مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال یازدهم، شماره دوم (پیاپی ۴۱)، تابستان ۹۳، ص ص ۷۴-۵۱
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

توسعه رویکردهای نوین ریاضی و فازی جهت برآورد زمان و هزینه فعالیت‌های پروژه‌ها در سازمان‌های تحقیق و توسعه

غلام رضا نوروزی*[۱]، مهدی حیدری[۲]، سیامک نوری[۲]، مرتضی باقرپور[۳]
۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران
۲- دانشیار، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران
۳- استادیار، دانشگاه علم و صنعت، دانشکده مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۹ آبان ۱۳۹۲
پذیرش مقاله: ۳۰ فروردین ۱۳۹۳

چکیده

از آنجایی‌که برآورد مدت زمان و هزینه انجام هر فعالیت دو عنصر اساسی و پایه بسیاری از محاسبات در شبکه‌های کنترل پروژه را تشکیل می‌دهند، در نتیجه برآورد صحیح آن‌ها نقش مهمی را در محاسبات بعدی زمان‌بندی پروژه را بازی می‌کنند. یکی از راهکارهای اساسی در برآورد زمان و هزینه فعالیت‌ها استفاده از نظریه فازی می‌باشد. نظریه فازی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای تصمیم‌گیری و استفاده از مدل‌های ذهنی کارشناسان و اطلاعاتی که از گذشته موجود می‌باشد، به‌عنوان رویکردی برای نزدیک کردن مدل‌های زمان‌بندی پروژه به واقعیت بکار می‌رود. در این مقاله با استفاده از نظریه فازی و ادغام آن با روش‌های آماری و دلفی، رویه‌هایی ابتکاری و مناسب برای تخمین زمان و هزینه فعالیت‌ها به‌صورت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای ارایه شده است. همچنین جهت اعمال نظر مدیران پروژه در وزن‌دهی به تیم کارشناسی و خبرگان، از تکنیک‌های آنالیز تصمیم‌گیری با اعداد فازی ذوزنقه‌ای استفاده شده است. در نتیجه بر اساس اعتبارسنجی صورت گرفته، برآوردهای به‌دست آمده از رویه‌های ادغامی ارایه شده، می‌تواند به‌عنوان ورودی مناسبی در مدل‌های زمان‌بندی پروژه با شبکه‌های فازی، مورد استفاده قرار گیرند.

کلمات کلیدی: اعداد فازی ذوزنقه‌ای، متغیرهای زبانی، مدت زمان و هزینه فعالیت، روش دلفی، فرآیند سلسله مراتبی تصمیم‌گیری فازی.

۱ مقدمه

در دنیای واقعی، پروژه‌ها در محیطی اجرا می‌شوند که عدم قطعیت یکی از مشخصه‌های اصلی این محیط‌هاست. از جمله مواردی که عدم قطعیت را بر پروژه‌ها وارد می‌نماید؛ فعالیت‌ها، زمان و هزینه مربوط به انجام آن‌ها

* عهده دار مکاتبات
پست الکترونیکی: Gh_Norouzi@iust.ac.ir

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

می‌باشد. بنا به نظر ایوانو و سوکولو [۱]، عدم قطعیت را می‌توان به عنوان خاصیتی از سیستم در نظر گرفت که توصیف کننده‌ی نقص دانش بشر درباره‌ی یک سیستم و وضعیت پیشرفت آن می‌باشد. همچنین بنا به نظر یو [۲]، در دنیای واقعی انواع مختلفی از عدم قطعیت وجود دارد که عبارتند از: (۱) فازی بودن، (۲) تصادفی بودن و (۳) غیرقطعی بودن که این مورد شامل موارد ۱و ۲ می‌گردد. بسیاری از محققان این دو دسته پدیده را ناشی از نوع عدم قطعیت به‌وجود آمده دانسته‌اند. پدیده‌های تصادفی یک دسته از پدیده‌های غیرقطعی مفعولی محسوب می‌شوند که تئوری احتمال یک ابزار کارا برای مطالعه‌ی رفتار پدیده‌های تصادفی می‌باشد. در کنار تصادفی بودن، فازی بودن به عنوان گونه‌ای اساسی از عدم قطعیت فاعلی معرفی می‌گردد [۳]. مدت زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها نیز معمولاً بر اساس داده‌های زمانی موجود، نظر افراد خبره و یا ترکیبی از این دو مورد صورت می‌پذیرد. اصولاً این نظر با توجه به قدرت قضاوت و تجربه آن‌ها تخمین زده می‌شود. در عمل عبارت‌هایی مانند: " تقریباً " ، " کم و بیش" و "حدوداً" در جملات خبرگان یافت می‌گردد. این عبارت‌ها به‌وضوح نوعی از عدم قطعیت را نمایش می‌دهند که طبیعتاً منجر به محدوده‌ای از مقادیر مختلف و نه یک مقدار خاص می‌شود.

روش‌های متعددی برای به‌کارگیری این عدم قطعیت‌ها در تخمین مدت زمان پروژه وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها روش‌های احتمالی مانند GERT, PERT می‌باشند که از توزیع‌های احتمالی از قبیل؛ توزیع بتا یا توزیع نرمال برای تخمین مدت زمان فعالیت‌های پروژه استفاده می‌نمایند. لذا برای استفاده از توزیع‌های احتمالی به نمونه‌های تصادفی، تکرارپذیری و استنتاج آماری نیاز است که این امر بعضاً به علت جدید بودن فعالیت‌های پروژه و یا کم سابقه بودن آن‌ها، به خوبی امکان‌پذیر نمی‌باشد [۴]. علاوه بر آن هنگام استفاده از یک تابع توزیع احتمالی، پارامترهای زمان‌بندی پروژه به رفتار توزیع وابسته می‌شود و این موضوع باعث ایجاد محدودیت در زمان‌بندی پروژه می‌گردد. یکی از راهکارهای اساسی در برخورد با چنین مشکلاتی استفاده از نظریه فازی می‌باشد. این نظریه در سال ۱۹۶۵ توسط پرفسور لطفی‌زاده مطرح و توسعه داده شد [۵]. کم کم توجه دانشمندان و محققان در حوزه شبکه و علوم مهندسی به این موضوع جلب شد که می‌توانند مشکل عدم قطعیت در مسایل و همچنین مشکلات بیان شده را با رویکرد فازی حل نمایند. لذا پراد [۶]، اولین کسی بود که از تئوری مجموعه‌های فازی در مسایل زمان‌بندی پروژه استفاده کرد. پس از وی، چاناس و کامبروسکی [۷]، تکنیک FPERT را ارایه نمودند که در آن تخمین زمان فعالیت‌ها و اتمام پروژه به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفته شده است. گازدیک [۸]، تکنیک دیگری را که مبتنی بر مجموعه‌های فازی و تئوری گراف است به نام FNET ارایه نمود. بعدها ناسوشن [۹] و لورتراپونگ و مصلحی [۱۰]، به توسعه تکنیک FNET پرداختند و آن را تکمیل کردند. مک کاهن [۱۱]، موضوع کنترل پروژه را بر اساس اعداد فازی پرداخت و تکنیک FPNA ارایه نمود.

تکنیک‌های اشاره شده، به نوعی مشکل عدم قطعیت در زمانبندی و کنترل پروژه را با رویکرد فازی حل نموده‌اند. در زمینه تخمین مدت زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها که بحث اصلی این مقاله می باشد نیز، نظریه فازی قادر است با استفاده از متغیرهای زبانی عبارت‌هایی مانند: "تقریباً"، "کم و بیش" و "حدوداً" را که در جملات خبرگان پروژه ذکر می‌گردد؛ مدل‌بندی ریاضی نموده؛ آن‌ها را به صورت مجموعه‌های فازی تعریف نماید. از جمله تحقیقات صورت گرفته در این خصوص عبارتند از: بوکلی [۱۲] و وانگ [۱۳،۱۴]، که به استفاده و توسعه

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

از اعداد فازی ذوزنقه‌ای در تخمین زمان فعالیت‌ها در شبکه‌های PERT پرداخته‌اند. چنگ و همکاران [۱۵]، روش دلفی فازی را به‌کار گرفته‌اند. شفلی و همکاران [۱۶]، تکنیکی را به نام "باور در احتمالات فازی تخمین زمان" (BIFPET) که بر اساس منطق فازی، توابع باور، اصل توسعه و توزیع‌های احتمالی فازی استوار است؛ ارایه نمودند. ژانگ و همکاران [۱۷]، با استفاده از شبیه‌سازی و ترکیب اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای، طول مدت اجرای فعالیت‌های غیرقطعی را مدل کردند. لیو[۱۸]، با استفاده از شبیه‌سازی اعداد فازی، مسایل بهینه‌سازی فازی را تجزیه و تحلیل نمود. چن و سو [۱۹]، با استفاده از برآورد اعداد فازی برای فعالیت‌های پروژه، تجزیه و تحلیل مسیر بحرانی و محاسبات مربوط به آن را در شبکه فعالیت پروژه انجام دادند. امیری و گلزاری [۲۰]، با به‌کارگیری اعداد فازی در تکنیک MADM توانستند؛ الگوریتمی جهت تعیین مسیر بحرانی در شبکه فعالیت پروژه بر اساس معیارهای زمان، هزینه، ریسک و کیفیت ارایه نمایند. لی و دای [۲۱]، با استفاده از اعداد فازی مثلثی، زمان فعالیت‌های غیر قطعی را برآورد نموده؛ با ارایه الگوریتمی ترکیبی از برنامه‌ریزی پویا و الگوریتم ژنتیک، موضوع بهینه‌سازی مسیر بحرانی نامطمئن را در پروژه‌ها حل نموده‌اند.

با توجه به مرور ادبیات صورت گرفته هر یک از تکنیک‌های ارایه شده، یا تنها یک موضوع را از زمان و هزینه پوشش می‌دهند و یا در دل موضوعات دیگر به مبحث زمان و هزینه فعالیت پرداخته‌اند. که بعضاً از نظر محاسباتی، محدود و دارای نواقص می‌باشند. لذا هدف اصلی این تحقیق عبارتست از: "تخمین‌های مناسبی از زمان و هزینه فعالیت‌های دارای عدم قطعیت، به‌عنوان ورودی در شبکه‌های فازی" که برای رسیدن به این هدف گام‌های زیر برداشته شده است: (۱) دسته‌بندی فعالیت‌ها بر اساس تعداد و نوع داده‌ها؛ (۲) تبدیل داده‌های قطعی به فازی؛ (۳) استفاده از روش دلفی فازی جهت استخراج نظرات کارشناسان خبره؛ (۴) استفاده از AHP فازی جهت استخراج ضریب‌های وزنی کارشناسان خبره؛ (۵) ارایه روش‌ها و الگوریتم‌های ابتکاری و ادغامی جهت تخمین مدت زمان انجام فعالیت‌ها در هر دسته؛ (۶) سازگار نمودن الگوریتم‌های استخراجی از گام ۳ با پارامترهای هزینه‌ای، جهت تخمین هزینه انجام فعالیت‌ها در هر دسته.

در بخش بعدی، به ارایه برخی از روش‌های تخمین زمان و هزینه، پرداخته شده است. در بخش سوم، انواع هزینه‌ها از نگاه کاربرد در این تحقیق بیان گردیده. در بخش چهارم، فرضیات در برآورد زمان و هزینه فعالیت‌ها و در بخش پنجم، رویه‌های پیشنهادی برای محاسبه زمان و هزینه فعالیت‌ها، در هر یک از دسته‌های چهارگانه تشریح شده است. در بخش ششم، جهت اعتبارسنجی مساله‌ای واقعی به‌کارگیری و حل گردیده و نتایج حاصل مورد ارزیابی و مقایسه با دو روش دیگر قرار گرفته است. در بخش آخر، نتیجه‌گیری مقاله آمده است.

۲ معرفی برخی ازروش‌های تخمین زمان و هزینه

- **روش دلفی:** یک روش گروهی که در آن نظرات گروه جمع‌آوری می‌گردد و از اعضای گروه خواسته می‌شود که زمان هر فعالیت را با توجه به تجارب خود حدس بزنند. پس از جمع‌آوری نتایج و رسم نمودار آن‌ها به‌صورت میله‌ای، نتایج خارج از حد معمول را کنار گذاشته؛ میانگین نظرات جمعی را به عنوان زمان و هزینه فعالیت در نظر می‌گیرند [۱۵].

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

- **روش سه نقطه‌ای:** در این روش باید سه زمان "خوش‌بینانه، بدبینانه و واقع بینانه (با بیشترین احتمال)" را تخمین زد. پس از آن با استفاده از میانگین وزنی، زمان فعالیت محاسبه می‌گردد [۲۲].
- **روش ترکیبی:** ترکیبی از روش‌های سه نقطه‌ای و دلفی است و نتایج دلفی به‌صورت سه عدد خوش‌بینانه، بدبینانه و بیشترین احتمال پرسش گردیده؛ میانگین وزنی گرفته می شود[۲۳].
- **روش قیاسی:** به این روش برآورد بالا به پایین نیز گفته می‌شود. این نوع از برآورد از طریق استفاده از داده-های واقعی سایر پروژه‌های مشابه انجام می‌پذیرد. بنا به نظر کوران و همکاران [۲۴]، این نوع برآورد در مراحل اولیه پروژه و در شرایطی که اطلاعات تفصیلی دردسترس نمی‌باشد، کاربرد دارد. پایه و اساس این روش بر اساس نظر کارشناسی و قیاسی می‌باشد و دقت آن بستگی مستقیم به تجربه فرد برآورد کننده و دقت اطلاعات پروژه های قبلی دارد.
- **روش پارامتریک:** بر اساس کتاب راهنمای برآورد هزینه پارامتریک وزارت دفاع ایالات متحده آمریکا (DOD):" یک تخمین هزینه پارامتریک " عبارت است از: برآوردی که از "ارتباطات برآورد هزینه‌ها" (CERs) استفاده می کند، و به الگوریتم‌های ریاضی یا منطقی وابسته است[۲۵]. این روش، معمولاً در صنایعی استفاده می‌شود که اغلب از رگرسیون خطی برای توسعه CERها استفاده می‌نمایند.
- **درروش آنالیز فعالیت‌ها:** با استفاده از منابع مورد نیاز جهت انجام هر فعالیت و محاسبه راندمان هر یک از منابع، می‌توان مدت زمان مورد نیاز هر یک از منابع را جهت تکمیل فعالیت محاسبه نمود. همچنین با داشتن پتانسیل موجود منابع، یا به عبارت دیگر دانستن تعداد منابع موجود در پیمانکار، می‌توان زمان هر فعالیت را تخمین زد.
- **سایر روش‌های تخمین زمان:** عبارتند از: شباهت با دیگر فعالیت‌ها، استفاده از اطلاعات موجود گذشته و استفاده از نقطه نظرات کارشناسی می‌باشد [۲۲].
- **سایر روش‌های تخمین هزینه:** عبارتند از: مدل ویژگی محور [۲۶]، داده کاوی [۲۷]، شبکه‌های عصبی [۲۸]، فازی و سلسله مراتبی [۲۹، ۳۰]، که عمدتاً با توسعه مدل‌های پیشین و بهره‌گیری از فن‌آوری‌های جدید ارایه شده‌اند.

۳ بررسی انواع هزینه‌ها

گام نخست برای برآورد هزینه فعالیت‌ها شناسایی اجزای مختلف آنها می‌باشد. هزینه‌ها در یک پروژه به دو دسته هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم تقسیم می‌شوند.

عمده هزینه‌های مستقیم بر اساس بررسی صورت گرفته در این تحقیق، می‌توانند به ۹ دسته تقسیم شوند که عبارتند از:

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

جدول ۱. دسته بندی نُه گانه هزینه‌ها

نیروی انسانی	مواد اولیه/ قطعات آمادی و مصرفی	تجهیزات/ ماشین‌آلات / ابزارآلات	ساختمان (ابنیه)/ تاسیسات	خدمات مشاوره و آموزشی	خدمات پژوهشی/ خرید دانش فنی	عموم و پشتیبانی	نرم افزار/ سخت افزار	تست/ آزمایش

هزینه‌های غیرمستقیم را نیز می‌توان، به سه دسته " نیروی انسانی غیرمستقیم (شامل : خدمات و نظافت، باغبانی، ایمنی و بهداشت و ...)، پشتیبانی غیرمستقیم (شامل: نگهداری از تاسیسات و ابنیه، چای، قند، غذا و ...) و دیون (شامل: قبوض (آب، برق، تلفن، گاز)، پسماند شهری، کسورات قانونی و ...) " تقسیم‌بندی نمود.

هر یک از انواع هزینه بیان شده، به‌عنوان یک عامل هزینه شناخته می‌شود. هر فعالیت می‌تواند شامل یک یا چند مورد از عوامل هزینه باشد. هزینه هر فعالیت به دو دسته هزینه‌های وابسته به زمان و مستقل از زمان تقسیم می‌شود. اغلب هزینه‌های مستقیم مورد اشاره، هزینه‌های معین و مشخص هستند و می‌توان آن‌ها را به صورت یک عدد فازی مستقل برآورد نمود. این دسته از هزینه‌ها را هزینه‌های مستقل از زمان می‌نامیم. در این بین هزینه نیروی انسانی، اجاره و نگهداری و تعمیر ابنیه، اجاره و نگهداری و تعمیر تجهیزات و ماشین‌آلات، هزینه‌های وابسته به زمان هستند.

پیش‌فرض‌های مهم در برآورد زمان و هزینه

- واحد برآورد زمان و هزینه در محاسبات برای کلیه فعالیت‌ها در شبکه، بهتر است یکسان و ثابت باشد.
- برآورد مدت زمان و هزینه انجام فعالیت در یک طرح باید مستقل از مدت زمان سایر فعالیت‌های آن طرح صورت گیرد. به‌عبارت دیگر برآورد نباید به حالت شرطی انجام شود.
- هنگام برآورد زمان یک فعالیت، روش عادی انجام کار را مدنظر قرار داده؛ میزان منابع و هزینه را همیشه یک مقدار معقول و متوسط در نظر می‌گیریم. فرض بر این است که این تعداد از هر منبع، مستقل از نیاز سایر فعالیت‌ها به آن منبع باشد.
- اتفاق‌های غیرقابل پیش‌بینی نظیر: پدیده‌های طبیعی و وقایع خاص در صورتی که غیرقابل پیش‌بینی باشند؛ در برآورد زمان و هزینه فعالیت در نظر گرفته نمی‌شوند.

٤ رویه‌های پیشنهادی برای محاسبه زمان و هزینه فعالیت

با توجه به استفاده از روش مبتنی بر شبکه‌های فازی برای برآورد زمان پروژه، زمان و هزینه فعالیت‌ها نیز باید به صورت فازی برآورد گردند. لذا در این مقاله از اعداد فازی ذوزنقه‌ای برای برآورد زمان و هزینه فعالیت‌ها استفاده شده است. از طرفی به منظور ارایه یک رویه کاربردی برای حل مساله تخمین زمان فعالیت‌ها، این مساله را براساس تعداد و کیفیت داده‌های در دسترس از گذشته به ۴ دسته کلی زیر طبقه‌بندی کرده؛ برای هر دسته روش جداگانه‌ای ارایه شده است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

۱. فعالیت‌هایی که عیناً در گذشته انجام شده‌اند و مقدار زمان و هزینه انجام آنها همواره ثابت می‌باشند (فعالیت دارای جریان ثابتی می‌باشد).
۲. فعالیت‌هایی که عیناً در گذشته صورت گرفته‌اند اما هزینه و یا زمان انجام آن‌ها در برهه‌های مختلف دارای اختلاف معنی‌داری می‌باشد (جریان انجام فعالیت تحت تاثیر فرآیندهای احتمالی می‌باشد).
۳. فعالیت‌هایی که در مقیاس‌های متفاوت با شرایط کنونی در گذشته صورت گرفته‌اند.
۴. فعالیت‌هایی که برای اولین بار صورت می‌گیرند.

در ادامه به توضیح و تشریح هر یک از این ۴ حالت و روش‌های پیشنهادی در برخورد با آن‌ها خواهیم پرداخت. پیش از آن بایست به این مساله اشاره کرد زمانی که از داده‌ها استفاده می‌نماییم باید داده‌های پَرت موجود را شناسایی و حذف کنیم. لیمان آت [۳۱] پیشنهاد می‌کند که به این منظور ابتدا داده‌ها به صورت صعودی مرتب شده؛ میانه آن‌ها محاسبه گردد (Q_2)، با این کار داده‌ها به دو قسمت تقسیم می‌شوند. برای هر قسمت دوباره میانه‌ها را محاسبه؛ (Q_1 , Q_3) و در نهایت حدود زیر تعیین می‌گردند:

$$\text{Lower Internal Border} = \text{LIB} = Max\{0, Q_1 - 1/5 \times (Q_3 - Q_1)\} \quad (1)$$

$$\text{Upper Internal Border} = \text{UIB} = Q_3 + 1/5 \times (Q_3 - Q_1) \quad (2)$$

$$\text{Lower External Border} = \text{LEB} = Max\{0, Q_1 - 3 \times (Q_3 - Q_1)\} \quad (3)$$

$$\text{Upper External Border} = \text{UEB} = Q_3 + 3 \times (Q_3 - Q_1) \quad (4)$$

این روابط به ترتیب نشان دهنده حد پایین مرز داخلی، حد بالای مرز داخلی، حد پایین مرز خارجی و حد بالای مرز خارجی است. طبق تعریف، داده‌هایی را که خارج از مرزهای داخلی قرار گیرند داده‌های پَرت، در صورتی که بین مرزهای داخلی و خارجی قرار گیرند داده‌های پَرت ضعیف و چنانچه خارج از مرزهای خارجی قرار گیرند داده‌های پَرت قوی می‌نامند. از آنجا که در پروژه‌های تحقیقاتی معمولا دسترسی به آمار و اطلاعات گذشته بسیار محدود می‌باشد لذا داده‌های پَرت می‌توانند تاثیر بسیاری بر برآورد نامناسب هزینه‌ها داشته باشند. به همین دلیل در این مقاله از داده‌های پَرت قوی و ضعیف صرف نظر می‌گردد.

حالت اول: تعداد این نوع فعالیت‌ها در پروژه‌هایی از نوع تحقیق و توسعه، توسعه محصول و ... بسیار کم شمار می‌باشد. با این حال امکان وجود آن‌ها را بایستی در نظر گرفت. روش پیشنهادی برای تعیین زمان و هزینه این فعالیت‌ها استفاده از اطلاعات پیشین است. با این وجود، اینکه فعالیت عیناً در گذشته انجام گرفته اما ممکن است در نتیجه تغییرات زمانی که فعالیت در طی آن اجرا می‌شود همچنین مکان اجرای آن و البته تغییر نیروی انسانی درگیر در فعالیت، تغییراتی جزیی در آن ایجاد شود. به این ترتیب زمان و هزینه آن‌ها نیز می‌تواند دارای تغییرات جزیی گردد. در این حالت از دو روش می‌توان برای برآورد زمان و هزینه فعالیت استفاده نمود:

الف) زمان و هزینه با بیشترین فراوانی در میان موارد پیشین به عنوان زمان و هزینه انجام فعالیت انتخاب گردد (رابطه‌های ۵ و ۷).

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

ب) زمان و هزینه با بیشترین شباهت از لحاظ شرایط انجام فعالیت در گذشته در مقایسه با شرایط فعلی برای آن فعالیت استفاده شود (رابطه‌های ۶ و ۸). در این نوع فعالیت‌ها با صرف نظر از تغییرات جزیی موجود، بحث تقسیم‌بندی هزینه‌ها به هزینه‌های وابسته و مستقل از زمان مطرح نمی‌شود.

T_i= زمان تخمینی برای فعالیت i؛ C_i= هزینه تخمینی برای فعالیت i

t_{ik} = زمان فعالیت i ام در k امین سابقه انجام فعالیت

C_{ik} = هزینه فعالیت i ام در k امین سابقه انجام فعالیت

$$T_i = Max\ \ Frequency\ (t_{i1}, t_{i2}, \ldots, t_{iN}) = t \longrightarrow T_i = (t,t,t,t) \quad (۵)$$

$$T_i = Max\ \ Resemblance\ (t_{i1}, t_{i2}, \ldots, t_{iN}) = t \longrightarrow T_i = (t,t,t,t) \quad (۶)$$

$$C_i = Max\ \ Frequency\ \ (c_{i1}, c_{i2}, \ldots, c_{iN}) = c \longrightarrow C_i = (c,c,c,c) \quad (۷)$$

$$C_i = Max\ \ Resemblance\ \ (c_{i1}, c_{i2}, \ldots, c_{iN}) = c \longrightarrow C_i = (c,c,c,c) \quad (۸)$$

حالت دوم: در این حالت روند انجام فعالیت‌ها و عوامل زمان و هزینه‌ای به‌کار گرفته شده در آن‌ها نسبت به گذشته کاملاً مشابه است با این حال اختلاف‌هایی در میزان آن‌ها نسبت به گذشته مشاهده می‌شود که به دلیل ماهیت فعالیت‌ها و پیروی آن‌ها از قوانین، تصادفی می‌باشد. برای برآورد هزینه این گونه از فعالیت‌ها نیز می‌توان از داده‌های گذشته بسته به تعداد آن‌ها، از شیوه‌های مختلفی استفاده نمود.

در این بخش از لحاظ کمیت، داده‌ها را به ۳ دسته اصلی تقسیم نموده‌ایم تا برآورد زمان و هزینه با دقت بیشتری امکان‌پذیر باشد:

الف) تعداد داده‌های در دسترس از سوابق انجام فعالیت بیش از ۳۰ مورد باشد.

ب) تعداد داده‌های در دسترس از سوابق انجام فعالیت بین ۱۰ الی ۳۰ مورد باشد.

ج) تعداد داده‌های در دسترس از سوابق انجام فعالیت کمتر از ۱۰ مورد باشد.

در حالتی که $N \geq ۳۰$ باشد، در این‌صورت با توجه به تعداد داده‌ها می‌توان از قضیه حد مرکزی استفاده کرد. بر اساس این قانون زمانی که تعداد N به حد مناسبی برسد (حداقل ۳۰ نمونه) با افزایش آن مقدار میانگین داده‌ها ($\overline{X}$) به سمت میانگین کلی توزیع حاکم بر جامعه (μ) میل می‌کند [۳۱]. این مساله استفاده از قضیه کبیشو را امکان‌پذیر می‌سازد. بر اساس این قضیه احتمال اینکه هر متغیر تصادفی بین k انحراف معیار (δ) در اطراف میانگین خود قرار گیرد عبارتست از :

$$p = (\mu - k\,\delta < X < \mu + k\,\delta) \geq ۱ - \frac{۱}{k^۲} \quad (۹)$$

بسته به دقت مورد نیاز می‌توان از مقادیر مختلف برای k استفاده نمود. برای k= ۳ حداقل ۸۹٪ مشاهدات این توزیع در فاصله $\mu \pm ۳\delta$ قرار می‌گیرند. حال برای k= ۶ این فاصله حداقل ۹۷٪ داده‌ها را تحت پوشش خود قرار می‌دهد. با توجه به حدود مناسب به‌دست آمده از قضیه کبیشو می‌توان از آن‌ها برای برآورد زمان و هزینه بهره

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

گرفت. برای برآورد دقیق‌تر هزینه پیشنهاد می‌شود هر کدام از عوامل هزینه‌ای مستقل از زمان و وابسته به زمان مربوط به فعالیت به طور جداگانه مورد بررسی قرار گیرد و در نهایت مقادیر به‌دست آمده برای آن‌ها با یکدیگر تجمیع شوند.

بنابراین برآورد زمان برای این نوع فعالیت‌ها به‌صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای، از رابطه (۱۰) امکان‌پذیر می‌باشد. که در آن t_{ik}، k امین داده زمانی از فعالیت i ام و مجموعه داده‌های $\{t_{i1}, t_{i2}, ..., t_{iN}\}$ نشان‌دهنده تعداد داده‌های زمانی در دسترس برای برآورد فعالیت i ام می‌باشند. همچنین $\bar{t}$ میانگین داده‌های موجود و S_{T_i} انحراف معیار آن‌ها می‌باشد، که به ترتیب به عنوان تقریبی برای میانگین جامعه (μ_{T_i}) و انحراف معیار جامعه (δ_{T_i}) استفاده می‌شوند.

$$T_i = (Max\{0, \mu_{T_i} - 3\delta_{T_i}\}, Max\{0, \mu_{T_i} - 2\delta_{T_i}\}, \mu_{T_i} + 2\delta_{T_i}, \mu_{T_i} + 3\delta_{T_i}) \quad (10)$$

$$\mu_{T_i} \cong \bar{t_i} = \frac{\sum_k t_{ik}}{N} \quad (11)$$

$$\delta_{T_i} \cong S_{T_i} = \sqrt{\frac{\sum_k (t_{ik} - \bar{t_i})^2}{N - 1}} \quad (12)$$

همچنین برای برآورد هزینه‌های مستقل از زمان و هزینه‌های وابسته به زمان فعالیت، به‌صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای از روابط (۱۳) و (۱۴) استفاده می‌شود:

$$C_{ij} = (Max\{0, \mu_{Cij} - 3\delta_{Cij}\}, Max\{0, \mu_{Cij} - 2\delta_{Cij}\}, \mu_{Cij} + 2\delta_{Cij}, \mu_{Cij} + 3\delta_{Cij}) \quad (13)$$

$$C'_{ij} = (Max\{0, \mu_{C'ij} - 3\delta_{C'ij}\}, Max\{0, \mu_{C'ij} - 2\delta_{C'ij}\}, \mu_{C'ij} + 2\delta_{C'ij}, \mu_{C'ij} + 3\delta_{C'ij}) \quad (14)$$

در این روابط علایم زیر به کار رفته است:

C_{ij}: هزینه برآورد شده برای عامل هزینه مستقل از زمان jام از فعالیت i ام.

μ_{Cij}: میانگین جامعه برای عامل هزینه مستقل از زمان jام از فعالیت i ام.

δ_{Cij}: انحراف معیار جامعه برای عامل هزینه مستقل از زمان jام از فعالیت i ام.

C'_{ij}: هزینه برآورد شده برای عامل هزینه وابسته به زمان فعالیت jام از فعالیت i ام.

$\mu_{C'ij}$: میانگین جامعه برای عامل هزینه وابسته به زمان فعالیت jام از فعالیت i ام.

$\delta_{C'ij}$: انحراف معیار جامعه برای عامل هزینه وابسته به زمان فعالیت jام از فعالیت i ام.

حال برای برآورد هزینه کل فعالیت به‌صورت عدد فازی ذوزنقه‌ای، از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود:

$$C_i = (C_{i1} \oplus C_{i2} \oplus ... \oplus C_{ij}) \oplus [T_i \otimes (C'_{i1} \oplus C'_{i2} \oplus ... \oplus C'_{ij})] \quad (15)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

توجه: کلیه‌ی عملیات فازی مورد استفاده در این مقاله بر اساس سهیلی و کاوه [۳۲] می‌باشد.

در حالتی که ۳۰≤N≤۱۰باشد، در این‌صورت به دلیل عدم برقراری قانون اعداد بزرگ نمی‌توان در ابتدا از قضیه کبیشو استفاده نمود. اما از آنجاکه حجم اطلاعاتی مناسبی از نظر فراوانی و تعداد داده‌ها در دسترس است می‌توان شرایطی را برای به‌کارگیری این قضیه فراهم کرد. روش پیشنهادی در این بخش استفاده از تجربه و نظرات خبرگان تیم پروژه می باشد. به این منظور در گام نخست به تعداد داده‌های مورد نیاز جهت برقراری قانون کبیشو از خبرگان نظرخواهی می‌شود. در گام بعد، داده‌های پرت حذف می‌گردد. این روال تا جایی تکرار می‌شود که تعداد داده‌های غیر پرت و در دسترس به عدد ۳۰ رسیده؛ در نتیجه بتوان با استفاده از روابط ارایه شده برای حالت پیشین به محاسبه زمان و هزینه فعالیت‌ها پرداخت.

در حالتی که ۱۰ >N باشد در این‌صورت تعداد داده‌ها برای استفاده از قضیه کبیشو ناکافی است و از طرفی، دیگر استفاده از نظرات کارشناسان کار بسیار زمان‌بر و در برخی موارد به دلیل نبود تعداد افراد خبره امکان‌ناپذیر است. در این حالت ترکیب جواب حاصل از تجزیه و تحلیل داده‌های موجود و نظرات خبرگان می‌تواند به کار گرفته شود. به این ترتیب بایستی گام‌های زیر را انجام داد:

۱. محاسبه کمترین(α_{T_i})، بیشترین(β_{T_i}) و میانگین داده‌های زمانی (μ_{T_i}) موجود برای فعالیت i ام (روابط ۱۶ الی ۱۸) و در نهایت به دست آوردن عدد فازی ذوزنقه‌ای مربوط به آن (رابطه ۱۹):

$$\alpha_{T_i} = Min(t_{ik}) = Min\left(t_{i1}, t_{i2}, ..., t_{iN}\right) \quad (16)$$

$$\beta_{T_i} = Max(t_{ik}) = Max\left(t_{i1}, t_{i2}, ..., t_{iN}\right) \quad (17)$$

$$\mu_{T_i^1} \cong \bar{t}_i = \frac{\sum_k t_{ik}}{N} \quad (18)$$

$$T_i^1 = (\alpha_{T_i^1}, \mu_{T_i^1}, \mu_{T_i^1}, \beta_{T_i^1}) \quad (19)$$

۲. محاسبه زمان به دست آمده بر اساس نظرات خبرگان پروژه ($T_i^2 = (\sigma_{T_i^2}, \eta_{T_i^2}, \gamma_{T_i^2}, \lambda_{T_i^2})$).

۳. تعیین وزن برای ترکیب نتایج به دست آمده از تجزیه و تحلیل داده‌ها و نظرات خبرگان پروژه:

$W_{T_i^1}$= وزن مورد استفاده برای T_i^1 و $W_{T_i^2}$= وزن مورد استفاده برای T_i^2

این وزن‌ها را می‌توان برابر با یکدیگر و یا به صورت تابعی از تعداد داده‌ها و یا نظرات کارشناسان تعیین نمود.

۴. برآورد زمان فعالیت iام با اعمال وزن‌های حاصل از گام ۳ و ترکیب نتایج به‌دست آمده از گام‌های ۱و۲، مطابق رابطه (۲۰):

$$T_i = W_{T_i^1} \otimes T_i^1 \oplus W_{T_i^2} \otimes T_i^2 = \Big(\Big[W_{T_i^1} \times \alpha_{T_i^1} + W_{T_i^2} \times \sigma_{T_i^2}\Big], \Big[W_{T_i^1} \times \mu_{T_i^1} + W_{T_i^2} \times \eta_{T_i^2}\Big], \Big[W_{T_i^1} \times \mu_{T_i^1} + W_{T_i^2} \times \gamma_{T_i^2}\Big], \Big[W_{T_i^1} \times \beta_{T_i^1} + W_{T_i^2} \times \lambda_{T_i^2}\Big]\Big) \quad (20)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

حال برای برآورد هزینه ناشی از هر کدام از عوامل هزینه از روش مشابه استفاده می‌نماییم. به این ترتیب که ابتدا بر اساس داده‌های موجود یک برآورد هزینه، برای عوامل هزینه‌ای مستقل از زمان بر اساس روابط (۲۱) تا (۲۴) انجام می‌دهیم و سپس یک برآورد هزینه، برای عوامل هزینه‌ای وابسته به زمان فعالیت بر اساس روابط (۲۵) تا (۲۸) انجام می‌دهیم. سپس نظرات خبرگان برای عوامل هزینه‌ای مستقل از زمان مطابق $C_{ij}^{۲} = (\sigma_{C_{ij}^{۲}}, \eta_{C_{ij}^{۲}}, \gamma_{C_{ij}^{۲}}, \lambda_{C_{ij}^{۲}})$ و برای عوامل هزینه‌ای وابسته به زمان مطابق $C_{ij}'^{۲} = (\sigma_{C_{ij}''}, \eta_{C_{ij}''}, \gamma_{C_{ij}''}, \lambda_{C_{ij}''})$ اخذ می گردد.

$$\alpha_{C_{ij}^{۱}} = Min(C_{ijk}) = Min\left(C_{ij۱}, C_{ij۲}, ..., C_{ijN}\right) \quad (۲۱)$$

$$\beta_{C_{ij}^{۱}} = Max(C_{ijk}) = Max\left(C_{ij۱}, C_{ij۲}, ..., C_{ijN}\right) \quad (۲۲)$$

$$\mu_{C_{ij}^{۱}} \cong \overline{C_{ij}} = \frac{\sum_{k} C_{ijk}}{N} \quad (۲۳)$$

$$C_{ij}^{۱} = (\alpha_{C_{ij}^{۱}}, \mu_{C_{ij}^{۱}}, \mu_{C_{ij}^{۱}}, \beta_{C_{ij}^{۱}}) \quad (۲۴)$$

$$\alpha_{C_{ij}^{۸}} = Min(C'_{ijk}) = Min\left(C'_{ij۱}, C'_{ij۲}, ..., C'_{ijN}\right) \quad (۲۵)$$

$$\beta_{C_{ij}^{۸}} = Max(C'_{ijk}) = Max\left(C'_{ij۱}, C'_{ij۲}, ..., C'_{ijN}\right) \quad (۲۶)$$

$$\mu_{C_{ij}^{۸}} \cong \overline{C'_{ij}} = \frac{\sum_{k} C'_{ijk}}{N} \quad (۲۷)$$

$$C_{ij}'^{۱} = (\alpha_{C_{ij}^{۸}}, \mu_{C_{ij}^{۸}}, \mu_{C_{ij}^{۸}}, \beta_{C_{ij}^{۸}}) \quad (۲۸)$$

در این مرحله جهت برآورد هزینه هر کدام از عوامل، بایستی با اعمال وزن‌های حاصل از گام ۳ و ترکیب نتایج به دست آمده را از روابط(۲۴) و (۲۸) روابط (۲۹) و (۳۰) محاسبه نمود:

$$C_{ij} = W_{C_{ij}^{۱}} \otimes C_{ij}^{۱} \oplus W_{C_{ij}^{۲}} \otimes C_{ij}^{۲} \quad (۲۹)$$

$$C'_{ij} = W_{C_{ij}^{۸}} \otimes C_{ij}'^{۱} \oplus W_{C_{ij}''} \otimes C_{ij}'^{۲} \quad (۳۰)$$

در آخر نیز برای محاسبه هزینه نهایی فعالیت iام، بایستی با ترکیب نتایج حاصل شده از روابط (۲۰) ، (۲۴) و (۲۸) رابطه (۳۱) را تشکیل داد:

$$C_i = (C_{i۱} \oplus C_{i۲} \oplus ... \oplus C_{ij}) \oplus [T_i \otimes (C'_{i۱} \oplus C'_{i۲} \oplus ... \oplus C'_{ij})] \quad (۳۱)$$

حالت سوم: روش پیشنهادی برای برآورد زمان بدین صورت است که ابتدا نظرات کارشناسان مختلف در مورد

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

مقدار افزایش یا کاهش زمان فعالیت جدید نسبت به زمان آن در پروژه‌های مشابه انجام شده با مقیاس متفاوت جمع‌بندی می‌شود. با جمع‌بندی نظرات خبرگان، یک ضریب برای هر داده به دست می‌آید که در نهایت از ضرب این ضرایب در زمان داده‌های مربوطه و جمع بر روی همه آن‌ها زمان برآورد شده برای فعالیت به دست می‌آید. به منظور کاهش زمان محاسباتی، پیشنهاد گردیده است تا ابتدا فعالیت‌هایی با مقیاس مشابه در دسته‌های یکسان طبقه‌بندی و سپس این فرآیند برای هر دسته انجام شود. به این ترتیب ضریب محاسبه شده برای هر مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه یکسان می‌باشد. ضرایب پیشنهادی توسط افراد خبره به صورت اعداد قطعی است. همچنین به هر فرد خبره برای اظهار نظر در مورد هر مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه، وزنی جداگانه اختصاص داده می‌شود. این مساله موجب می‌گردد تا نظرات افراد با توجه به تجربه‌کاری آن‌ها تعدیل شود و نظر افراد با تجربه بالاتر بیشتر مورد توجه قرار گیرد. برای به‌دست آوردن ضریب نهایی هر دسته از داده‌ها و در نهایت برآورد مدت زمان انجام فعالیت‌ها، بر اساس گام‌های زیر عمل می‌نماییم:

l = تعداد افراد خبره ($l = ۱, ۲, \ldots, L$).

e = تعداد مجموعه داده‌ها با مقیاس مشابه ($e = ۱, ۲, \ldots, E$).

D_l = فرد خبره l ام.

M_{eT_i} = ضریب مقیاسی برای زمان فعالیت i ام.

w_{le} = وزن و اهمیت نظر فرد خبره lام در مورد مجموعه داده‌ها با مقیاس مشابه eام.

W_{lhe} = وزن و اهمیت نظر فرد خبره lام نسبت به کارشناس hام در مورد مجموعه داده‌ها با مقیاس مشابه eام.

O_{le} = نظر کارشناس lام در مورد ضریب میزان افزایش و یا کاهش زمان مجموعه داده‌ها با مقیاس مشابه eام برای تطبیق با وضع موجود.

W'_e = ماتریس مقایسات زوجی وزن نظر افراد خبره در مورد مجموعه داده‌ها با مقیاس مشابه eام.

W_{T_i} = ماتریس وزن نظر افراد خبره در مورد مجموعه داده‌ها با مقیاس مشابه، برای زمان فعالیت iام.

O_{T_i} = ماتریس ضرایب تعیین شده توسط افراد خبره برای مجموعه داده‌ها با مقیاس مشابه، برای زمان فعالیت iام.

۱. ابتدا ماتریس مقایسات زوجی را برای وزن نظر افراد خبره در هر مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه تشکیل می‌دهیم:

$$W_e' = [w_{lhe}] = \begin{bmatrix} ۱ & w_{۱۲e} & \cdots & w_{۱he} \\ w_{۲۱e} & ۱ & \cdots & w_{۲he} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{l۱e} & w_{l۲e} & \cdots & ۱ \end{bmatrix} \quad (۳۲)$$

$$W_{lhe} = \frac{۱}{W_{hle}} \quad (۳۳)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

۲. برای به دست آوردن وزن نظر هر کارشناس در هر مجموعه از داده‌ها، بایستی رابطه (۳۴) را تشکیل داد:

$$w_{le} = \frac{\left[\prod_{h} w_{lhe}\right]^{\frac{1}{L}}}{\sum_{l}\left[\prod_{h} w_{lhe}\right]^{\frac{1}{L}}} \qquad (۳۴)$$

بدین ترتیب وزن نظر مربوط به هر کارشناس خبره به دست می‌آید. ماتریس اوزان افراد خبره در برآورد زمان فعالیت i ام عبارتست از:

$$W_{T_i} = \begin{bmatrix} w_{۱۱} & w_{۱۲} & \dots & w_{۱e} \\ w_{۲۱} & w_{۲۲} & \dots & w_{۲e} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ w_{l۱} & w_{l۲} & \dots & w_{le} \end{bmatrix} \qquad (۳۵)$$

۳. ماتریس نظرات کارشناسان در مورد ضرایب افزایشی و یا کاهشی در هر مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه برای زمان فعالیت i ام را تشکیل می‌دهیم:

$$O_{T_i} = \begin{bmatrix} o_{۱۱} & o_{۱۲} & \dots & o_{۱e} \\ o_{۲۱} & o_{۲۲} & \dots & o_{۲e} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ o_{l۱} & o_{l۲} & \dots & o_{le} \end{bmatrix} \qquad (۳۶)$$

۴. سپس ماتریس R_{T_i} را از ضرب نظیر به نظیر درایه‌های دو ماتریس O_{T_i} و W_{T_i} می‌آوریم:

$$R_{T_i} = W_{T_i} \bullet O_{T_i} \quad \Rightarrow \quad r_{le} = w_{le} \times o_{le} \qquad \forall l, e \qquad (۳۷)$$

۵. ضریب مقیاسی M_{eT_i} از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد.

$$M_{eT_i} = \sum_{l=۱}^{L} r_{le} \quad for \quad e = ۱...E \qquad (۳۸)$$

۶. این ضرایب برای تبدیل زمان‌های هر مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه به زمان‌های قابل استفاده در محاسبات مورد نیاز برای تخمین زمان فعالیت‌ها به‌صورت رابطه (۳۹) استفاده می‌گردد:

$$\tilde{t}_{ik} = M_{eT_i} \times (t_{ik})_e \qquad \forall e, k \qquad (۳۹)$$

در این رابطه $(t_{ik})_e$ نشان‌دهنده زمان فعالیت i در k امین داده است که این داده مربوط به eامین مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه می‌باشد. $\tilde{t}_{ik}$ نیز زمان تعدیل شده k امین داده به منظور استفاده برای برآورد زمان فعالیت iام است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

۷. در این مرحله کلیه داده‌ها در یک دسته قرار می‌گیرند و داده‌های پرت شناسایی و حذف می‌گردند.
۸. حال برای برآورد نهایی زمان فعالیت از روش‌های ارایه شده در حالت دوم استفاده می‌شود.

روش پیشنهادی برای برآورد هزینه ناشی از عوامل هزینه برای این نوع فعالیت‌ها، مشابه روند فوق است. در اینجا گام های اول و دوم، جهت استخراج ماتریس اوزان نظر افراد خبره مشابه گام‌های اول و دوم روش فوق می‌باشد. در گام سوم، ماتریس نظرات افراد خبره برای هزینه مربوط به هر یک از عوامل هزینه ایجاد می‌گردد($O_{C_{ij}}$ مربوط به عامل هزینه مستقل از زمان و $O_{C'_{ij}}$ مربوط به عامل هزینه وابسته به زمان فعالیت). در گام چهارم، ماتریس های $R_{C_{ij}}$ و $R_{C'_{ij}}$، از ضرب نتایج گام های دوم و سوم به‌دست می‌آید. در گام پنجم، مقادیر $M_{eC_{ij}}$ مربوط به عامل هزینه مستقل از زمان و $M_{eC'_{ij}}$ مربوط به عامل هزینه وابسته به زمان برای هر مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه محاسبه می‌شود. در گام ششم، هزینه تعدیل شده هر عامل هزینه مستقل از زمان مطابق رابطه (۴۰) و عامل هزینه وابسته به زمان فعالیت مطابق رابطه (۴۱) محاسبه می‌گردد:

$$\tilde{c}_{ijk} = M_{eC_{ij}} \times (c_{ijk})_e \qquad \forall e,k,j \qquad (۴۰)$$

$$\tilde{c}'_{ijk} = M_{eC'_{ij}} \times (c'_{ijk})_e \qquad \forall e,k,j \qquad (۴۱)$$

در این روابط طبق جدول (۲) داریم:

جدول ۲. معرفی پارامترهای هزینه‌ای

$(c_{ijk})_e$	هزینه مربوط به عامل هزینه مستقل از زمان j ام در فعالیت i ام مربوط به k امین داده موجود که این داده مربوط به e امین مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه می‌باشد.
$(c'_{ijk})_e$	هزینه مربوط به عامل هزینه وابسته به زمان فعالیت j ام در فعالیت i ام مربوط به k امین داده موجود که این داده مربوط به e امین مجموعه از داده‌ها با مقیاس مشابه می‌باشد.
$\tilde{c}_{ijk}$	هزینه تعدیل شده عامل هزینه مستقل از زمان j ام برای k امین داده به منظور برآورد زمان فعالیت i ام.
$\tilde{c}'_{ijk}$	هزینه تعدیل شده عامل هزینه وابسته به زمان فعالیت j ام برای k امین داده به برآورد زمان فعالیت i ام.

در نهایت در گام‌های هفتم و هشتم مطابق روش قبل، پس از حذف داده‌های پَرت، برای برآورد هزینه فعالیت از یکی از روش‌های ارایه شده در حالت دوم استفاده می‌نماییم.

حالت چهارم: برای این دسته از فعالیت‌ها داده‌ای از قبل موجود نیست؛ بنابراین بهترین راه برآورد زمان و هزینه استفاده از نظرات خبرگان پروژه می‌باشد. با این حال نظر افراد مختلف در برآوردها یکسان نیست و از طرفی دیگر اهمیت نظرآن‌ها نیز برای مدیر پروژه یکسان نمی‌باشد. در این مقاله روش جدیدی برای برآورد مدت زمان و هزینه فعالیت‌های پروژه به صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای ارایه گردیده است که در آن علاوه بر نظرات

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

کارشناسان خبره که به صورت اعداد فازی بیان می‌شوند از میزان اعتماد مدیر پروژه نسبت به نظر هر کارشناس (بر اساس روش وزن‌دهی فازی) نیز استفاده می‌گردد. گام‌های روش پیشنهادی به‌شرح زیر می‌باشد:

گام اول: شناسایی کارشناسان خبره و تعیین میزان اهمیت نظر آن‌ها

در این گام کارشناسان خبره برای برآورد مدت زمان فعالیت‌های پروژه انتخاب می‌شوند. دانش و تجربه این افراد در تعیین یک زمان تخمینی برای هر فعالیت متفاوت است؛ بنابراین بایستی بر مبنای این تجربه و دانش وزنی برای نظر هر کدام از کارشناسان تعیین گردد. برای یافتن این وزن‌ها از ماتریس مقایسات زوجی استفاده می‌شود که توسط مدیر(ان) پروژه پیشنهاد می‌گردد، مطابق رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$W=\begin{bmatrix}(1,1,1,1) & w_{12} & \dots & w_{1l}\\ w_{21} & (1,1,1,1) & \dots & w_{2l}\\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots\\ w_{h1} & w_{h2} & \dots & (1,1,1,1)\end{bmatrix};\quad if\quad w_{hl}=(a_{lh},b_{lh},c_{lh},d_{lh});\quad then\quad w_{lh}=\frac{1}{w_{hl}}=(\frac{1}{d_{lh}},\frac{1}{c_{lh}},\frac{1}{b_{lh}},\frac{1}{a_{lh}}) \qquad (42)$$

هر آرایه در این ماتریس به صورت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای می‌باشد که نشان دهنده میزان اهمیت نظر کارشناس hام نسبت به کارشناس lام است. برای به دست آوردن عناصر ماتریس فوق، از مقیاس اهمیت نسبی به کار رفته توسط ژانگ و همکاران [۳۳] استفاده می‌شود. به این ترتیب که مدیر(ان) پروژه برای برتری نظر هر کارشناس نسبت به کارشناس دیگر عددی بین ۱ الی ۹ به عنوان میزان اهمیت نسبی تخصیص می‌دهند. اعداد بزرگتر اهمیت نظر یک کارشناس را نسبت به کارشناس دیگر نشان می‌دهد. همچنین می‌توان از متغیرهای کلامی مترادف با هر یک از اعداد (جدول ۳) برای وزن‌دهی ماتریس مقایسات زوجی استفاده نمود.

جدول ۳. معادل‌سازی اعداد قطعی به صورت متغیرهای زبانی و اعداد فازی ذوزنقه‌ای برگرفته از گوژانگ و همکاران

متغیر های زبانی مربوط	اعداد فازی ذوزنقه‌ای	مقیاس اهمیت نسبی
به همان اندازه مهم	$(1,1,1,1)$	۱
مقدار ضعیفی مهم	$\left(2,\frac{5}{2},\frac{7}{2},4\right)$	۳
اساساً مهمتر	$\left(4,\frac{9}{2},\frac{11}{2},6\right)$	۵
به شدت مهمتر	$\left(6,\frac{13}{2},\frac{15}{2},8\right)$	۷
کاملاً مهمتر	$\left(8,\frac{17}{2},9,9\right)$	۹
	$\left(x-1,x-\frac{1}{2},x+\frac{1}{2},x+1\right)$	برای اعداد زوج (مقیاس های میانی)

گام دوم: تعیین وزن نهایی هر کارشناس

در این مرحله وزن نهایی اهمیت نظر هر کارشناس در مورد فعالیت i (w_{il})، از ماتریس مقایسات زوجی استخراج می‌گردد:

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

$$w_{il} = \left(\frac{\alpha_{il}}{\sigma_i}, \frac{\beta_{il}}{\gamma_i}, \frac{\gamma_{il}}{\beta_i}, \frac{\sigma_{il}}{\alpha_i} \right) \quad (۴۳)$$

که در آن داریم:

$$\sigma_{il} = \left[\prod_{h=1}^{L} d_{ilh} \right]^{\frac{1}{L}} \quad \gamma_{il} = \left[\prod_{h=1}^{L} c_{ilh} \right]^{\frac{1}{L}} \quad \beta_{il} = \left[\prod_{h=1}^{L} b_{ilh} \right]^{\frac{1}{L}} \quad \alpha_{il} = \left[\prod_{h=1}^{L} a_{ilh} \right]^{\frac{1}{L}} \quad (۴۴)$$

$$\sigma_i = \sum_{l=1}^{L} \sigma_{il} \qquad \gamma_i = \sum_{l=1}^{L} \gamma_{il} \qquad \beta_i = \sum_{l=1}^{L} \beta_{il} \qquad \alpha_i = \sum_{l=1}^{L} \alpha_{il} \quad (۴۵)$$

مجموعه اهمیت نظرات کارشناسان را در رابطه با برآورد زمان فعالیت i می‌توان به صورت ماتریس سطری W_i در رابطه ۴۶ نمایش داد.

$$W_i = [w_{i1}, w_{i2}, ..., w_{iL}] \quad (۴۶)$$

برای تبدیل اعداد فازی ذوزنقه‌ای به اعداد قطعی متناظر با خود، یک عملیات دی فازی مناسب مورد نیاز است. دی فازی‌سازی یک فرآیند معکوس‌گیری است که یک فاصله فازی را به عدد قطعی خود باز می‌گرداند؛ بنابراین عدد قطعی متناظر با عدد فازی حاصل از رابطه ۴۳ را طبق روش لین و لی [۳۴]، می‌توان از رابطه ۴۷ به‌دست آورد. همچنین مجموعه اهمیت نظرات دی‌فازی شده کارشناسان را در رابطه با برآورد زمان فعالیت i می‌توان به صورت ماتریس سطری dW_i در رابطه ۴۸ نمایش داد.

$$dw_{il} = \frac{\left(\frac{\alpha_{il}}{\sigma_i} + ۲ \times \frac{\beta_{il}}{\gamma_i} + ۲ \times \frac{\gamma_{il}}{\beta_i} + \frac{\sigma_{il}}{\alpha_i} \right)}{۶} \quad (۴۷)$$

$$dW_i = [dw_{i1}, dw_{i2}, ..., dw_{iL}] \quad (۴۸)$$

گام سوم: کسب نظر کارشناسان درباره مدت زمان و هزینه انجام فعالیت

در این مرحله نظر کارشناسان خبره در مورد برآورد زمان و هزینه فعالیت‌ها در قالب اعداد فازی ذوزنقه‌ای جمع‌آوری می‌گردد و در یک فرآیند جمع پذیری، برآورد زمان فعالیت i به‌صورت ماتریس سطری در رابطه (۴۹) و هزینه‌های مستقل و وابسته به زمان فعالیت i به‌صورت ماتریس‌های سطری در رابطه های (۵۰) و (۵۱) نمایش داده می شود.

t_{il}^{λ} = نظر کارشناس l در مورد زمان فعالیت i در تکرار λ. $(a_{il}^{\lambda}, b_{il}^{\lambda}, c_{il}^{\lambda}, d_{il}^{\lambda})$

c_{ijl}^{λ} = نظر کارشناس l درباره هزینه ناشی از عامل هزینه‌ای مستقل از زمان jدر فعالیت i در تکرار λ.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

c'^{λ}_{ijl} = نظر کارشناس l درباره هزینه ناشی از عامل هزینه‌ای وابسته به زمان j در فعالیت i در تکرار λ.

$$T_i^{\lambda} = \left[t_{i1}^{\lambda}, t_{i2}^{\lambda}, ..., t_{il}^{\lambda}\right] \quad (۴۹)$$

$$C_{ij}^{\lambda} = \left[c_{ij1}^{\lambda}, c_{ij2}^{\lambda}, ..., c_{ijl}^{\lambda}\right] \quad (۵۰)$$

$$C'^{\lambda}_{ij} = \left[c'^{\lambda}_{ij1}, c'^{\lambda}_{ij2}, ..., c'^{\lambda}_{ijl}\right] \quad (۵۱)$$

گام چهارم:

برآورد متوسط زمان فعالیت i در تکرار λ:

$$T_{im}^{\lambda} = \left[\left(w_{i1} \otimes t_{i1}^{\lambda}\right) \oplus \left(w_{i2} \otimes t_{i2}^{\lambda}\right) \oplus ... \oplus \left(w_{il} \otimes t_{il}^{\lambda}\right)\right] / \left(dw_{i1} + dw_{i2} + ... + dw_{il}\right) \quad (۵۲)$$

$$T_{im}^{\lambda} = (a_{im}^{\lambda}, b_{im}^{\lambda}, c_{im}^{\lambda}, d_{im}^{\lambda}) \quad (۵۳)$$

برآورد متوسط هزینه ناشی از عامل هزینه‌ای مستقل از زمان j در فعالیت i در تکرار λ:

$$C_{ijm}^{\lambda} = \left[\left(w_{i1} \otimes c_{ij1}^{\lambda}\right) \oplus \left(w_{i2} \otimes c_{ij2}^{\lambda}\right) \oplus ... \oplus \left(w_{il} \otimes c_{ijl}^{\lambda}\right)\right] / \left(dw_{i1} + dw_{i2} + ... + dw_{il}\right) \quad (۵۴)$$

برآورد متوسط هزینه ناشی از عامل هزینه‌ای وابسته به زمان j در فعالیت i در تکرار λ:

$$C'^{\lambda}_{ijm} = \left[\left(w_{i1} \otimes c'^{\lambda}_{ij1}\right) \oplus \left(w_{i2} \otimes c'^{\lambda}_{ij2}\right) \oplus ... \oplus \left(w_{il} \otimes c'^{\lambda}_{ijl}\right)\right] / \left(dw_{i1} + dw_{i2} + ... + dw_{il}\right) \quad (۵۵)$$

توجه: در این مقاله تکرار دریافت اطلاعات برای عامل‌های هزینه‌ای تنها یک‌بار در نظر گرفته می‌شود. در نهایت هزینه کل فعالیت i مطابق رابطه (۵۶) برآورد می‌شود:

$$C_i = \left(C_{i1} \oplus C_{i2} \oplus ... \oplus C_{ij}\right) \oplus \left[T_{im}^{\lambda} \otimes \left(C'_{i1} \oplus C'_{i2} \oplus ... \oplus C'_{ij}\right)\right] \quad (۵۶)$$

گام پنجم: بعد از مشخص شدن T_{im}^{λ} اگر فرآیند به حالت پایدار رسیده باشد، الگوریتم متوقف می‌گردد و زمان و هزینه به‌دست آمده به عنوان تخمین مدت زمان و هزینه انجام فعالیت i، در نظر گرفته می‌شود. در غیر این‌صورت برای هر کارشناس اختلاف از میانگین مدت زمان فعالیت‌ها به صورت رابطه (۵۷) محاسبه می‌گردد:

$$\theta_{il}^{\lambda} = (a_{im}^{\lambda} - d_{il}^{\lambda}, b_{im}^{\lambda} - c_{il}^{\lambda}, c_{im}^{\lambda} - b_{il}^{\lambda}, d_{im}^{\lambda} - a_{il}^{\lambda}) \quad (۵۷)$$

سپس این اطلاعات برای هر کارشناس l فرستاده و قدم بعدی آغاز می‌شود.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

گام ششم: پس از ارسال اطلاعات از هر کارشناس می‌خواهند که با توجه به اطلاعات موجود، یک تخمین جدید برای مدت زمان هر فعالیت ارایه دهد. سپس این نظرات جدید مشابه گام سوم در قالب اعداد فازی ذوزنقه‌ای به صورت رابطه (۵۸) نمایش داده می‌شوند.

$$t_{il}^{\lambda+1} = (a_{il}^{\lambda+1}, b_{il}^{\lambda+1}, c_{il}^{\lambda+1}, d_{il}^{\lambda+1}) \qquad (۵۸)$$

همان‌طور که ملاحظه می‌شود الگوریتم وارد تکرار بعدی $(\lambda+1)$ شده است. حال با توجه به نظرات جدید کارشناسان، الگوریتم به گام چهارم برگشته؛ با جای‌گزینی $(\lambda+1)$ و λ الگوریتم دوباره تکرار می‌شود. این تکرارها تا زمانی که شرط توقف الگوریتم برقرار نگردد؛ ادامه می‌یابد.

شرط توقف الگوریتم (پایداری فرآیند)

همان طور که در گام پنجم اشاره شد وقتی T_{im}^{λ} برای هر فعالیت به حالت پایدار برسد؛ الگوریتم متوقف می‌گردد و عدد فازی ذوزنقه‌ای به‌دست آمده، به عنوان تخمین مدت زمان فعالیت مدنظر، در نظر گرفته می‌شود. حال برای تعیین پایداری فرآیند و توقف الگوریتم دو روش زیر پیشنهاد می‌گردد:

روش اول: یک عدد طبیعی r از طرف تیم پروژه به عنوان تعداد تکرار تعریف گردد و وقتی که تعداد تکرار برابر با این عدد طبیعی شود (یعنی $\lambda = r$)، فرآیند به حالت پایدار می‌رسد و الگوریتم متوقف می‌شود.

این روش بسیار ساده است ولی شاید در برخی موارد از دقت بالایی برخوردار نباشد؛ بنابراین منوط به شناخت تیم پروژه نسبت به فعالیت‌ها و کارشناسان می‌باشد.

روش دوم: یک مقدار ε از طرف تیم پروژه تعیین می‌شود. وقتی که اختلاف نظر هر کارشناس t_{il}^{λ} با میانگین نظرات T_{im}^{λ}، ($\varepsilon_{il}^{\lambda}$) کمتر از مقدار ε گردید الگوریتم در آن تکرار متوقف و شرط پایانی برآورده می‌شود. برای مقایسه اختلاف نظرات کارشناسان از میانگین به دست آمده، مقدار $\varepsilon_{il}^{\lambda}$ را از قدر مطلق تفریق، دی‌فازی شده نظرات با میانگین به‌دست آمده محاسبه می‌کنیم. در این حالت برای کاهش زمان، می‌توان تجدید نظر در مورد زمان‌ها را تنها محدود به کارشناسانی نمود که نظرات آن‌ها شرط پایداری را بر هم می‌زند.

۵ اعتبارسنجی و به‌کارگیری روش حل ارایه‌شده

در ادامه یکی از مسایل واقعی یک مرکز تحقیقاتی را انتخاب و با رویه‌های بیان گردیده در قسمت (۴) حل می‌کنیم و سپس مقایسه‌ای با جواب واقعی اتفاق افتاده، خواهیم داشت. فعالیت i، فعالیتی است که برای اولین بار انجام می‌شود و اطلاعات درستی از هزینه و زمان انجام آن در دسترس نیست. برای این فعالیت سه عامل هزینه خرید مواد اولیه (مستقل از زمان فعالیت j =۱)، خرید تجهیزات (مستقل از زمان فعالیت j =۲) و نفر ساعت

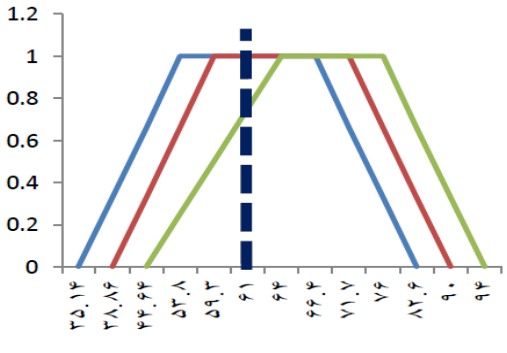
[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

نیروی انسانی (وابسته به زمان فعالیت ۳= j) شناسایی شده است. به همین دلیل، مدیر پروژه از ۵ کارشناس خبره برای تخمین مدت زمان و هزینه این فعالیت بهره گرفته است.

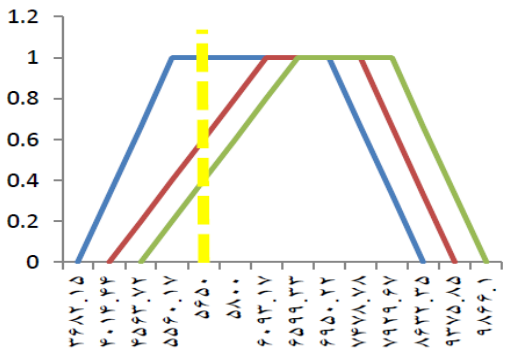
مقادیر برآوردی برای زمان و هزینه فعالیت پس از حل بر اساس روش بیان شده مطابق جدول ۴ می‌باشند. حال پس از انجام واقعی این فعالیت مقادیر ثبت شده را مورد بررسی قرار دادیم که ملاحظه شد مقادیر در کران میانی جواب‌های برآوردی واقع شده‌اند (یعنی t=۶۱ روز و c=۵۶۵۰ هزار تومان) . اگر مقادیر دی‌فازی شده‌ی جواب-های برآوردی را در نظر بگیریم و مقایسه‌ای با جواب‌های واقعی و مقادیر محاسبه شده با روش‌های شفلی و ژانگ داشته باشیم ملاحظه می گردد خطاها در برآورد زمان تا حدودی بهتر و در برآورد هزینه به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر شده است (جدول ۴).

جدول ٤. مقایسه‌ای بین نتایج روش پیشنهادی و سایر روش‌ها

	زمان فازی	زمان دی فازی	خطا در زمان	هزینه فازی	هزینه دی فازی	خطا در هزینه
برآورد به روش پیشنهادی	(۸۲/۶ ، ۶۶/۴ ، ۵۳/۸ ، ۳۵/۱۴)	۵۹/۶۹	٪ ۲/۱	(۸۶۳۲/۳۵ ، ۶۹۵۰/۲۲ ، ۵۵۶۰/۱۷ ، ۳۶۸۲/۱۵)	۶۲۲۲/۵۵	٪ ۱۰/۱
برآورد به روش میانگین وزنی بدون در نظر گرفتن شرط پایداری	(۹۰ ، ۷۱/۷ ، ۵۹/۳ ، ۳۸/۸۶)	۶۵/۱۴	٪ ۶/۸	(۹۳۷۵/۸۵ ، ۷۴۷۸/۷۸ ، ۶۰۹۳/۱۷ ، ۴۰۱۴/۴۴)	۶۷۵۵/۷۰	٪ ۱۹/۶
برآورد به روش شفلی و ژانگ	(۹۴ ، ۷۶ ، ۶۴ ، ۴۴)	۶۹/۷	٪ ۱۴/۲	(۹۸۶۶/۱ ، ۷۹۲۹/۶۷ ، ۶۵۹۹/۳۳ ، ۴۵۶۳/۷۲)	۷۲۴۷/۹۷	٪ ۲۸/۳
مقادیر واقعی به-وقوع پیوسته		۶۱			۵۶۵۰	



شکل ۱. نمودار مقایسه‌ای زمان‌های برآوردی با زمان واقعی



شکل ۲. نمودار مقایسه‌ای هزینه‌های برآوردی با هزینه واقعی

رویه حل: بر اساس نظر مدیر پروژه، وزن نسبی نظر هر کدام از این کارشناسان به صورت ماتریس زیر(جدول ۵) برآورده شده است:

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

جدول ۵. فازی‌سازی ماتریس مقایسات زوجی وزن کارشناسان

W	D۱	D۲	D۳	D٤	D٥
D۱	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۳، ۲/۵، ۱/۵، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۳، ۲/۵، ۱/۵، ۱)
D۲	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۴، ۳/۵، ۲/۵، ۲)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)
D۳	(۱، ۰/۶۷، ۰/۴، ۰/۳۳)	(۰/۵، ۰/۴، ۰/۲۹، ۰/۲۵)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۵، ۴/۵، ۳/۵، ۳)
D۴	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۴، ۳/۵، ۲/۵، ۲)
D۵	(۱، ۰/۶۷، ۰/۴، ۰/۳۳)	(۱، ۱، ۱، ۱)	(۰/۳۳، ۰/۲۹، ۰/۲۲، ۰/۲)	(۰/۵، ۰/۴، ۰/۲۹، ۰/۲۵)	(۱، ۱، ۱، ۱)

وزن نهایی اهمیت نظر هر کارشناس (w_{il}) به صورت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای بر اساس روابط (۴۳) تا (۴۸) محاسبه و نتایج حاصل در جدول ۶ آورده شده است.

جدول ٦. محاسبه وزن هر کارشناس خبره

	α_l	β_l	γ_l	γ_l	w_{il}	dw_{il}
D۱	۱/۰۰	۱/۱۸	۱/۴۴	۱/۵۵	(۰/۳۴، ۰/۲۹، ۰/۲، ۰/۱۶)	۰/۲۵
D۲	۱/۱۵	۱/۲۰	۱/۲۸	۱/۳۲	(۰/۲۹، ۰/۲۵، ۰/۲۱، ۰/۱۸)	۰/۲۳۵
D۳	۰/۷۶	۰/۸۴	۱/۰۴	۱/۲۰	(۰/۲۶، ۰/۲۱، ۰/۱۴، ۰/۱۲)	۰/۱۸
D٤	۱/۱۵	۱/۲۰	۱/۲۸	۱/۳۲	(۰/۲۹، ۰/۲۵، ۰/۲۱، ۰/۱۸)	۰/۲۳۵
D٥	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۷۸	۰/۸۷	(۰/۱۹، ۰/۱۵، ۰/۱۱، ۰/۰۹)	۰/۱۳
$\sum$	۴/۶۰	۵/۰۴	۵/۸۳	۶/۲۶		

در مرحله بعد نظرات این کارشناسان به صورت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای، برای مدت زمان و هزینه ناشی از هر عامل هزینه شناسایی شده، برای فعالیت i اخذ می‌گردد و در جدول ۷ نشان داده شده است:

جدول ۷. مقادیر زمان و هزینه‌ی فازی اخذ شده از کارشناسان خبره (واحد هزینه‌ها هزار تومان و زمان روز می‌باشد)

		$\lambda = ۱$			
		$t_{il}^{۱}$	$c_{i۱l}^{۱}$	$c_{i۲l}^{۱}$	$c_{i۳l}^{۸۱}$
l	۱	(۲۰، ۵۰، ۶۰، ۹۰)	(۱۱۵/۲۰، ۱۱۸/۲۳، ۱۲۰/۸۱، ۱۲۱/۵۲)	(۲۵۲/۴، ۲۵۳/۲، ۲۶۸/۴، ۲۷۵/۳)	(۱۲/۸، ۱۲/۷، ۱۲/۵، ۱۲/۲)
	۲	(۳۰، ۵۰، ۷۰، ۸۰)	(۱۱۴/۵۹، ۱۱۸/۷۱، ۱۱۹/۰۰، ۱۲۰/۴۶)	(۲۳۲/۱، ۲۴۳/۷، ۲۵۵/۷، ۲۶۳/۸)	(۱۲/۳، ۱۲/۲، ۱۲، ۱۱/۸)
	۳	(۷۰، ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۴۰)	(۱۱۶/۴۸، ۱۱۷/۲۱، ۱۲۲/۷۱، ۱۲۶/۳۴)	(۲۱۲، ۲۲۵/۷، ۲۲۸/۳، ۲۴۳/۵)	(۱۲/۴، ۱۲/۲، ۱۱/۸، ۱۱/۶)
	۴	(۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰)	(۱۱۴/۱۳، ۱۱۵/۲۴، ۱۱۸/۲۹، ۱۲۱/۲۳)	(۲۱۵/۹، ۲۲۵/۶، ۲۳۸/۵، ۲۳۹/۵)	(۱۳، ۱۲/۸، ۱۲/۶، ۱۲/۵)
	۵	(۸۰، ۹۰، ۱۰۰، ۱۱۰)	(۱۱۱/۱۸، ۱۱۷/۳۴، ۱۱۹/۵۴، ۱۲۳/۶۷)	(۲۲۲، ۲۴۵/۸، ۲۵۳/۱، ۲۶۰/۸)	(۱۲/۶، ۱۲/۳، ۱۲/۱، ۱۱/۹)

- شرط توقف و یا پایداری فرآیند در خصوص تخمین زمان، مقدار $\varepsilon = ۳۵$، از طرف مدیر پروژه تعیین شده است.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

با اعمال وزن هر کارشناس و انجام محاسبات، میانگین زمانی بر اساس رابطه (۵۲) به صورت زیر به حاصل می‌شود:

$$T^{۱}_{im} = (۳۹/۸ , ۶۱/۱ , ۷۳/۸ , ۹۲/۷)/(۱/۰۳) = (۳۸/۶ , ۵۹/۳ , ۷۱/۷ , ۹۰)$$

برای بررسی شرط پایداری، ابتدا نظرات هر کارشناس و همچنین میانگین زمانی به دست آمده، دی فازی شده؛ سپس اختلاف دو عدد به دست آمده با مقدار $\varepsilon = ۳۵$ مقایسه می‌گردد:

$$dt^{۱}_{i۱} = ۵۵;\quad dt^{۱}_{i۲} = ۵۸/۳;\quad dt^{۱}_{i۳} = ۱۰۵;\quad dt^{۱}_{i۴} = ۳۵;\quad dt^{۱}_{i۵} = ۹۵$$

$$dT^{۱}_{im} = ۶۵/۱$$

بر این اساس، می‌توان مقادیر $\varepsilon_{il}{}^{\lambda}$ را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\varepsilon^{۱}_{۱} = \left|dt^{۱}_{i۱} - dT^{۱}_{im}\right| = ۱۰/۱ \quad \varepsilon^{۱}_{۲} = ۶/۸ \quad \varepsilon^{۱}_{۳} = ۴۰/۱ \quad \varepsilon^{۱}_{۴} = ۳۰/۱ \quad \varepsilon^{۱}_{۵} = ۳۰/۱$$

بر این اساس، مشاهده می‌شود که کارشناس ۳، باید در مورد نظر خود تجدید نظر نماید. در نتیجه الگوریتم به شرایط پایداری خود نرسیده است. مقادیر θ^{λ}_{il} برای کارشناسانی که باید در نظرات خود تجدید نظر کنند؛ فرستاده شده، تا بر اساس این مقادیر نظرات جدید خود را در مورد تخمین زمان‌ها ارایه نمایند:

$$\theta^{\lambda}_{il} = (a^{\lambda}_{im} - d^{\lambda}_{il}, b^{\lambda}_{im} - c^{\lambda}_{il}, c^{\lambda}_{im} - b^{\lambda}_{il}, d^{\lambda}_{im} - a^{\lambda}_{il}) \Rightarrow \theta^{۱}_{i۳} = (-۱۰۱/۴, -۵۰/۸, -۲۸/۵, ۱۹/۹)$$

دوره جدید الگوریتم با تغییر نظر کارشناس ۳ به مقادیر زیر شروع می‌شود:

$$t^{۱}_{i۳} = (۷۰, ۱۰۰, ۱۱۰, ۱۴۰) \Rightarrow t^{۲}_{i۳} = (۵۰, ۷۰, ۸۰, ۱۰۰)$$

در این مرحله با جای‌گذاری مقادیر زمانی کارشناس سوم، مجدداً شرط پایداری را چک می‌نماییم و مشاهده می‌شود که شرط برقرار است. بنابراین با مقدار $T^{۲}_{im}$ = (۳۵/۱، ۵۳/۸، ۶۶/۴، ۸۲/۶) به عنوان زمان فعالیت مورد بررسی به مرحله محاسبه هزینه می‌رویم.

حال بایستی به برآورد هزینه هر عامل هزینه‌ای، فعالیت i مطابق روابط (۵۴) و (۵۵) پرداخت:

$$C^{۱}_{i۱} = \frac{\left[\sum_{l=۱}^{۵} dw_{il} \times c^{۱}_{i۱l}\right]}{\sum_{l=۱}^{۵} dw_{il}} = (۱۱۳/۴۲, ۱۱۶/۲۳, ۱۱۸/۸۴, ۱۲۱/۱۵)$$

$$C^{۱}_{i۲} = \frac{\left[\sum_{l=۱}^{۵} dw_{il} \times c^{۱}_{i۲l}\right]}{\sum_{l=۱}^{۵} dw_{il}} = (۲۲۶/۳, ۲۳۶/۷, ۲۴۷/۳, ۲۵۴/۷)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

$$C^{۸}_{i۳} = \frac{\left[\sum_{l=۱}^{۵} dw_{il} \times c^{۸}_{i۳l}\right]}{\sum_{l=۱}^{۵} dw_{il}} = (۱۱/۹, ۱۲/۱, ۱۲/۴, ۱۲/۵)$$

برای حذف مقادیر نامناسب مدیران پروژه مقدار ۶٪ اختلاف را در بیان نظرات مجاز شمرده‌اند. بدین منظور ابتدا بایستی دی‌فازی شده نظرات کارشناسان و دی‌فازی شده مقدار میانگین به دست آمده را محاسبه نمود و درصد اختلاف بین آن‌ها را مطابق جدول ۸، به دست آورد:

جدول ۸. مقادیر دی فازی‌سازی نظرات کارشناسان در مورد هزینه ها و اختلاف آنها با میانگین

		dc^{λ}_{ijl} $\lambda=۱$			$\varepsilon_l^{C^{\lambda}_{ij}}$ $\lambda=۱$		
		$dc^{۱}_{i۱l}$	$dc^{۱}_{i۲l}$	$dc^{۸}_{i۳l}$	$\varepsilon_l^{C^{۱}_{i۱}}$	$\varepsilon_l^{C^{۱}_{i۲}}$	$\varepsilon_l^{C^{۸}_{i۳}}$
	۱	۱۱۹/۱۳	۲۶۱/۸	۱۲/۵۷	۱/۴۳	۸/۴۰	۲/۷۵
	۲	۱۱۸/۴۱	۲۴۹/۱	۱۲/۰۹	۰/۸۲	۳/۱۵	۱/۱۵
L	۳	۱۲۰/۴۴	۲۲۷/۲	۱۲/۰۲	۲/۵۵	۵/۹۲	۱/۶۸
	۴	۱۱۷/۰۷	۲۳۰/۶	۱۲/۷۱	۰/۳۲	۴/۵۲	۳/۹۲
	۵	۱۱۸/۱۰	۲۴۶/۸	۱۲/۲۱	۰/۵۵	۲/۱۷	۰/۱۶
		$dC^{۱}_{i۱} = ۱۱۷/۴۵$	$dC^{۱}_{i۲} = ۲۴۱/۵$	$dC^{۸}_{i۲} = ۱۲/۲۳$			

همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان تفاوت نظر کارشناس اول با میزان میانگین به دست آمده برای برآورد هزینه ناشی از عامل هزینه دوم بیش از حداکثر مقدار در نظر گرفته شده (۶٪) می‌باشد. این اختلاف نشان می‌دهد که مقدار برآورد شده توسط کارشناس اول برای هزینه ناشی از عامل هزینه‌ای دوم بیشتر از میانگین به دست آمده از مجموع نظرات دیگر افراد است. در مرحله بعد از این شخص خواسته می‌شود تا با توجه به اختلاف موجود نظر خود را تعدیل نماید. در این مرحله این شخص مقدار $c^{۲}_{i۲l} = (۲۴۰/۱, ۲۵۰/۸, ۲۵۶/۷, ۲۶۱/۱)$ را ارایه می‌نماید. پس از دریافت برآورد جدید محاسبات مربوط به عامل هزینه دوم را تکرار می‌کنیم:

$$C^{۲}_{i۲} = \frac{\left[\sum_{l=۱}^{۵} dw_{il} \times c^{۲}_{i۲l}\right]}{\sum_{l=۱}^{۵} dw_{il}} = (۲۲۳/۴, ۲۳۶/۱, ۲۴۴/۵, ۲۵۱/۲)$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

جدول ۹. نتیجه محاسبات در مرحله دوم برای پارامتر هزینه‌ای دوم

		dc^{1}_{i2l}	$\varepsilon_l^{C_{i2}^{1}}$	$\varepsilon_l^{C_{i2}^{2}}$
	۱	۲۵۲/۷	۸/۴۰	۵/۶۰
	۲	۲۴۹/۱	۳/۱۵	۴/۱۰
l	۳	۲۲۷/۲	۵/۹۲	۵/۰۵
	۴	۲۳۰/۶	۴/۵۲	۳/۶۴
	۵	۲۴۶/۸	۲/۱۷	۳/۱۱
		$dC^{2}_{i2} = ۲۳۹/۳$		

با انجام محاسبات در مرحله دوم کلیه مقادیر در محدوده مورد نظر (حداکثر۶٪) قرار می‌گیرند و می‌توان از آن‌ها برای برآورد هزینه فعالیت استفاده نمود.

$$\Rightarrow C_i = (۳۶۸۲/۱۵, ۵۵۶۰/۱۷, ۶۹۵۰/۲۲, ۸۶۳۲/۳۵)$$

٦ نتیجه‌گیری

در این مقاله با توجه به ماهیت پروژه‌ها و همچنین مرور ادبیات صورت گرفته، دسته‌بندی چهارگانه‌ای برای تعریف فعالیت‌ها در پروژه در نظر گرفته شده است. در ادامه برای تخمین زمان و هزینه هر دسته از فعالیت‌ها، با استفاده از رویه‌های ابتکاری و ادغامی شرح و بسط داده شده در بخش ۴، برای هر حالت و نوعی از داده‌های در دسترس الگوریتمی منظم تعریف شده است. این کار به ساختارمند شدن برآوردها و در نظر گرفتن نکاتی چون اهمیت داده‌های مختلف و کارشناسان مختلف و تعداد داده‌ها کمک می‌نماید. با توجه به اینکه هدف اصلی این مقاله ارایه رویکردهای نوین در برآورد مدت زمان و هزینه انجام فعالیت‌ها به صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای می‌باشد. لذا توجه ویژه‌ای به استفاده از روش‌های آماری و ترکیب آنها با مجموعه‌های فازی شده است. همچنین در مواردی که داده‌های زمانی و هزینه‌ای موجود از گذشته به حد کافی نباشد، به سیستماتیک نمودن نظرات خبرگان بر اساس روش دلفی فازی و نحوهٔ اختلاف وزنی بین خبرگان بر اساس تکنیک‌های آنالیز تصمیم‌گیری پرداخته شده است. در نتیجه با ادغام تکنیک‌های ذکر شده و ارایه رویه‌های نظام‌مند شده، توانستیم موضوع عدم قطعیت در زمان و هزینه فعالیت‌ها و کمبود داده‌های مربوط به آن‌ها را به نوعی حل نماییم و خطاهای موجود در برآورد مدت زمان و هزینه انجام اینگونه از فعالیت‌ها را کاهش دهیم.

در ادامه یکی از مسایل واقعی یک مرکز تحقیقاتی را انتخاب کرده، و با رویه های بیان شده در بخش ۴ حل نمودیم. سپس مقادیر واقعی انجام فعالیت را با مقادیر برآوردی برای زمان و هزینه همان فعالیت مورد بررسی قرار دادیم، که ملاحظه شد مقادیر واقعی در کران میانی جواب‌های برآوردی واقع شده‌اند. همچنین مقادیر دی‌فازی شدهٔ جواب‌های برآوردی را با جواب‌های واقعی و مقادیر محاسبه شده با روش‌های شفلی و ژانگ مورد مقایسه قرار دادیم، که ملاحظه شد خطاها در زمان برآوردی بر اساس الگوریتم‌های ارائه شده در این مقاله تا حدودی

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

بهتر و در هزینه برآوردی (بر اساس الگوریتم‌های ارائه شده در این مقاله) به میزان قابل ملاحظه‌ای کمتر شده است.

منابع

[۳۰] صفایی قادیکلائی، ع.، آقاجانی، ح.، درگاهی، ه.، (۱۳۹۱). ارایه رویکردی ترکیبی از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به‌منظور اولویت‌بندی استراتژی‌های دستیابی به تولید در کلاس جهانی (مطالعه موردی: صنایع فولاد استان مازندران). مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۳۳، ۹۹-۸۱.

[1] Ivanov, D., Sokolov, B., (2010). Adaptive Supply Chain Management. Springer London Dordrecht Heidelberg New York.
[2] You, C., (2009). On the convergence of uncertain sequences. Journal of Mathematical and Computer Modeling, 49, 482-487.
[3] Liu, B., (2009). Some Research Problems in Uncertainty Theory. Journal of Uncertain Systems, 3(1), 3-10.
[4] Karimi, Gavareshki, M., H., (2004). New Fuzzy GERT Method for Research Projects Scheduling. IEEE International Engineering Management Conference, Singapore, 820-824.
[5] Zadeh, L. A., (1965). Fuzzy Sets. Journal of Information and Control, 8, 338-356.
[6] Prade, H., (1979). Using fuzzy set theory in a scheduling problem: a case study. Journal of Fuzzy Sets and Systems, 2, 153-165.
[7] Chanas, S., Kamburowski, J., (1981). The Use of Fuzzy Variable in PERT. Journal of Fuzzy Sets and Systems, 5(1), 11-19.
[8] Gazdik, I., (1983). Fuzzy-network planning-FNET. IEEE Transactions Reliability, 32(2), 304-313.
[9] Nasution, S. H., (1994). Fuzzy Critical Path Method. IEEE Transactions on Systems Man and Cybrntics, 41(1), 48-57.
[10] Lorterapong, p., Moselhi, O., (1996). Project-network Analysis using Fuzzy Sets Theory. Journal of Construction Engineering and Management, 122(4), 308-318.
[11] Mc, Cahon, C. S., (1993). Using Pert as an approximation of fuzzy project-network analysis. IEEE Transactions on Engineering Management, 40(2), 146-153.
[12] Buckley, J. J., (1989). Further results for the linear fuzzy controller. kyberneies, 18, 48-55.
[13] Wang, J. R., (1999). A fuzzy set approach to activity scheduling for product development. Journal of the operational research society, 50, 1217-1228.
[14] Wang, J. R., (2002). A Fuzzy Project scheduling Approach to minimize schedule risk for Product Development. Journal of Fuzzy sets and Systems, 127(2), 99-116.
[15] Chang, S., Tsujimura, Y., Tazawa, T., (1995). An Efficient Approach for Large Scale Project Network Planning Based on Fuzzy Delphi Method. Journal of Fuzzy Sets and Systems,76, 277-288.
[16] Shipley, M. F., Korvin, A. D., Omer, K., (1996). A Fuzzy Logic Approach for Determining Expected Values. Journal of the Operational Research Society, 47, 562-569.
[17] Zhang, H., Tam, C. M., Li, H., (2005). Modeling uncertain activity duration by fuzzy number and discrete-event simulation. European Journal of Operational Research, 164(2), 715-729.
[18] Liu, Y., (2006). Convergent results about the use of fuzzy simulation in fuzzy optimization problems. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 14(2), 295-304.
[19] Chen, S. P., Hsueh, Y. J., (2008). A simple approach to fuzzy critical path analysis in project networks. Journal of Applied Mathematical Modeling, 32, 1289-1297.
[20] Amiri, M., Golozari, F., (2011). Application of fuzzy multi-attribute decision making in determining the critical path by using time, cost, risk, and quality criteria. Journal of Advanced Manufacturing Technology, 54, 393-401.
[21] Li, Z., Dai, X., (2013). Optimization of Insuring Critical Path Problem with Uncertain Activity Duration Times. Journal of Uncertain Systems, 7(1), 72-80.
[22] Army Corps of Engineers, (1997). Engineering Instructions, Construction cost Estimates. Washington D.C.2033, 14-100.
[23] U.S. Department of Energy, (2001). Estimating Methods. cha.15, DOE G430.
[24] Curan, R., Raghunathan, S., Price, M., (2004). Review of aerospace engineering cost modeling: The genetic causal approach. Progress in Aerospace Sciences, 40, 487–534.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]

[25] Department Of Defense (DOD), (1999). Parametric estimating handbook. 2nd ed. DOD. http://www.ispa-cost.org/ PEIWeb/cover.htm .
[26] Wierda, L. S., (1991). Linking design, process planning and cost information by feature-based modeling. Journal of Engineering Design, 2(1), 3–19.
[27] Sorensen, K., Janssens, G., (2003). Data mining with genetic algorithms on binary trees. European Journal of Operation Research, 151, 253–264.
[28] Bode, J., (1998). Neural networks for cost estimation. Journal of Cost Engineering, 40(1), 25–30.
[29] Koonce, D., Judd, R., Sormaz, D., Masel, D. T., (2003). A hierarchical cost estimation tool. Journal of Computers in Industry, 50, 293-302.
[31] Lyman, O., R., (2010). An Introduction to Statistical Methods and Data Analysis. Sixth Edition, A&M University, Texas.
[32] Soheily, S. N., Kaveh, K. D., (2010). Application of a fuzzy TOPSIS method base on modified preference ratio and fuzzy distance measurement in assessment of traffic police centers performance. Journal of Applied Soft Computing, 10(4), 1028–1039.
[33] Zheng, G., Zhu, N., Tian, Z., Chen, Y., Sun, B., (2012). Application of a trapezoidal fuzzy AHP method for work safety evaluation and early warning rating of hot and humid environments. Journal of Safety Science, 50, 228–239.
[34] Lin, H. F., Lee, G. G., (2006). A study of service quality evaluation model for virtual knowledge communities. E-Commerce Study, 4(2), 211–234.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-27]