به این ترتیب کمک شایانی به رفع اشکال و بهبود آن‌ها صورت پذیرفته است. از شاتل‌های فضایی تا هواپیماهای جنگی مدرن همگی پیش از ساخت، به کمک مدل‌ها آزمایش شده و تجربیات گرانقدری برای محققین این حوزه، حاصل گردیده است. هواپیماهای مدل با توجه به کاربردهای متنوعی که در حوزه‌های نظامی اعم از فعالیت‌های پژوهشی، شناسایی و تجسس، عکس‌برداری و فیلم‌برداری، مانور و حرکات تمرینی و ... دارند، بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند.

سطح یک ساختار WBS یا همان قسمت‌های اصلی هواپیما مدل به صورت شکل زیر می‌باشد:

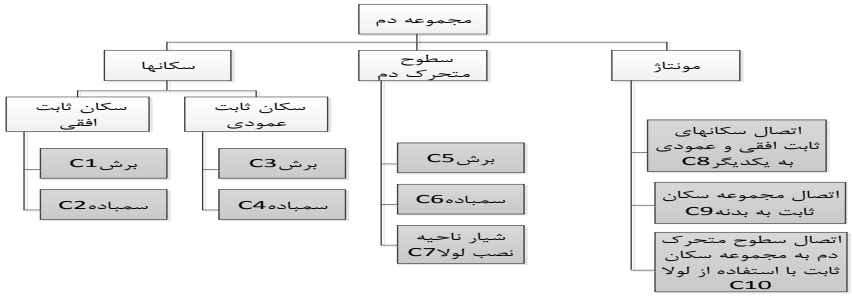
شکل شماره (۱): سطح اول ساختار WBS هواپیما مدل

ساختار شکست بدنه هواپیما به شکل ۲ می‌باشد:



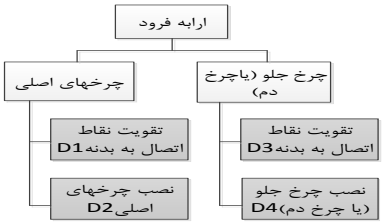
شکل شماره (۲): ساختار شکست بدنه هواپیما

ساختار شکست مجموعه دم هواپیما مدل به شرح زیر می‌باشد:



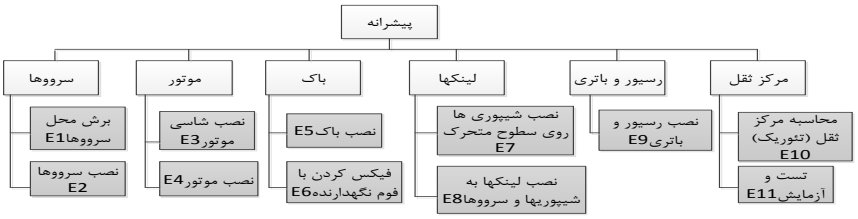
شکل شماره (۳): ساختار شکست مجموعه دم هواپیما مدل

ساختار شکست ارابه فرود هواپیما مدل به صورت شکل ۴ می‌باشد:



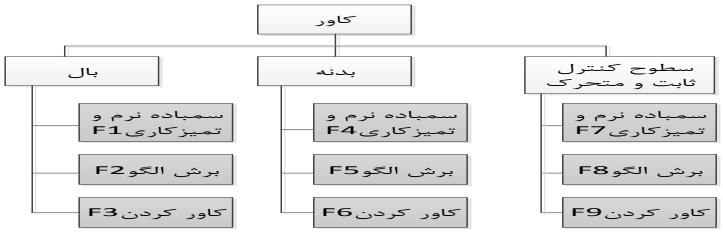
شکل شماره (۴): ساختار شکست ارابه فرود هواپیما مدل

قسمت‌های تشکیل دهنده و ساختار شکست پیشرانه هواپیما مدل در تصویر شکل ۵ قابل مشاهده می‌باشد.



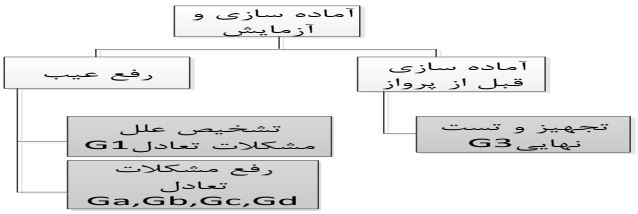
شکل شماره (۵): ساختار شکست پیشرانه هواپیما مدل

ساختار شکست کاور هواپیما مدل به صورت شکل ۶ می‌باشد:



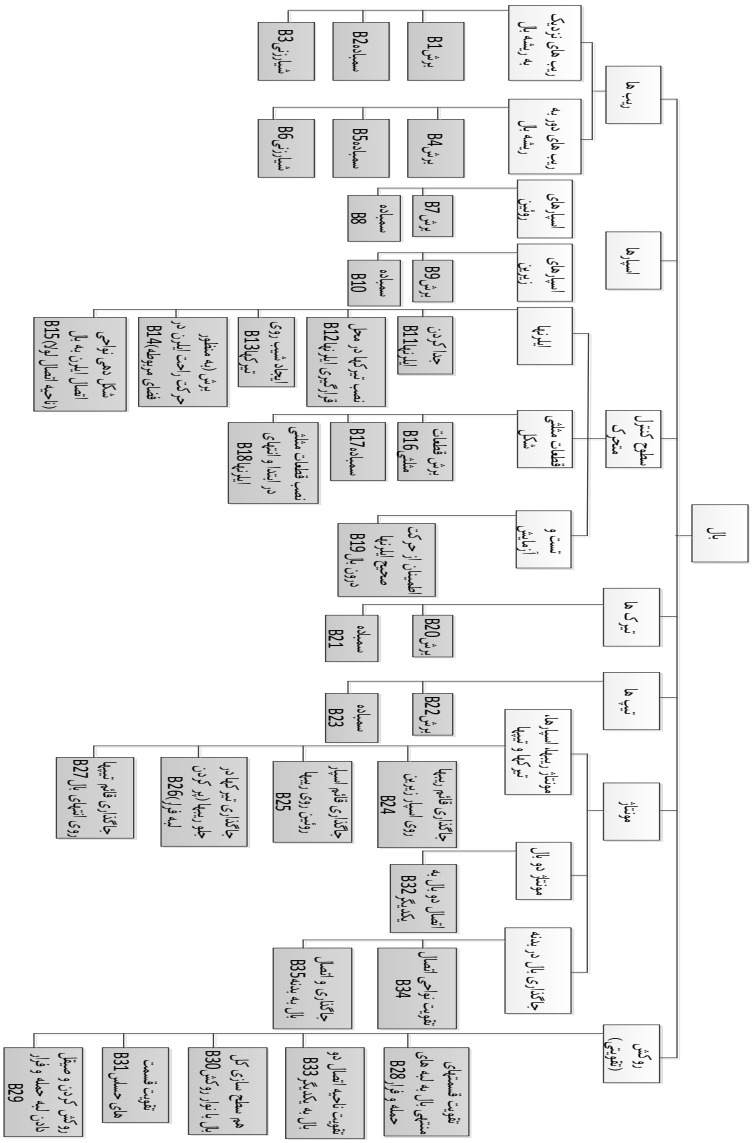
شکل شماره (۶): ساختار شکست کاور هواپیما مدل

موارد لازم جهت آماده‌سازی و آزمایش هواپیما مدل در ساختار شکست شکل ۷ قابل مشاهده می‌باشد:



شکل شماره (۷): ساختار شکست آماده‌سازی و آزمایش هواپیما مدل

ساختار شکست بال هواپیما به صورت شکل ۸ می‌باشد.

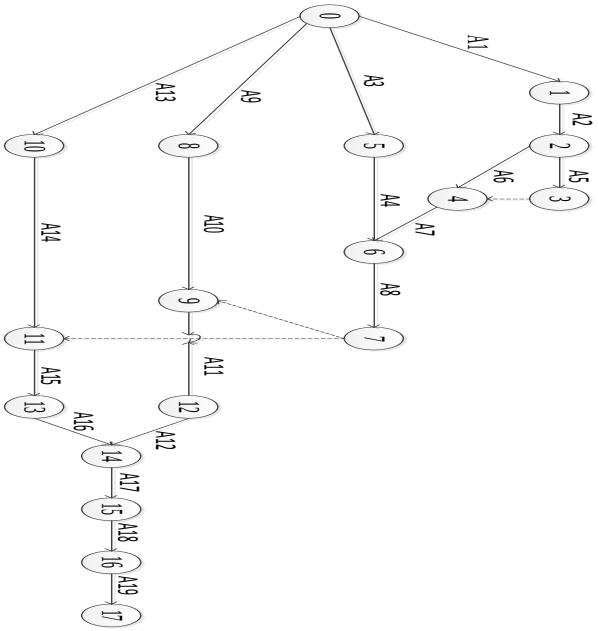


شکل شماره (۸): ساختار شکست بال هواپیما مدل

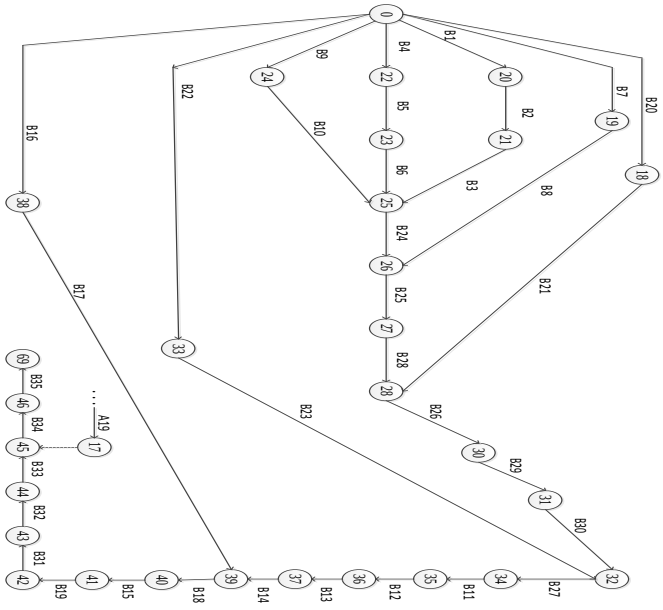
نکته: همانگونه که می‌دانیم، سطوح آخر ساختار WBS که با رنگ تیره مشخص شده‌اند، فعالیت‌های پروژه می‌باشند که جهت انجام هر یک از آن‌ها، نیاز به صرف منابع و زمان می‌باشد.

ب) شبکه مبتنی بر مفاهیم روش گرت برای پروژه ساخت هواپیما مدل

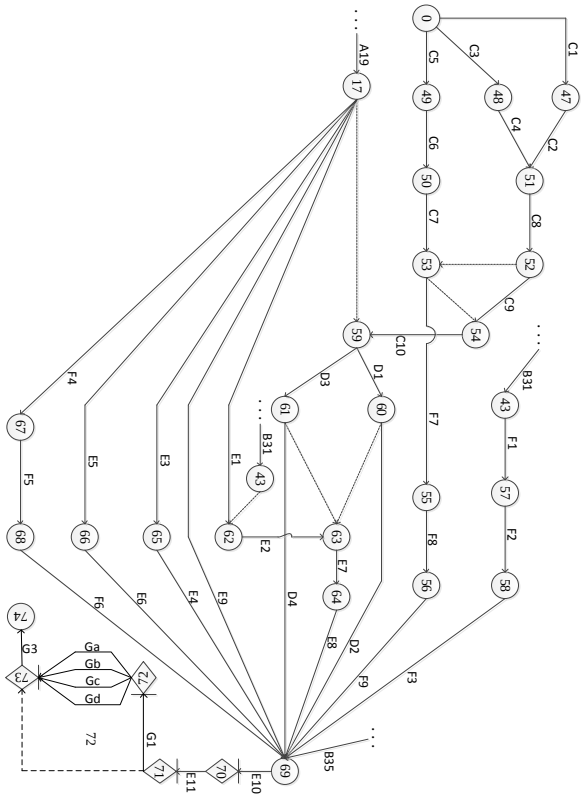
شبکه طراحی شده مبتنی بر روش گرت برای پروژه ساخت هواپیما مدل با توجه به فعالیت‌های لازم و روابط بین فعالیت‌ها، به تفکیک سه شکل (صرفا جهت نمایش بهتر در صفحه) در ادامه ارائه می‌گردد.



شکل شماره (۹): شبکه پروژه ساخت هواپیما مدل (قسمت اول)



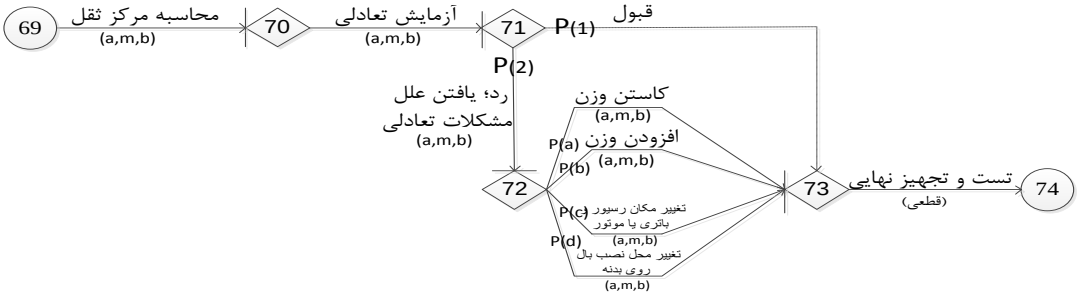
شکل شماره (۱۰): شبکه پروژه ساخت هواپیما مدل (قسمت دوم)



شکل شماره (۱۱): شبکه پروژه ساخت هواپیما مدل (قسمت سوم)

ج) شبکه احتمالی پروژه ساخت هواپیما مدل

مطابق با شرح پروژه ساخت هواپیما مدل و ساختار WBS مربوطه و شبکه پروژه، قسمت احتمالی پروژه ساخت هواپیما مدل که مورد بررسی این پژوهش قرار دارد به شکل شبکه نشان داده شده در شکل زیر می‌باشد:



شکل شماره (۱۲): بخش احتمالی شبکه پروژه ساخت هواپیما مدل

مطابق با شبکه ترسیم شده، پس از تکمیل مراحل ساخت هواپیما مدل که همگی از فعالیت‌های روتین و قطعی تشکیل شده‌اند، نیاز است مرکز ثقل هواپیما به صورت تئوریک محاسبه گردد. از آنجا که نحوه ساخت و دقت در انجام تک تک فعالیت‌های پیشین چه در زمینه ساخت و چه در زمینه مونتاژ قسمت‌های مختلف، تاثیر زیادی بر زمان لازم برای محاسبه مرکز ثقل هواپیما دارد، فعالیت محاسبه مرکز ثقل یک فعالیت قطعی با زمان احتمالی می‌باشد. پارامترهای نشان داده شده برای هر یک از فعالیت‌ها با زمان احتمالی مطابق با مفاهیم روش پرت به صورت (a,m,b)، بیانگر زمان‌های خوشبینانه، محتمل و بدبینانه می‌باشند.

بدیهی است که فعالیت آزمایش تعادلی نیز یک فعالیت قطعی با زمان احتمالی می‌باشد؛ چرا که به محض مشاهده خلل تعادلی، تست متوقف و هواپیما جهت یافتن علت عدم تعادل به بخش مربوطه منتقل می‌شود. بنابراین ممکن است تست تعادلی مدت زمان کوتاهی به طول بینجامد و یا با پشت سر گذاشتن کلیه تست‌های مربوطه، هواپیما تست تعادلی را با موفقیت پشت سر

گذاشته و جهت تست و تجهیز نهایی مورد ارزیابی و آماده‌سازی پایانی قرار گیرد. پس زمان انجام فعالیت "آزمایش تعادلی"، احتمالی می‌باشد. پس از انجام تست تعادلی، نتیجه از دو حالت خارج نخواهد بود:

۱) رد شدن در تست تعادلی

۲) قبولی در تست تعادلی

همانگونه که مشاهده می‌شود در اینجا شاخه‌های احتمالی مشاهده می‌گردد که هر کدام از شاخه‌ها با احتمال‌های خاصی به وقوع می‌پیوندند. در صورت قبولی در تست تعادل، هواپیما جهت انجام فعالیت تست و تجهیز نهایی به بخش بعد منتقل می‌شود و در صورت عدم تایید در تست تعادلی، هواپیما جهت تشخیص علت عدم تعادل، مورد بررسی قرار می‌گیرد. از آنجا که تشخیص علت عدم تعادل با انجام آزمایش‌های متنوع امکان پذیر است، زمان انجام این فعالیت احتمالی می‌باشد. پس از تشخیص علت عدم تعادل، تلاش جهت رفع مشکلات تعادلی آغاز می‌گردد. همانگونه که در گذشته بیان شد، رفع مشکلات تعادلی هواپیما می‌تواند به یکی از طرق زیر قبل از تجهیز و تست نهایی اعمال شود:

۱- کاهش وزن یک قسمت خاص از طریق روش‌های ممکن (Ga)

۲- اضافه کردن وزن در قسمت کم وزن (Gb)

۳- تغییر محل نصب موتور روی شاسی یا جابجا کردن مکان رسیور و باتری (Gc)

۴- تغییر محل نصب بال روی بدنه (Gd)

انجام هر یک از فعالیت‌های بیان شده جهت برطرف کردن مشکلات تعادلی هواپیما، با توجه به وخامت مشکل و محاسبات دقیق و فنی مربوطه، دارای زمان احتمالی می‌باشد. با توجه به اینکه پس از تکمیل مراحل ساخت هواپیما مدل، محاسبه مرکز ثقل به صورت تئوریک انجام می‌پذیرد، احتمال بروز مشکلات تعادلی در هواپیما ابتدا زیاد است. به همین منظور با پشت سر گذاشتن تست‌های متنوع در فعالیت انجام تست‌های تعادلی، مرکز ثقل خیلی ملموس‌تر و دقیق‌تر مشخص می‌گردد و در صورت وجود خلل تعادلی، با تشخیص علت عدم تعادل و برطرف کردن مشکل بالانس هواپیما به یکی از روش‌های تشریح شده، هواپیما آماده تجهیز و تست نهایی پرواز می‌گردد.

د) مفروضات پروژه ساخت هواپیما مدل

۱) با توجه به مراحل ساخت هواپیما مدل و شبکه ترسیم شده، شبکه پروژه در گره شماره ۶۹ به دو بخش قطعی و احتمالی تقسیم می‌گردد. از گره آغازین تا گره شماره ۶۹، کلیه شاخه‌ها قطعی و زمان لازم جهت انجام هر یک از فعالیت‌های پروژه، قطعی و مشخص می‌باشد.

۲) هزینه در واحد زمان جهت انجام هر یک از فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما مدل، قطعی و مشخص می‌باشد.

۳) پارامترهای احتمالی موجود در پروژه مورد بررسی شامل احتمال‌های وقوع هر یک از شاخه‌های احتمالی شبکه گرت و زمان-های خوشبینانه، محتمل و بدبینانه مربوط به هر فعالیت با زمان احتمالی، توسط مدیران سطح بالا و بر اساس تجربیات و دانش فنی کسب شده در سطوح مختلف مدیریتی و اجرایی، تعیین می‌شوند و به عنوان داده به الگوریتم پیشنهادی وارد می‌شوند.

۴) با توجه به ماهیت خاص پروژه ساخت هواپیما و شبکه رسم شده برای پروژه، بدیهی است تمام مفروضات مربوط به قواعد موجود در شبکه‌های AOA نظیر رعایت پیشنیازی و...در اینجا نیز برقرار است.

همانطور که مشاهده گردید، پروژه مورد بررسی به صورت شبکه‌ای شامل فعالیت‌های احتمالی و همچنین زمان‌های احتمالی برای انجام هر فعالیت تعریف می‌گردد. با عنایت به این موضوع، الگوریتمی بر پایه روش گرت و شبیه‌سازی مونت کارلو جهت ارائه راه‌حل مطلوب و پرسش به سوال‌های اساسی مد نظر شخص برنامه‌ریز نظیر زمان و هزینه مورد انتظار تکمیل پروژه، پیشنهاد می‌گردد. در محاسبات روش پرت، امکان بروز خطا در محاسبات وجود دارد که بمنظور حل این مشکل، استفاده از مفاهیم شبیه‌سازی بسیار کاربردی می‌باشد. در ادامه پس از مطرح شدن امکان بروز خطا در محاسبات زمانی روش پرت و کاربرد روش شبیه‌سازی جهت حل این مشکل، الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌گردد.

ه) امکان خطا در زودترین زمان وقوع رویدادها و ختم پروژه

در محاسبات زمانی شبکه‌های احتمالی پرت، برای تعیین زمان وقوع رویدادهای جمع شونده در مسیر پیشرو، براساس مجموع مقدار متوسط مدت زمان اجرای فعالیت‌های قبلی، ماکزیمم مقدار بدست آمده قرار می‌گیرد. پیروی از چنین دستورالعملی خارج از اشکال نیست؛ زیرا اگر انتخاب مقدار زمان ماکزیمم از بین دو مسیری باشد که اختلاف بین مدت زمان آن‌ها ناچیز است و مقدار پراکندگی مسیر طولانی‌تر نسبتا زیاد باشد، با توجه به احتمالی بودن زمان‌ها واضح است که این امکان وجود دارد که مسیر دیگر بحرانی شود و در نتیجه منجر به بی‌ثمر شدن محاسبات گردد. بعبارت دیگر این اشکال از آنجا ناشی می‌شود که در هنگام محاسبه زودترین زمان مورد انتظار وقوع رویداد برای یک رویداد جمع‌شونده عامل واریانس مسیرهای منتهی به آن رویداد در نظر گرفته نمی‌شود. راه‌های مختلفی برای رفع خطا پیشنهاد شده است که از بین آن‌ها روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو کاربرد بیشتری دارد.

و) استفاده از شبیه سازی مونت‌کارلو جهت رفع خطا

در روش پرت و محاسبات مربوطه، محاسبات مسیرهای پیشرو و پسرو بر اساس زمان میانگین فعالیت‌ها و واریانس آن‌ها صورت می‌گرفت که باعث بوجود آمدن خطاهای اشاره شده می‌گردید. در روش شبیه سازی مونت‌کارلو بجای در نظرگرفتن زمان میانگین هر فعالیت در محاسبات، فرض می‌کنیم که پروژه در حال اجراست؛ بنابراین هر فعالیت بالاخره در یک زمان قطعی در بازه [a,b] انجام می‌شود. این زمان قطعی برای هر فعالیت با استفاده از روش معکوس در بازه [a,b] مربوط به آن فعالیت تولید می‌شود. حال این زمان‌های قطعی را به‌عنوان زمان هر فعالیت در نظر گرفته و محاسبات مسیرهای پیشرو و پسرو را عینا به‌روش الگوریتم CPM انجام می‌دهیم. در مرحله بعد مجددا به تولید اعداد در بازه [a,b] هر فعالیت، به‌عنوان زمان آن فعالیت پرداخته و دوباره محاسبات مسیرهای پیشرو و پسرو را به روش *CPM* انجام می‌دهیم. این فرآیند را به‌تعداد زیاد انجام می‌دهیم و در پایان نتایج را جمع‌آوری و بررسی می‌کنیم. چون اعدادی که در بازه [a,b] هر فعالیت تولید می‌شوند بطور تصادفی ایجاد شده‌اند، بنابراین هر بار زمان فعالیت‌ها متفاوت از حالت قبلی خواهد شد. بعبارت دیگر اگر این فرآیند را صدها بار تکرار کنیم، مثل این است که پروژه را صدها بار در عمل انجام داده‌ایم و هربار چون زمان فعالیت‌ها متفاوت از حالت قبلی شده است، مسیر بحرانی و زمان پایان پروژه نیز متفاوت از حالت قبلی خواهد شد. لازم به توضیح است که چون تکرار فرآیند تولید زمان‌های تصادفی برای فعالیت‌ها و محاسبات CPM و نیز استخراج نتایج توسط کامپیوتر در زمان کمی صورت می‌گیرد، بنابراین هیچ‌گونه نگرانی از جهت حجم محاسبات و زمان محاسبه وجود نخواهد داشت (Sabzehparvar, 2011).

ز) الگوریتم پیشنهادی بر پایه مفاهیم روش گرت و شبیه‌سازی مونت‌کارلو

جهت ارائه یک روش جامع بمنظور مدیریت و کنترل پروژه‌های احتمالی گرت به صورتی که در پروژه هم شاخه‌های احتمالی و هم زمان‌های احتمالی وجود داشته باشند، روشی مطابق با گام‌های زیر توسط محقق پیشنهاد می‌گردد:

گام یک: تعداد تکرار لازم جهت شبیه‌سازی سیستم را تعریف کنید و وارد حلقه شبیه‌سازی شوید.

گام دو: به تعداد تکرار شبیه‌سازی، مراحل زیر را تکرار کرده و نتایج را در هر مرحله ذخیره کنید.

گام سه: زمان وقوع گره آغازین را برابر با صفر قرار داده و به گام چهارم بروید.

گام چهار: مطابق با شبکه پروژه و به ترتیب شماره گذاری گره‌ها که به نوعی روابط پیشنیازی بین فعالیت‌های پروژه را نشان می‌دهند، در مسیر پروژه در جهت انجام فعالیت‌ها پیش رفته و زمان پروژه را در هر مرحله و پس از انجام هر فعالیت به روز کنید.

ذکر دو نکته در این قسمت ضروری می‌باشد:

اولا، در صورتی که از یک گره چندین شاخه احتمالی منشعب گردیده است، با توجه به مفاهیم شبیه‌سازی مونت کارلو و احتمال وقوع هر یک از شاخه‌ها، با استفاده از توزیع تجمعی احتمال و تولید یک عدد تصادفی، یکی از شاخه‌ها جهت انجام، انتخاب می‌گردد. ثانیا، چنانچه زمان انجام یک فعالیت احتمالی بود، با توجه به مفاهیم روش پرت و زمان‌های خوشبینانه، محتمل و بدبینانه تعریف شده برای هر فعالیت با زمان احتمالی و همچنین با توجه به مفاهیم شبیه‌سازی مونت‌کارلو و احتمال رخداد هر یک از زمان‌های خوشبینانه، محتمل و بدبینانه، با استفاده از توزیع تجمعی احتمال و تولید یک عدد تصادفی، زمان لازم جهت تکمیل آن فعالیت تعیین می‌گردد.

گام پنج: مطابق با مفاهیم شبکه و گام چهار، شاخه‌ها و زمان‌های تعیین شده برای فعالیت‌ها را به عنوان شاخه‌ها و زمان‌های قطعی در نظر گرفته و متناسب با روش مسیر بحرانی تلاش جهت برآورد زمان لازم برای تکمیل پروژه انجام می‌گردد.
گام شش: با تعیین شاخه‌ها و زمان‌های مربوط به مباحث احتمالی و همچنین با توجه به فرض مشخص بودن هزینه در واحد زمان لازم جهت تکمیل هر فعالیت، هزینه لازم جهت انجام هر فعالیت و هزینه انجام کلیه فعالیت‌های پروژه برآورد می‌گردد.
گام هفت: نتایج حاصل از تکرار فعلی شبیه‌سازی را ذخیره کرده و اگر کلیه تکرارهای شبیه‌سازی انجام شده است به گام بعدی رفته و در غیر این صورت به گام سه بروید.
گام هشت: با پایان کلیه تکرارهای شبیه‌سازی، الگوریتم پایان یافته و با توجه به نتایج حاصل از هر تکرار شبیه‌سازی و محاسبات مربوط به توزیع نرمال و قضیه حد مرکزی در روش گرت، زمان و هزینه مورد انتظار لازم جهت تکمیل پروژه برآورد می‌گردد.
ح) الگوریتم پیشنهادی جهت مدیریت پروژه ساخت هواپیما مدل
با عنایت به این موضوع که هر پروژه بنا به ماهیت خاص خود و شرایط و مفروضات موجود، منحصر به فرد می‌باشد و با توجه به ماهیت خاص پروژه مورد بررسی و وجود زمان‌ها و فعالیت‌های احتمالی و با توجه به شبکه پروژه و روابط بین فعالیت‌ها، الگوریتم پیشنهادی محقق مطابق با گام‌های زیر جهت ارائه راه‌حل مطلوب بمنظور برآورد هرچه بهتر زمان مورد انتظار تکمیل پروژه، هزینه مورد انتظار تکمیل پروژه و ...، معرفی می‌گردد:
گام ۱- پروژه را به دو بخش قطعی و احتمالی تقسیم نموده و محاسبات بخش اول که تمامی فعالیت‌ها و زمان انجام آن‌ها قطعی می‌باشد، مطابق با روش مسیر بحرانی انجام می‌گردد. با انجام محاسبات در نهایت با توجه به قطعیت پارامترهای مربوط به زمان و هزینه لازم جهت انجام هر فعالیت، زمان و هزینه تکمیل بخش اول پروژه استخراج می‌گردد که این مقدار با توجه به قطعیت شبکه چه برای زمان و چه برای مبحث هزینه، یک مقدار ثابت می‌باشد. زمان تکمیل پروژه در بخش اول را L و هزینه انجام فعالیت‌ها جهت تکمیل بخش اول پروژه را C نامیده و گام دوم مربوط به شروع محاسبات قسمت دوم پروژه آغاز می‌گردد.
گام ۲- تعداد تکرار لازم جهت شبیه‌سازی سیستم با نظر تصمیم‌گیرنده تعیین می‌گردد.
گام ۳- تابع توزیع تجمعی زمان و بازه مربوطه با توجه به مفاهیم تشریح شده در روش پرت برای هر یک از فعالیت‌های محاسبه مرکز ثقل، انجام آزمایش تعادلی، یافتن علل مشکلات تعادلی، کاستن وزن، افزودن وزن، جابجایی رسیور و باطری و یا موتور و جابجایی بال روی بدنه که دارای زمان احتمالی می‌باشند، به ترتیب جدول ۱ استخراج می‌گردد.
با توجه به مقادیر a و m و b برای هر فعالیت و رابطه $t_e = \mu = \frac{a + ۴m + b}{۶}$ داریم:

جدول شماره (۱): احتمال تجمعی و بازه تجمعی برای فعالیت‌های با زمان احتمالی

	احتمال وقوع	احتمال تجمعی	بازه تجمعی
زمان خوشبینانه a	۱/۶	۱/۶	۰ تا ۱۶/۶۶۶
زمان محتمل m	۴/۶	۴/۶+۱/۶	۱۶/۶۶۶ تا ۸۳/۳۳۴
زمان بدبینانه b	۱/۶	۱/۶+۴/۶+۱/۶	۸۳/۳۳۴ تا ۱۰۰

گام ۴- تابع توزیع تجمعی و بازه مربوطه برای وقوع و عدم وقوع شاخه‌های احتمالی خروجی از گره ۷۱ به ترتیب جدول ۲ استخراج می‌گردد:

جدول شماره (۲): احتمال تجمعی و بازه تجمعی برای فعالیت‌های احتمالی خروجی از گره ۷۱

	احتمال وقوع	احتمال تجمعی	بازه تجمعی
شاخه قبولی در تست تعادلی	P(1)	P(1)	۰ تا P(1)
شاخه رد در تست تعادلی	P(2)	P(1)+P(2)	P(1) تا P(1)+P(2)

✓ نکته: بدیهی است $P(۱) + P(۲) = ۱$

گام ۵- تابع توزیع تجمعی و بازه مربوطه برای وقوع و عدم وقوع شاخه‌های احتمالی خروجی از گره ۷۲ به ترتیب جدول ۳ استخراج می‌گردد:

جدول شماره (۳): احتمال تجمعی و بازه تجمعی برای فعالیت‌های احتمالی خروجی از گره ۷۲

	احتمال وقوع	احتمال تجمعی	بازه تجمعی
روش کاستن وزن	P(a)	P(a)	۰ تا P(a)
روش افزودن وزن	P(b)	P(a) + P(b)	P(a) تا P(a)+P(b)
روش تغییر مکان رسیور و باتری یا موتور	P(c)	P(a)+P(b)+P(c)	P(a)+P(b) تا P(a)+P(b)+P(c)
روش تغییر محل نصب بال روی بدنه	P(d)	P(a)+P(b)+P(c)+P(d)	P(a)+P(b)+P(c) تا P(a)+P(b)+P(c)+P(d)

✓ بدیهی است $P(a)+P(b)+P(c)+P(d)=1$

گام ۶- تکرار شبیه‌سازی را برابر با یک قرار داده و وارد حلقه تکرارهای شبیه‌سازی شوید.

گام۷- به ازای فعالیت محاسبه مرکز ثقل، یک عدد تصادفی بمنظور برآورد زمان آن فعالیت تولید کرده و با توجه به جدول ۳-۵ موجود در گام ۳ مربوط به آن فعالیت، زمان انجام فعالیت T(1) استخراج و به زمان پروژه افزوده می‌گردد L=L+T(1). همچنین با توجه به پارامتر هزینه در واحد زمان برای انجام فعالیت محاسبه مرکز ثقل و زمان انتخاب شده برای انجام این فعالیت، هزینه لازم جهت انجام فعالیت C(1) استخراج و به هزینه پروژه افزوده می‌گردد C=C+C(1).

گام ۸- به ازای فعالیت انجام آزمایش تعادلی، یک عدد تصادفی بمنظور برآورد زمان آن فعالیت تولید کرده و با توجه به جدول ۱ موجود در گام ۳ مربوط به آن فعالیت، زمان انجام فعالیت T(2) استخراج و به زمان پروژه افزوده می‌گردد L=L+T(2). همچنین با توجه به پارامتر هزینه در واحد زمان برای انجام فعالیت آزمایش تعادلی و زمان انتخاب شده برای انجام این فعالیت، هزینه لازم جهت انجام فعالیت C(2) استخراج و به هزینه پروژه افزوده می‌گردد C=C+C(2).

گام ۹- عدد تصادفی اول گرت به منظور انتخاب یکی از شاخه‌های احتمالی قبول یا رد تست تعادلی را تولید کرده با توجه به جدول ۲ موجود در گام ۴، وقوع و عدم وقوع دو شاخه خروجی از گره شماره ۷۱ مشخص می‌گردد.

گام ۱۰- اگر در گام قبل شاخه رد تست تعادلی انتخاب گردید، به گام ۱۱ بروید؛ در غیر این صورت در گام قبل شاخه قبول تست تعادلی انتخاب گردیده است؛ بنابراین زمان قطعی انجام فعالیت تست و تجهیز نهایی T(5) را به زمان پروژه افزوده و زمان نهایی تکمیل پروژه برابر با L=L+T(5) محاسبه می‌گردد. همچنین هزینه قطعی انجام فعالیت تست و تجهیز نهایی C(5) را به هزینه پروژه افزوده و هزینه نهایی تکمیل پروژه برابر با C=C+C(5) محاسبه می‌گردد. زمان و هزینه نهایی تکمیل پروژه را در این تکرار شبیه‌سازی ذخیره کرده و اگر در تکرار آخر شبیه‌سازی قرار ندارید، تکرار شبیه‌سازی را یک شماره جلو برده و به گام ۷ بروید. همچنین اگر در تکرار آخر شبیه‌سازی قرار دارید، الگوریتم پایان می‌پذیرد.

گام ۱۱- به ازای فعالیت تشخیص علت عدم تعادل، یک عدد تصادفی بمنظور برآورد زمان آن فعالیت تولید کرده و با توجه به جدول ۱ موجود در گام ۳ مربوط به آن فعالیت، زمان انجام فعالیت T(3) استخراج و به زمان پروژه افزوده می‌گردد L=L+T(3). همچنین با توجه به پارامتر هزینه در واحد زمان برای انجام فعالیت تشخیص علت عدم تعادل و زمان انتخاب شده برای انجام این فعالیت، هزینه لازم جهت انجام فعالیت C(3) استخراج و به هزینه پروژه افزوده می‌گردد C=C+C(3).

گام ۱۲- عدد تصادفی دوم گرت به منظور انتخاب یکی از شاخه‌های احتمالی رفع عیب تعادلی را تولید کرده با توجه به جدول ۳ موجود در گام ۵، وقوع و عدم وقوع هر یک شاخه خروجی از گره شماره ۷۲ مشخص می‌گردد.

گام ۱۳- در گام قبل یکی از شاخه‌های ۴گانه رفع عیب تعادل انتخاب می‌گردد. به ازای شاخه انتخاب شده، یک عدد تصادفی بمنظور برآورد زمان آن فعالیت تولید کرده و با توجه به جدول ۱ موجود در گام ۳ مربوط به آن فعالیت، زمان انجام آن فعالیت T(4) استخراج و به زمان پروژه افزوده می‌گردد L=L+T(4). همچنین با توجه به پارامتر هزینه در واحد زمان و زمان انتخاب شده برای انجام فعالیت، هزینه لازم جهت انجام فعالیت C(4) استخراج و به هزینه پروژه افزوده می‌گردد C=C+C(4).

گام ۱۴- زمان قطعی انجام فعالیت تست و تجهیز نهایی T(5) را به زمان پروژه افزوده و زمان نهایی تکمیل پروژه برابر با L=L+T(5) محاسبه می‌گردد. همچنین هزینه قطعی انجام فعالیت تست و تجهیز نهایی C(5) را به هزینه پروژه افزوده و هزینه نهایی تکمیل پروژه برابر با C=C+C(5) محاسبه می‌گردد. زمان و هزینه نهایی تکمیل پروژه را در این تکرار شبیه‌سازی ذخیره کرده و اگر در تکرار آخر شبیه‌سازی قرار ندارید، تکرار شبیه‌سازی را یک شماره جلو برده و به گام ۷ بروید. همچنین اگر در تکرار آخر شبیه‌سازی قرار دارید، الگوریتم پایان می‌پذیرد.

۳- نتایج و بحث

در ادامه، با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، نتایج حاصل تشریح میگردد.

الف) پارامترهای پروژه

با توجه به نوظهور بودن انجام پروژه ساخت هواپیما مدل در کشور عزیزمان ایران و با توجه به لزوم برآورد صحیح پارامترها و داده‌های پروژه، بنا به نظر دو کارشناس و متخصص در حوزه علوم هواپیمایی به برآورد داده‌های پروژه ساخت هواپیما مدل پرداخته شده است. با توجه به شبکه تشریح شده پروژه و با عنایت به کد هر یک از فعالیت‌ها، داده‌ها و پارامترهای بخش احتمالی پروژه ساخت هواپیما مدل به شرح جدول ۴ می‌باشد.

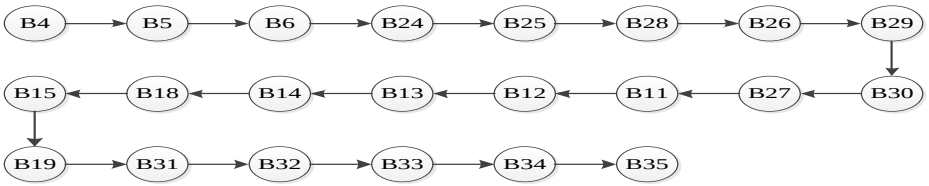
جدول شماره (۴): پارامترهای بخش احتمالی پروژه ساخت هواپیما مدل

فعالیت	زمان فعالیت (نفر- ساعت)				احتمال وقوع شاخه (احتمال انجام فعالیت)			هزینه واحد فعالیت (هزار تومان)	
	زمان خوشبینانه محتمل و بدبینانه	کارشناس ۱	کارشناس ۲	زمان نهایی (میانگین)	کارشناس ۱	کارشناس ۲	احتمال نهایی (میانگین)	نوع فعالیت	هزینه یک نفر-ساعت
E10	a	۲	۴	۳	۱	۱	۱	تخصصی	۴۰
	m	۶	۶	۶					
	b	۱۲	۱۲	۱۲					
E11	a	۴	۴	۴	۱	۱	۱	تخصصی	۴۰
	m	۱۲	۱۱	۱۱/۵					
	b	۱۴	۱۵	۱۴/۵					
G1	a	۶	۸	۷	۰/۹	۰/۸۵	۰/۸۷۵	تخصصی	۴۰
	m	۸	۱۰	۹					
	b	۱۶	۱۶	۱۶					
Ga	a	۱۰	۱۲	۱۱	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱	تخصصی	۴۰
	m	۱۸	۱۸	۱۸					
	b	۲۰	۲۲	۲۱					
Gb	a	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۴۵	۰/۴۲۵	تخصصی	۴۰
	m	۲	۱	۱/۵					
	b	۳	۳	۳					
Gc	a	۸	۱۰	۹	۰/۲۵	۰/۳	۰/۲۷۵	تخصصی	۴۰
	m	۱۶	۱۶	۱۶					
	b	۲۴	۲۰	۲۲					
Gd	a	۶	۶	۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲	تخصصی	۴۰
	m	۱۲	۱۰	۱۱					
	b	۱۶	۱۶	۱۶					
G3	قطعی		۱۲		۱	۱	۱	تخصصی	۵۰

با توجه به جدول ۴، احتمال وقوع شاخه $G1$ یعنی احتمال رد شدن در تست تعادلی بنا بر نظر کارشناسان، برابر با ۰/۸۷۵ در نظر گرفته می‌شود. در نتیجه احتمال پذیرفته شدن در تست تعادلی برابر با ۰/۱۲۵ محاسبه می‌گردد. مطابق با گام‌های الگوریتم پیشنهادی که در بخش قبل تشریح گردید، قدم به قدم پیش رفته و نتایج حاصل ارائه می‌گردد.

ب) محاسبات بخش قطعی پروژه

مطابق با محاسبات روش مسیر بحرانی، زمان تکمیل بخش اول پروژه برابر با L=۷۷/۵ نفر ساعت بدست می‌آید. همچنین با توجه به قطعی بودن پارامترهای زمان و هزینه و داده‌های پروژه، هزینه تکمیل بخش قطعی پروژه برابر با C=۴۳۵۷/۵ هزار تومان تعیین می‌گردد. مطابق با نتایج بدست آمده از محاسبات زمانی پروژه به روش مسیر بحرانی، مسیر بحرانی بخش قطعی پروژه ساخت هواپیما مدل به شرح شکل ۱۳ می‌باشد:



شکل شماره (۱۳): مسیر بحرانی بخش قطعی پروژه ساخت هواپیما مدل

ج) محاسبات بخش احتمالی پروژه

با توجه به شبکه پروژه، از گره شماره ۶۹ به بعد شبکه پروژه یک شبکه احتمالی می‌باشد. تعداد تکرار لازم جهت شبیه‌سازی سیستم با نظر تصمیم‌گیرنده برابر با ۲۰۰ تکرار در نظر گرفته می‌شود. با توجه به گام‌های الگوریتم پیشنهادی و همچنین با عنایت به پارامترها و داده‌های پروژه مورد بررسی پژوهش حاضر، پس از۲۰۰ تکرار شبیه‌سازی حاصل از بکارگیری الگوریتم پیشنهادی (با کدینگ صورت گرفته در نرم‌افزار متلب) برای مدیریت و زمانبندی پروژه ساخت هواپیما مدل، نتایج زیر استخراج می‌گردد:

زمان مورد انتظار برای تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل برابر با ۱۲۲/۷۳ نفر- ساعت بدست می‌آید که این مقدار از میانگین زمان‌های تکمیل حاصل از ۲۰۰ تکرار شبیه‌سازی پروژه اخذ گردیده است. بیشترین زمان لازم برای تکمیل پروژه برابر با ۱۴۲ نفر- ساعت و کمترین زمان لازم برای تکمیل پروژه برابر با ۹۶/۵ نفر- ساعت بدست آمده است؛ در نتیجه انتظار می‌رود حد بالای زمان لازم برای تکمیل پروژه برابر با ۱۴۲ نفر- ساعت و حد پایین زمان لازم برای تکمیل پروژه برابر با ۹۶/۵ نفر- ساعت باشد.

هزینه مورد انتظار برای تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما مدل که با نیروی انسانی در ارتباط است برابر با ۶۲۸۶/۹ هزار تومان بدست می‌آید. بیشترین هزینه لازم جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه برابر با ۷۰۵۷/۵ هزار تومان و کمترین هزینه لازم جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه برابر با ۵۲۳۷/۵ هزار تومان بدست آمده است؛ بنابراین انتظار می‌رود حد بالای هزینه لازم برای تکمیل فعالیت‌های پروژه برابر با ۷۰۵۷/۵ هزار تومان و حد پایین هزینه لازم برای تکمیل آن برابر با ۵۲۳۷/۵ هزار تومان باشد.

با توجه به نتایج حاصل از ۲۰۰ تکرار شبیه‌سازی پروژه، تعداد انتخاب شاخه کاستن وزن برای رفع مشکل تعادلی هواپیما برابر با ۱۴ مرتبه بدست آمده است؛ در نتیجه احتمال مورد انتظار برای انجام این فعالیت قبل از شروع پروژه برابر با ۰/۰۸ محاسبه می‌گردد. همچنین این احتمال در مورد فعالیت‌های افزودن وزن برابر با ۰/۴۱، تغییر مکان رسیور، باتری یا موتور برابر با ۰/۳۴ و تغییر محل نصب بال روی بدنه برابر با ۰/۱۷ محاسبه می‌گردد.

د) تجزیه و تحلیل نتایج

با توجه به خروجی الگوریتم پیشنهادی که به برآورد متغیرهایی همچون زمان لازم برای تکمیل فعالیت‌های پروژه می‌پردازد، جهت بررسی صحت یک ادعا با در نظر گرفتن یک ضریب اطمینان خاص، از آزمون‌های فرض استفاده می‌شود. در اینگونه آزمون‌های آماری با توجه به مبانی تئوریک علم آمار مهندسی، بررسی صحت یک ادعا با توجه به شرایط آزمون، نمونه‌ها، مقادیر مورد بحث و ...، در یک بازه اطمینان مشخص، بررسی می‌گردد. مطابق با نتایج بدست آمده از بکارگیری الگوریتم پیشنهادی در پروژه ساخت هواپیما مدل، نتایج حاصل از برآورد هر یک از متغیرهای تصادفی در هر تکرار شبیه‌سازی تعیین گردید و از خروجی

حاصل (نمونه‌های تصادفی برآورد شده) جهت انجام آزمون‌های آماری، استفاده می‌گردد. شایان ذکر است در پژوهش حاضر کلیه آزمون‌ها در سطح معناداری ۹۵ درصد (حداکثر ۵ درصد خطا) صورت می‌پذیرند.

ه) بررسی ادعای ساخت هواپیما در یک زمان تعیین شده

با توجه به مفاهیم پروژه ساخت هواپیما مدل و ماهیت و ویژگی‌های خاص موجود در آن، فرض می‌شود سفارش برای ساخت پروژه هواپیما مدل در حداکثر ۱۳۰ نفر– ساعت وجود دارد. بنابراین مدیر پروژه با توجه به خروجی حاصل از ۲۰۰ تکرار شبیه-سازی پروژه توسط الگوریتم پیشنهادی، ادعا می‌کند که تیم ساخت هواپیما قادر است پروژه ساخت هواپیما مدل را مطابق با شبکه تشریح شده، در کمتر از ۱۳۰ واحد نفر– ساعت تکمیل کند. به منظور بررسی ادعای مدیر پروژه مبنی بر امکان ساخت و تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل در کمتر از ۱۳۰ واحد نفر– ساعت، آزمون فرض به این شکل مطرح می-گردد:

$$\begin{cases} H_0 : \mu = 130 \\ H_1 : \mu < 130 \end{cases}$$

برای انجام آزمون مربوط به میانگین یک جامعه با اندازه نمونه بزرگ (بزرگ‌تر از ۳۰) که انحراف معیار جامعه نامعلوم است، از آزمون T استفاده می‌شود. وقتی با یک نمونه تصادفی بزرگ به اندازه $n \geq ۳۰$ از جامعه‌ای که لزوما نرمال نیست ولی واریانس متناهی دارد سر و کار داریم، می‌توان فرض نرمال بودن داده‌ها را برای انجام آزمون‌هایی که بر پایه داده‌های نرمال می‌باشند، لحاظ کرد (Freund, 2013). از آن‌جا که نمونه‌ها (مشاهدات جامعه) مستقل می‌باشند و اندازه نمونه بزرگ است (۲۰۰ مشاهده)، در نتیجه با برقرار بودن فرض‌های پایه آزمون T، از این آزمون جهت مقایسه میانگین یک جامعه با مقداری ثابت استفاده می‌شود. مطابق با نتایج بدست آمده حاصل از خروجی الگوریتم و زمان‌های تکمیل پروژه محاسبه شده در هر تکرار شبیه‌سازی، نتایج حاصل از آزمون T به شرح جدول ۵ می‌باشد.

جدول شماره (۵): نتایج آزمون فرض مربوط به زمان تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل

متغیر	تعداد مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	انحراف استاندارد	حد بالای متغیر	آماره آزمون	P-Value
زمان تکمیل پروژه	۲۰۰	۱۲۲/۷۳۵	۹/۴۱	۰/۶۶۵	۱۲۳/۸۴	-۱۰/۹۲	۰

از آن‌جا که آزمون با خطای ۵ درصد انجام می‌شود، با توجه به اینکه مقدار P-Value کوچکتر از ۰/۰۵ است، این نتیجه حاصل می‌شود: مطابق با آزمون فرض صورت گرفته، با اطمینان ۹۵ درصد، فرض صفر مبنی بر برابری زمان مورد انتظار تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل با مقدار ۱۳۰ نفر– ساعت رد می‌شود و با توجه به فرض مقابل و حد بالای محاسبه شده برای متغیر زمان تکمیل پروژه، زمان مورد انتظار تکمیل پروژه ساخت هواپیما کوچکتر از مقدار ۱۳۰ نفر– ساعت می‌باشد و ادعای مدیر پروژه مبنی بر امکان ساخت و تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما مدل در مدتی کمتر از ۱۳۰ واحد نفر– ساعت، قابل پذیرش می‌باشد.

و) بررسی ادعای تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما با هزینه تعیین شده

فرض می‌شود سازمان جهت ساخت و تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما مدل، بودجه‌ای نهایتا برابر با ۶۰۰۰ هزار تومان (شش میلیون تومان) در نظر گرفته است؛ چرا که مدعی است با چنین بودجه‌ای می‌توان کلیه فعالیت‌های موجود در شبکه پروژه ساخت هواپیما مدل را به نحو احسنت تکمیل نمود. اما با توجه به خروجی الگوریتم پیشنهادی و میانگین بدست آمده برای متغیر هزینه تکمیل فعالیت‌های پروژه، برآورد مدیر پروژه برای این متغیر با توجه به پروژه تشریح شده و داده‌ها و پارامترهای موجود، بیش از مقدار ۶۰۰۰ هزار تومان (۶۰۰۰ واحد پولی) می‌باشد. بدین منظور با توجه به خروجی حاصل از ۲۰۰ تکرار شبیه‌سازی پروژه توسط الگوریتم پیشنهادی، صحت این ادعا بررسی می‌گردد. در این حالت آزمون فرض به شکل زیر مطرح می‌گردد:

$$\begin{cases} H_0 : C = 6000 \\ H_1 : C > 6000 \end{cases}$$

مطابق با حالت قبلی، با برقرار بودن فرض‌های پایه آزمون T از این آزمون جهت مقایسه میانگین یک جامعه با مقداری ثابت استفاده می‌شود. مطابق با نتایج بدست آمده حاصل از خروجی الگوریتم و هزینه‌های تکمیل پروژه محاسبه شده در هر تکرار شبیه‌سازی، نتایج حاصل از آزمون T به شرح جدول ۶ می‌باشد.

جدول شماره (۶): نتایج آزمون فرض مربوط به هزینه تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل

متغیر	تعداد مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	انحراف استاندارد	حد پایین متغیر	آماره آزمون	P-Value
هزینه تکمیل پروژه	۲۰۰	۶۲۸۶/۹	۳۷۶/۴	۲۶/۶	۶۲۴۲/۹	۱۰/۷۸	۰

مطابق با جدول ۶، از آن‌جا که آزمون با خطای ۵ درصد انجام می‌شود، با توجه به اینکه مقدار P-Value کوچکتر از ۰/۰۵ است، این نتیجه حاصل می‌شود: مطابق با آزمون فرض صورت گرفته، با اطمینان ۹۵ درصد، فرض صفر مبنی بر برابری هزینه مورد انتظار تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما مدل با مقدار ۶۰۰۰ هزار تومان رد می‌شود و با توجه به فرض مقابل و حد پایین محاسبه شده برای متغیر زمان تکمیل پروژه، هزینه مورد انتظار تکمیل پروژه ساخت هواپیما بزرگتر از مقدار ۶۰۰۰ هزار تومان می‌باشد و ادعای مدیر پروژه مبنی بر نیاز بیش از ۶۰۰۰ هزار تومان بودجه جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه قابل پذیرش می‌باشد. همچنین با توجه به حد پایین متغیر، مشخص می‌شود که با اطمینان ۹۵ درصد، بودجه مورد انتظار لازم برای تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما مدل باید از مقدار ۶۲۴۲/۹ هزار تومان بیشتر باشد. لازم به ذکر است مقدار ۶۲۴۲/۹ هزار تومان یک حد پایین برای هزینه مورد انتظار تکمیل فعالیت‌های پروژه می‌باشد و لزوما مقادیر بالاتر از این مقدار در سطح اطمینان مورد نظر مورد تایید نمی‌باشند و نیاز است حد بالا برای مقدار مورد انتظار این متغیر در بازه اطمینان ۹۵ درصدی مشخص گردد. برای مثال اگر آزمون فرض به شکل زیر مطرح گردد،

$$\begin{cases} H_0 : C = 6300 \\ H_1 : C < 6300 \end{cases}$$

نتایج حاصل از آزمون T برای چنین آزمونی مطابق با جدول ۷ می‌باشد.

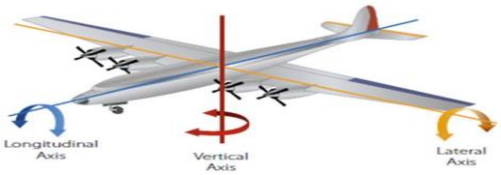
جدول شماره (۷): نتایج آزمون فرض مربوط به هزینه تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل

متغیر	تعداد مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	انحراف استاندارد	حد بالا متغیر	آماره آزمون	P-Value
هزینه تکمیل پروژه	۲۰۰	۶۲۸۶/۹	۳۷۶/۴	۲۶/۶	۶۳۳۰/۹	-۰/۴۹	۰/۳۱۲

مطابق با جدول ۷، از آن‌جا که آزمون با خطای ۵ درصد انجام می‌شود، با توجه به اینکه مقدار P-Value بزرگتر از ۰/۰۵ است، این نتیجه حاصل می‌شود: مطابق با آزمون فرض صورت گرفته، با اطمینان ۹۵ درصد، دلایل کافی برای رد کردن فرض صفر وجود ندارد؛ لذا با توجه به دو آزمون صورت گرفته برای متغیر هزینه، با اطمینان ۹۵ درصد هزینه مورد انتظار تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما مدل، در بازه ۶۲۴۲/۹ تا ۶۳۳۰/۹ محاسبه می‌گردد.

ز) ادعای بهبود هزینه و زمان تکمیل پروژه با اضافه شدن فعالیت تعادل وزنی

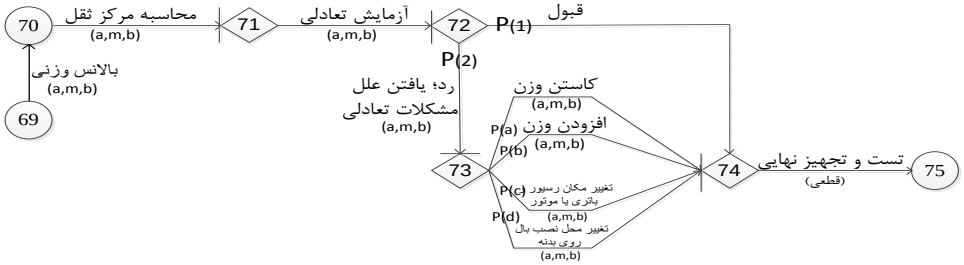
با توجه به شناخت هرچه بهتر ماهیت و ویژگی‌های خاص پروژه ساخت هواپیما مدل و همچنین با توجه به خروجی الگوریتم پیشنهادی و نتایج بدست آمده، مطابق با نظر مدیر پروژه پیشنهاد می‌شود بمنظور تسریع در تکمیل فعالیت‌های پروژه، یک فعالیت دیگر تحت عنوان Weighting balance یا همان تست تعادل وزنی به فعالیت‌های پروژه اضافه گردد. با توجه به ساختار ویژه هواپیما، هواپیما مدل نیز باید کاملا از نظر وزنی حول محور طولی (Longitudinal axis) متقارن باشد.



شکل شماره (۱۴): محورهای طولی، عرضی و قائم هواپیما

بالانس وزنی یکی از آزمایش‌های تعادلی است که در آزمایشگاه تعادل تحت عنوان فعالیت آزمایش تعادل E11 صورت می‌پذیرد و مدیر پروژه قصد دارد چنین فعالیتی را جداگانه بلافاصله پس از ساخت فیزیکی هواپیما و پیش از محاسبه مرکز ثقل بیاورد.

چنین فعالیتی که دارای زمان احتمالی می‌باشد، باید بعد از گره شماره ۶۹ به شبکه پروژه اضافه گردد و در نتیجه شبکه بخش دوم پروژه (بخش احتمالی) به صورت شکل ۱۵ تغییر می‌یابد:



شکل شماره (۱۵): شبکه بخش احتمالی پروژه با فعالیت بالانس وزنی

بدیهی است با اضافه شدن چنین فعالیتی، پارامترهای پروژه دستخوش تغییرات می‌شود. مدیر پروژه مدعی است با وجود اضافه شدن فعالیت تست تعادل وزنی قبل از محاسبه مرکز ثقل و فرستادن هواپیما به آزمایشگاه تعادل، زمان لازم برای انجام فعالیت-های محاسبه مرکز ثقل و انجام آزمایش تعادل کوتاهتر و احتمال قبولی در تست تعادل افزایش می‌یابد که در نتیجه آن زمان و هزینه لازم جهت تکمیل کلیه فعالیت‌های پروژه به طرز معناداری کاهش می‌یابد. با تعریف کد E0 برای فعالیت جدید بالانس وزنی، پارامترهای جدید پروژه با توجه به تغییر صورت گرفته در شبکه پروژه به شرح جدول ۸ می‌باشد:

جدول شماره (۸): پارامترهای بخش احتمالی پروژه با در نظر گرفتن فعالیت بالانس وزنی

فعالیت	زمان فعالیت (نفر– ساعت)				احتمال وقوع شاخه (احتمال انجام فعالیت)			هزینه فعالیت (هزار تومان)	
	زمان خوشبینانه، محتمل و بدبینانه	کارشناس ۱	کارشناس ۲	زمان نهایی (میانگین)	کارشناس ۱	کارشناس ۲	میانگین	نوع فعالیت	هزینه یک نفر– ساعت
E0	a	۶	۶	۶	۱	۱	۱	تخصصی	۴۰
	m	۸	۹	۸/۵					
	b	۱۲	۱۲	۱۲					
E10	a	۲	۳	۲/۵	۱	۱	۱	تخصصی	۴۰
	m	۵	۵	۵					
	b	۹	۱۰	۹/۵					
E11	a	۴	۴	۴	۱	۱	۱	تخصصی	۴۰
	m	۹	۱۰	۹/۵					
	b	۱۲	۱۲	۱۲					
G1	a	۴	۴	۴	۰/۷	۰/۶	۰/۶۵	تخصصی	۴۰
	m	۸	۶	۷					
	b	۱۰	۸	۹					
Ga	a	۱۰	۱۲	۱۱	۰/۱۵	۰/۰۵	۰/۱	تخصصی	۴۰
	m	۱۸	۱۸	۱۸					
	b	۲۰	۲۲	۲۱					
Gb	a	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۴	۰/۴۵	۰/۴۲۵	تخصصی	۴۰
	m	۲	۱	۱/۵					
	b	۳	۳	۳					
Gc	a	۸	۱۰	۹	۰/۲۵	۰/۳	۰/۲۷۵	تخصصی	۴۰
	m	۱۶	۱۶	۱۶					
	b	۲۴	۲۰	۲۲					
Gd	a	۶	۶	۶	۰/۲	۰/۲	۰/۲	تخصصی	۴۰

فعالیت	زمان فعالیت (نفر- ساعت)				احتمال وقوع شاخه (احتمال انجام فعالیت)			هزینه فعالیت (هزار تومان)	
	زمان خوشبینانه، محتمل و بدبینانه	کارشناس ۱	کارشناس ۲	زمان نهایی (میانگین)	کارشناس ۱	کارشناس ۲	میانگین	نوع فعالیت	هزینه یک نفر- ساعت
	m	۱۲	۱۰	۱۱					
	b	۱۶	۱۶	۱۶					
G3	قطعی		۱۲		۱	۱	۱	تخصصی	۵۰

با توجه به نتایج بدست آمده از ۲۰۰ تکرار شبیه‌سازی پروژه در حالت جدید، نتایج زیر استخراج می‌گردد:

زمان مورد انتظار برای تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل برابر با ۱۲۳/۲۸ نفر- ساعت بدست می‌آید که این مقدار از میانگین زمان‌های تکمیل حاصل از ۲۰۰ تکرار شبیه‌سازی پروژه اخذ گردیده است. بیشترین زمان لازم برای تکمیل پروژه برابر با ۱۴۸/۵ نفر- ساعت و کمترین زمان لازم برای تکمیل پروژه برابر با ۱۰۲ نفر- ساعت بدست آمده است؛ در نتیجه انتظار می‌رود حد بالای زمان لازم برای تکمیل پروژه برابر با ۱۴۸/۵ نفر- ساعت و حد پایین زمان لازم برای تکمیل پروژه برابر با ۱۰۲ نفر- ساعت باشد. هزینه مورد انتظار برای تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما مدل که با نیروی انسانی در ارتباط است برابر با ۶۳۰۸/۵ هزار تومان بدست می‌آید. بیشترین هزینه لازم جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه برابر با ۷۳۱۷/۵ هزار تومان و کمترین هزینه لازم جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه برابر با ۵۴۵۷/۵ هزار تومان بدست آمده است؛ حال به منظور بررسی ادعای مدیر پروژه مبنی بر معنادار بودن اختلاف نتایج حاصل از انجام پروژه با اضافه شدن فعالیت جدید تست تعادل وزنی به شبکه پروژه، نسبت به حالت قبل بررسی شود.

ح) بررسی صحت ادعا وجود اختلاف معنادار در زمان مورد انتظار تکمیل پروژه

با توجه به نتایج حاصل از ۲۰۰ تکرار شبیه‌سازی پروژه توسط الگوریتم پیشنهادی در دو حالت زیر، به بررسی امکان وجود اختلاف معنادار در زمان مورد انتظار لازم برای تکمیل فعالیت‌های پروژه پرداخته خواهد شد:

حالت ۱: تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل بدون وجود فعالیت بالانس وزنی

حالت ۲: تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل با وجود فعالیت بالانس وزنی

آزمون آماری که مطابق آن فرض صفر مبنی بر عدم وجود اختلاف معنادار در دو حالت تکمیل پروژه ساخت هواپیما مدل در مقابل فرض یک که ادعای مدیر پروژه مبنی بر بهبود زمان مورد نیاز برای تکمیل فعالیت‌های پروژه با اضافه شدن فعالیت بالانس وزنی به شبکه پروژه را بیان می‌کند، به شکل زیر مطرح می‌گردد:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 - \mu_2 = 0 \\ H_1 : \mu_1 - \mu_2 > 0 \end{cases}$$

μ_1 زمان مورد انتظار لازم جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه در حالت ۱ (بدون وجود فعالیت بالانس وزنی) و μ_2 زمان مورد انتظار لازم جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه در حالت ۲ (با وجود فعالیت بالانس وزنی) می‌باشد. با برقراری مفروضات آزمون T، نتایج حاصل از آزمون به شرح جدول ۹ می‌باشد.

جدول شماره (۹): نتایج آزمون T جهت بررسی معناداری اختلاف زمان مورد انتظار تکمیل پروژه

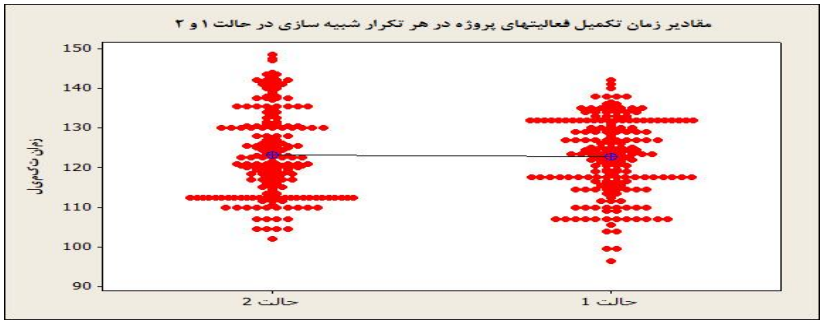
حالات	تعداد مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	انحراف استاندارد	آماره آزمون T	P-Value
نتایج حالت ۱	۲۰۰	۱۲۲/۷۴	۹/۴۱	۰/۶۷	۰/۵۴	۰/۷۰۶
نتایج حالت ۲	۲۰۰	۱۲۳/۳	۱۰/۵	۰/۷۴		

مطابق با نتایج حاصل از آن‌جا که آزمون با خطای ۵ درصد انجام می‌شود، با توجه به اینکه مقدار P-Value بزرگتر از ۰/۰۵ است، این نتیجه حاصل می‌شود: با اطمینان ۹۵ درصد دلایل کافی برای رد فرض صفر مبنی بر عدم وجود اختلاف معنادار در زمان مورد انتظار لازم برای تکمیل فعالیت‌های پروژه در دو حالت در نظر گرفته شده وجود ندارد و فرض یک که ادعای مدیر پروژه مبنی بر بهبود زمان مورد انتظار لازم برای تکمیل پروژه با اضافه شدن فعالیت بالانس وزنی را بیان می‌کند، رد می‌شود.

حال اگر آزمون فرض به صورت زیر مطرح گردد:

$$\begin{cases} H_0 : \mu_1 = \mu_2 \\ H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \end{cases}$$

که طی آن فرض صفر مبنی بر نبود اختلاف معنادار در میانگین دو جامعه در مقابل فرض یک مبنی بر بودن اختلاف معنادار در میانگین دو جامعه، آزمون گردد، باز هم نتایج حاصل از جدول ۹ مطرح می‌گردد با این تفاوت که تنها مقدار P-Vaue آزمون برابر با ۰/۵۸۹ می‌شود که باز هم با اطمینان ۹۵ درصد فرض یک رد می‌شود و اختلاف معنادار بین زمان مورد انتظار تکمیل فعالیت‌های پروژه در دو حالت یک و دو وجود ندارد. همچنین نمودار شکل ۱۶، مقادیر زمان تکمیل فعالیت‌های پروژه در هر تکرار شبیه‌سازی در حالت‌های ۱ و ۲ را نشان می‌دهد و می‌توان مشاهده کرد که مقادیر هر دو حالت تقریبا در یک سطح قرار دارند.



شکل شماره (۱۶): مقادیر زمان تکمیل فعالیت‌های پروژه در هر تکرار شبیه‌سازی در حالت‌های ۱ و ۲

ط) بررسی صحت ادعا وجود اختلاف معنادار در هزینه مورد انتظار تکمیل پروژه

حال بمنظور بررسی ادعای وجود اختلاف معنادار در هزینه مورد انتظار جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه در حالت‌های ۱ و ۲، آزمون فرض به شکل زیر مطرح می‌گردد:

$$\begin{cases} H_0 : C_1 = C_2 \\ H_1 : C_1 \neq C_2 \end{cases}$$

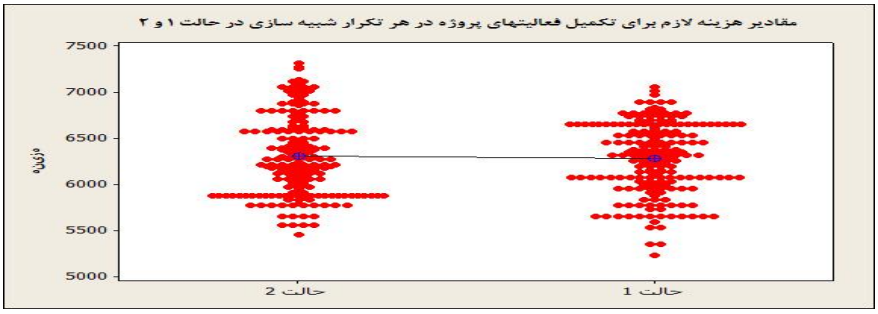
C1 هزینه مورد انتظار لازم جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه در حالت ۱ و C2 هزینه مورد انتظار لازم جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه در حالت ۲ می‌باشد. با برقراری مفروضات آزمون T، نتایج حاصل از آزمون به شرح جدول ۱۰ می‌باشد.

جدول شماره (۱۰): نتایج آزمون T جهت بررسی معناداری اختلاف هزینه مورد انتظار تکمیل پروژه

حالات	تعداد مشاهدات	میانگین	انحراف معیار	انحراف استاندارد	آماره آزمون T	P-Value
نتایج حالت ۱	۲۰۰	۶۲۸۷	۳۷۶	۲۷	۰/۵۴	۰/۵۹
نتایج حالت ۲	۲۰۰	۶۳۰۹	۴۲۰	۳۰		

مطابق با نتایج حاصل از آن‌جا که آزمون با خطای ۵ درصد انجام می‌شود، با توجه به اینکه مقدار P-Value بزرگتر از ۰/۰۵ است، این نتیجه حاصل می‌شود: با اطمینان ۹۵ درصد دلایل کافی برای رد فرض صفر مبنی بر عدم وجود اختلاف معنادار در هزینه مورد انتظار لازم برای تکمیل فعالیت‌های پروژه در دو حالت در نظر گرفته شده وجود ندارد و فرض یک مبنی وجود اختلاف معنادار در هزینه مورد انتظار لازم برای تکمیل فعالیت‌های پروژه با اضافه شدن فعالیت بالانس وزنی، رد می‌شود.

همچنین نمودار شکل ۱۷، مقادیر هزینه تکمیل فعالیت‌های پروژه در هر تکرار شبیه‌سازی در حالت‌های ۱ و ۲ را نشان می‌دهد و می‌توان مشاهده کرد که مقادیر هر دو حالت تقریبا در یک سطح قرار دارند.



شکل شماره (۱۷): مقادیر زمان تکمیل فعالیت‌های پروژه در هر تکرار شبیه‌سازی در حالت‌های ۱ و ۲

ی) نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات جهت تحقیقات آتی

پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز از پارامترهای پروژه با استفاده از نظرخواهی از مدیران سطح بالا و خبره این حوزه، با پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی برای مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه ساخت هواپیما مدل، مشخص گردید حد بالای زمان مورد انتظار جهت تکمیل فعالیت‌های پروژه با اطمینان ۹۵ درصدی برابر با ۱۲۳/۸۴ نفر- ساعت به دست می‌آید با انجام آزمون‌های آماری مختلف می‌توان در مورد صحت ادعاهای مختلف در خصوص زمان مورد انتظار تکمیل پروژه، تصمیم‌گیری نمود. همچنین هزینه مورد انتظار برای تکمیل فعالیت‌های پروژه ساخت هواپیما با اطمینان ۹۵ درصدی در بازه ۶۲۴۲/۹ تا ۶۳۳۰/۹ هزار تومان محاسبه می‌گردد و با انجام آزمون‌های آماری مختلف می‌توان در مورد صحت ادعاهای مختلف در خصوص هزینه مورد انتظار تکمیل فعالیت‌های پروژه، تصمیم‌گیری نمود. با توجه به قابلیت انعطاف پذیری بالای الگوریتم پیشنهادی، می‌توان از آن جهت مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌های مختلف با ماهیت احتمالی در خصوص فعالیت‌ها و زمان‌های احتمالی، استفاده نمود. همچنین با توجه به قابلیت تطبیق پذیری الگوریتم پیشنهادی می‌توان از آن جهت کنترل و بهبود روند پروژه، بهره برد. همانطور که امکان بهبود زمان و هزینه مورد انتظار تکمیل پروژه با اضافه شدن یک فعالیت جدید (فعالیت بالانس وزنی)، بررسی گردید و در نهایت با توجه به بکارگیری دوباره الگوریتم پیشنهادی برای شبکه جدید پروژه و بررسی و تحلیل نتایج و انجام آزمون‌های آماری مرتبط، مشخص گردید اضافه شدن این فعالیت جدید اثر معناداری در بهبود متغیرهای پروژه ندارد. در نهایت شایان ذکر است استفاده از الگوریتم پیشنهادی و بکارگیری روش و مفاهیم موجود در این الگوریتم، می‌تواند منافع زیادی در مدیریت و برنامه-ریزی پروژه‌های با ماهیت احتمالی داشته باشد و مدیر پروژه را در برآورد متغیرهای اساسی مورد انتظار پروژه پیش روی خود، یاری دهد.

از آنجا که حوزه مدیریت و کنترل پروژه‌های احتمالی، مسائل به نسبت جدیدی هستند که کار و پژوهش در آن بسیار کمتر از سایر حوزه‌های مدیریت پروژه صورت گرفته است، دست محققین برای پژوهش‌های آتی در این زمینه باز است. یکی از شکاف-های تحقیقاتی در حوزه برنامه‌ریزی و زمانبندی پروژه‌های احتمالی، عدم بررسی اینگونه مسائل در محیط چندعاملی می‌باشد. گاهی ممکن است چند عامل که هر یک اهداف متناظر با کیفیت، زمان و هزینه خاص خود را دارند، مجبورند جهت شروع و تکمیل پروژه‌های خود از یکسری منابع مشترک استفاده کنند. در این صورت برنامه‌ریزی و زمانبندی فعالیت‌های پروژه برای هر یک از عوامل با توجه به وجود منابعی مشترک، شکل منحصر به فردی به خود می‌گیرد و هر یک از عوامل باید جهت انجام فعالیت‌های خود بر استفاده از منابع مشترکی با دیگر عوامل رقابت کنند که در این صورت عوامل روی برنامه‌ریزی یکدیگر تاثیر می‌گذارند و در عین حال باید اهداف هر یک از عوامل پس از ارائه برنامه‌ریزی و زمانبندی جامع، به نحوی مطلوب برآورده شود. حال اگر پروژه هر یک از عوامل، در بردارنده فعالیت‌های احتمالی یا فعالیت‌های با زمان احتمالی باشد، مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه هر یک از عوامل با توجه به لزوم استفاده از منابع مشترک، نیازمند ارائه تکنیک‌های خاص خود می‌باشد. همچنین تکنیک-های موجود در نظریه بازی‌ها می‌تواند در حل اینگونه مسائل راهگشا باشند.

اخیرا با توجه به فشار وارد بر واحدها و صنایع مختلف مبنی بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی و همچنین در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی، زمانبندی تحت زمان مصرف انرژی (TOU[5]) نیز مورد توجه محققین قرار گرفته است که با توجه به اهمیت این مورد، می‌توان فرآیند مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌های احتمالی را به گونه‌ای تدوین نمود که علاوه بر تلاش جهت برآورد متغیرهای مد نظر مدیر پروژه و برنامه‌ریزی مطبوع و کنترل رضایت‌بخش فعالیت‌های پروژه، به بهینه‌سازی انرژی مصرفی در طول پروژه نیز پرداخته شود.

توجه به مبانی دانش مدیریت ریسک که در آن به شناسایی، تجزیه و تحلیل و واکنش به ریسک‌های مختلفی که ممکن است برنامه‌ریزی پروژه را تحت تاثیر قرار دهند، می‌تواند یکی از پیشنهادات آتی در برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های احتمالی قلمداد شود. شناخت ریسک‌های منفی (تهدیدات) و ریسک‌های مثبت (فرصت‌ها) و دخیل کردن اینگونه مفاهیم در پروژه احتمالی مورد بررسی، می‌تواند علاوه بر افزودن جذابیت و پیچیدگی به مساله، امکان شبیه‌سازی واقعی‌تر از آینده پروژه را فراهم سازد.

[5]Time of use

پیشنهادی دیگر که جهت پژوهش‌های آتی در تحقیقات حوزه مدیریت پروژه‌های احتمالی مطرح می‌گردد، تلاش جهت ارائه راه-حل‌ها و الگوریتم‌های نوین می‌باشد. پیشنهاد می‌گردد جهت ارائه برنامه جامع مدیریت و برنامه‌ریزی یک پروژه، از منطق فازی و سیستم‌های کنترل فازی که در آن عدم قطعیت مطابق با نظریه امکان مطرح می‌گردد، استفاده شود (کما اینکه تا کنون چندین پژوهش از رویکرد فازی جهت ارائه برنامه زمانبندی برای پروژه‌های احتمالی، بهره برده‌اند). همچنین استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری نظیر الگوریتم ژنتیک و تدوین روش‌هایی بر پایه روش گرت و الگوریتم‌های فراابتکاری و ابتکاری، می‌تواند به مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه‌ها و کنترل هرچه بهتر گلوگاه‌های پروژه، کمک‌های شایانی ارائه دهد.

٤-منابع

1. Aliaei, Ehsan., Aghabeigi, Pooya., and Jani, Amir. (2021). Predicting the cost of completing railway construction projects using the intelligent fuzzy-neural inference model. *7th International Conference on Recent Advances in Railway Engineering*. Retrieved from https://civilica.com/doc/1235920. (In Persian).
2. Chen-Tung, C., and Sue-Fen, H. (2007). Applying fuzzy method for measuring criticality in project network. *Information Sciences*, 177: 2448-2458.
3. Doroudian, M. (1995). Perth planning practices in industrial research projects. M. Sc. Thesis. Faculty of industrial engineering. Tehran, Iran University of Science and Technology. (In Persian).
4. Farzi Poursaen, Reza. (1999). Management and Control of Research and Development Projects Using a Possible GERT Approach, *The Second Conference of Industries and Mines Research and Development Centers, Tehran, Association of Research and Development Centers of Industries and Mines*. Retrieved from https://civilica.com/doc/21680. (In Persian).
5. Freund, John. (2013). *Mathematical statistics and its applications*. Translated by Mohammad Qasem Vahidi Asl and Ali Amidi. University Publishing Center.
6. Gauri, S., and Ajay, K. S. (2002). A process control plan with two-phase inspection. *Economic Quality Control*, 17(1): 63-73.
7. Gavareshki, M. H. K. (2004). New fuzzy GERT method for research projects scheduling. *IEEE. Transactions*, 2: 820 - 824.
8. Haji Karimi, Arash., Khani Jazani, Jamal., and Hoshyar, Amir. (2015). Master Thesis Development of a model for reducing production costs by the fuzzy Gert method (Shahid Rajaei Power Plant). Qazvin, Raja university. (In Persian)
9. Hsiau, H., and Lin, C. (2009). A fuzzy PERT approach to evaluate plant construction project scheduling risk under uncertain resources capacity. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 2 (1): 31-47.
10. Joseph, L. S. (1978). Assessing system availability using the graphical evaluation and review technique simulation approach. Ph. D thesis. Department of management, Nebraska.
11. Kazemi, Abolfazl., and Fakhouri, Pasha. (2013). Presenting a fuzzy control system to estimate the project completion time in Gert networks. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*. 23 (2): 251-263.
12. Lachmayer, R., Afsari, M., and Bastian, S. (2012). Fuzzy GERT method for scheduling research project. *9th International Industrial Engineering Conference, Iran.* Retrieved from https://www.sid.ir/FileServer/JF/5002513960108.pdf. (In Persian).
13. Mahlouji, H. (2008). *Discrete-event simulation systems*. Fourth Edition, published by the Institute of Sharif University, Tehran. 710p. (In Persian).
14. Manjezi, Nasim., Zaki Dizaji, Hassan., Sheikh Davoodi, Mohammad Javad., Marzban, Afshin., and Shamili, Mahmoud. (2017). Application of fuzzy Gert method in scheduling Neyshekar production operations. *Agricultural Engineering*, 40 (1), 125-139. (In Persian).

15. Manjezi, Nasim., and Zaki Dizaji, Hassan. (2016). A fuzzy approach to optimize the time of overhaul of Derogar Neyshekar using the Gert grid method. *Iranian Biosystem Engineering*. 36 (3), 98-112. (In Persian).
16. Manju, A., and Pooja, M. (2007). Reliability analysis of consecutive-k, r-out-of-rr. DFM system using GERT. *International Journal of Operations Research*, 4(2): 110-117.
17. Mortazavi, Seyedeh Safoura., Samooi, Parvaneh., Mortazavi, Seyedeh Zohreh., and Moniri, Alireza. (2019). Planning the activities of nurses in the intensive care unit of Farshchian Cardiovascular Subspecialty Educational-Therapeutic Center with the help of an innovative algorithm based on the Gert method. *Hospital Magazine*. 18 (3): 19-32. (In Persian).
18. Rezaei, amirAli. (2021). Intelligent optimization of drilling project by fuzzy logic method. *Fifth International Conference on Industrial Engineering, Productivity and Quality*. Retrieved from https://civilica.com/doc/1271305. (In Persian).
19. Sabzehparvar, Majid. (2011). *Project management and control in a step-by-step manner*. Tehran, Terme Publishing.
20. Sadri, M., and Sakaki, S. H. (2005). Effective networking techniques in the management of exploration projects. *Proceedings of the conference of Mining Engineering Iran.* Retrieved from https://www.sid.ir/fa/seminar/ViewPaper.aspx?ID=1399 .(In Persian).
21. Saei, Mahdieh. (2019). Analysis of obstacles and problems of greenhouse production in the south of Kerman province. *Journal of Vegetable Science*. 3 (1): 67-81. (In Persian).
22. Shomeili, M. (2012). Evaluation of agricultural wastes produced during operation of sugarcane production. *CD Proceedings of the 7th conference of Iranian sugar cane technologists.* Retrieved from https://civilica.com/doc/167158. (In Persian).
23. Talesh Hosseini, Sajjad., Moradzadeh, Ali., and Asghari, Omid. (2019). Application of GERT planning network in the management structure of geostatistical simulation projects - Case study of copper ore - North Dali porphyry gold. *Mining Engineering Quarterly*. 14 (42): 32-46. (In Persian).
24. Wang, C., Yang, G., Hung, K., Chang, K., and Chu, P. (2011). Evaluating the manufacturing capability of a lithographic area by using a novel vague GERT. *Expert Systems with Applications*, 38 (1): 923-932.
25. Zaki Dizaji, Hassan., and Manjezi, Nasim. (2018). Provide a network model for time management of overhaul of Derogar Neyshekar. *Agricultural Machinery Quarterly*. 8 (2): 403-412. (In Persian).

Present an Algorithm Based On Gert Method and Monte Carlo Simulation to Manage and Control the Research and Development Projects (Case Study: Model Airplane)

Amir Afsar (Corresponding Author)
Industrial engineering department, Bu-Ali Sina University of Hamedan, Iran
Email: amir.i650@yahoo.com
Seyed Jalal ziayei
Industrial engineering department, Sharif University of technology, Iran

Abstract
Given the growing importance of project management and control issues and the benefits of choosing the right management method according to the specific type of project, this study aims to provide an appropriate method for planning and managing research and development projects. Uncertainty of activities and time required to complete each project activity, requires the project manager to use techniques appropriate to the specific nature of the project under review. In this paper, by describing the probabilistic project of constructing a model airplane according to the probabilistic conditions, a suitable algorithm based on Gert method and Monte Carlo simulation is presented in such a way that as a result the project manager can analyze the basic components from the output of the algorithm and estimate random variables such as the expected time of project completion and the average cost of completing project activities and extract the desired results to better manage and control the project. In order to provide a better understanding of the proposed algorithm, the results of using the algorithm to plan and manage the model aircraft construction project will be reviewed and explained and As a result, the expected time and cost of the project is extracted within a 95% confidence interval.

Keywords: Project management and control, Research and development projects, Gert method, Monte Carlo simulation, Model airplane**.**