توسعه مدل ریاضی موازنه‌زمان–هزینه–کیفیت در شبکه‌هایCPM با تعیین اقتصادی‌ترین ترکیب کاهش زمان فعالیت‌ها برای تکمیل پروژه در یک تاریخ مشخص و تحلیل نتایج مدل بر اساس الگوی کسب و کار استروالدر

احسانه نظری[۱]
نصرت‌الله شادنوش[۲]
طهمورث سهرابی[۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۹۸/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش مقاله : ۹۸/۰۶/۲۷

چکیده

یکی از مهمترین موضوعات پیش‌روی پیمانکاران پروژه‌های مختلف، کاهش مدت زمان اجرای فعالیت‌های پروژه در کنار کنترل هزینه‌های آن است. علی‌الخصوص پروژه‌هایی که کارفرما برای اتمام آن یک ضرب الاجل (تاریخ مشخص) تعیین نموده است. گاها این امر موجب می‌گردد در صورت عدم تکمیل پروژه در تاریخ معین ، مجریان و پیمانکاران با جریمه‌های سنگین مواجه شوند. می‌دانیم که کاهش مدت زمان اجرای فعالیت‌ها با تخصیص منابع بیشتر به هر فعالیت امکان پذیر است اما این امر نیازمند صرف هزینه‌های بالاتر برای اجرای آن فعالیت‌هاست. از طرف دیگر، تعجیل در انجام فعالیت‌ها می‌تواند منجر به کاهش سطح کیفی آن‌ها گردد. بنابراین، می‌بایست در فرآیند فشرده‌سازی زمان فعالیت‌ها در کنار شاخص هزینه، شاخص کیفیت فعالیت‌ها را نیز لحاظ نمود. در این مقاله، یک مدل ریاضی مبتنی بر روش مسیر بحرانی ارائه شده است که هدف اصلی آن حداقل‌سازی مجموع هزینه‌های پروژه (مدل کلاسیک) و حداکثرسازی کیفیت فعالیت‌های پروژه به صورت توامان است به نحوی که الزام تکمیل پروژه در تاریخ معین را نیز برآورده سازد. نتیجه حل مدل ارائه شده موجب کاهش زمان اتمام پروژه با کمترین هزینه و بیشترین کیفیت اجرای فعالیت‌ها خواهد شد. همچنین، تاثیر پیروی از مدل ریاضی پیشنهادی برای بهینه‌سازی هزینه و کیفیت پروژه‌ها بر بهبود بهره‌وری مدل‌های کسب و کار در این مقاله ارائه شده است.

کلمات کلیدی

مسیربحرانی، شبکهCPM، فشرده‌سازی، ضرب‌الاجل، کیفیت، موازنه زمان-هزینه، مدل کسب و کار

۱- گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.nazari.ehsaneh@gmail.com
۲- گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.(نویسنده مسئول)Dr.shadnoush@gmail.com
۳- گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.ie.slen.1394@gmail.com

مقدمه

در محاسبات مربوط به مسیر بحرانی (CPM[1]) فرض بر این است که همگی فعالیت‌ها در زمان پیش‌بینی شده و معمولی خود قابل انجام هستند. حال در مواردی لازم می شود پروژه حتی زودتر از زمان برنامه‌ریزی شده به‌اتمام برسد. این تاریخ معمولاً از طرف کارفرما یا مدیریت رده بالا بر اساس اهداف یا سیاست‌های مختلف تعیین می‌شود. طبیعی است که برای دستیابی به‌زمان تکمیل زودتر باید زمان تعدادی از فعالیت ها را کاهش داد. این کاهش زمان توأم با افزایش منابع کاری آن فعالیت ها و صرف هزینه است آنرا انجام ضربتی یا فشرده سازی زمان فعالیت گویند. از آنجایی که تاریخ تکمیل پروژه در هر مرحله، حاصل از مجموع زمانهای فعالیت‌هایی است که در مسیر یا مسیرهای بحرانی واقع شده‌اند، هدف تبادل هزینه و زمان برای دستیابی به زمان تکمیل زودتر پروژه، انتخاب مجموعه ای از فعالیت‌ها برای فشرده‌سازی است به‌طوری‌که هزینه کل انجام فعالیت‌ها کمینه شود. (سبزه‌پرور، ۱۳۸۹)

در شرایطی ممکن است تعیین زمان مناسب برای تکمیل پروژه به عهده برنامه‌ریز گذاشته شده باشد. به این معنی که با صرف هزینه‌ای مناسب برای اجرای پروژه موافقت شده، ولی تعیین این میزان هزینه و در نتیجه تاریخ مشخصی برای تکمیل که به ازای آن، این هزینه صرف خواهد گردید به عهده برنامه‌ریز می‌باشد. در این شرایط عاملی که باید به حداقل برسد، جمع هزینه‌های پروژه است. در صورتی که پروژه را در زمانی طولانی انجام دهند، هزینه‌های مربوط به سرمایه دربند، جریمه تأخیر و بسیاری هزینه‌های غیر مستقیم دیگر، افزایش خواهند یافت. در مقابل، در صورتی که زمان پروژه بیش از اندازه کوتاه شود، هزینه‌های مستقیم مربوط به کاهش زمان فعالیت‌ها زیاد خواهند بود. در بین این دو مقدار (زمان‌های بسیار کوتاه و بسیار بلند)، زمانی بهینه برای انجام پروژه وجود خواهد داشت که به ازای آن جمع هزینه‌ها در حداقل ممکن خواهد بود.

در این مقاله، هدف تعیین زمان اقتصادی برای اجرای پروژه است که به ازای آن جمع هزینه‌های مستقیم و غیر مستقیم در حداقل ممکن باشد.

همچنین با توجه به اینکه مدل های مشابه طراحی شده با هدف کاهش هزینه‌ها و افزایش کیفیت که در پیشینه تحقیق به تفصیل به آن ها پرداخته شده، فاقد چارچوب‌بندی متناسب با فرآیندهای کسب و کار هستند، در این مقاله، پس از بیان مدل و ارائه راه حل دستیابی به پاسخ بهینه آن، مولفه‌هایی از مدل کسب و کار استروالدر که در خصوص مدل بدست آمده اهمیت بیشتری دارند مورد تفسیر و تشریح قرار گرفته است.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مبانی نظری

تعاریف عملیاتی

در روش مسیر بحرانی(CPM) ، در هر شبکه حداقل یک راه وجود دارد که شامل طولانی ترین زمان می باشد این راه را مسیر بحرانی گویند که از رویداد آغازین تا پایانه همواره از رویدادهای بحرانی عبور می نماید و مقدار شناوری آن همواره برابر صفر است. از طرفی، می توان بنا بر برخی ملاحظات، زمان انجام فعالیت ها را فشرده کرد. با کاهش زمان تکمیل پروژه، صرفه جویی هایی برای پیمانکاران و صاحب کار عاید می شود، سرمایه های دربند پروژه زودتر به‌کار می افتد و سوددهی تسریع می‌گردد.

مجموع هزینه های یک پروژه که عبارتند از هزینه‌های مستقیم و هزینه‌های غیرمستقیم.

هزینه‌های مستقیم که صرف اجرای فعالیت ها می شوند و هزینه‌های غیر مستقیم که در اجرای پروژه صرف می شوند به علاوه هزینه فشرده سازی فعالیت‌ها می باشد.

زمان اجرای فعالیت‌ها : عبارتست از مدت زمان تخمینی که انجام یک فعالیت به طول می‌انجامد. حداکثر و حداقل این زمانها به نوع فعالیت و شرایط طبیعی حاکم بر آن بستگی دارد و همواره از مقادیر طبیعی کمتر یا بیشتر نمی‌تواند باشد. این زمانها می‌توانند ماهیت قطعی داشته باشند و یا دارای طبیعت غیرقطعی باشند.

زمان معمولی: کوتاه‌ترین زمانی است که می‌توان فعالیت را با حداقل هزینه‌های مستقیم اجرا نمود.

زمان فشرده: کمترین زمان لازم است که ضمن آن اجرای فعالیت‌ها در شرایط اجرای پروژه امکان‌پذیر باشد.

مسیر بحرانی: معمولا" طولانی‌ترین مسیر در پروژه است. ترتیبی از فعالیت‌های زمان‌بندی است که مدت زمان پروژه را تعیین می‌کند(حاج شیرمحمدی، ۱۳۸۶)

سی‌پی‌ام(CPM) : یکی از مدل‌های شبکه‌ای برای زمان‌بندی پروژه می‌باشد که در آن زمان فعالیت‌ها به‌صورت قطعی و معین است.

روش مسیر بحرانی: این روش، زودترین تاریخ های تئوریک شروع و پایان و دیرترین تاریخ‌های شروع و پایان را برای تمامی فعالیت‌ها، صرفنظر از هرگونه محدودیت منابع، از طریق تحلیل حرکت رفت و برگشت در مسیرهای شبکه زمان‌بندی پروژه، محاسبه می‌کند. (حاج شیرمحمدی، ۱۳۸۶)

تراکم (فشرده سازی): نوع خاصی از تکنیک فشرده سازی برنامه زمان بندی پروژه با انجام اقداماتی جهت کاهش طول مدت زمان کلی یک پروژه، پس از تجزیه و تحلیل تعدادی از گزینه‌هاست تا به تعیین راه حل ممکن برای حصول به حداکثر میزان فشرده سازی زمان با حداقل هزینه منجر شود

برای فشرده سازی (مختصر نمودن) شبکه، گروه فعالیت های سری (زنجیره ای) را که در مسیر آنها، از طریق سایر فعالیت‌های شبکه وابستگی ایجاد نمی‌شود در یکدیگر تلفیق و به صورت فعالیت واحدی نشان می‌دهند. (سبزه پرور، ۱۳۸۹)

فشرده‌سازی زمان پروژه در اصل با تکنیک CPM برای برنامه ریزی و کنترل پروژه‌های بزرگ توسعه یافته است. هدف از فشرده سازی زمان در شبکه‌های CPM این است که مشخص شود اگر لازم باشد با تخصیص بودجه اضافی زمان کل پروژه کاهش یابد، زمان کدام یک از فعالیت‌ها را باید با استفاده از منابع اضافی فشرده کرد. فشرده سازی در شبکه‌های CPM به این منظور است که فعالیت یا فعالیت‌هایی با کمترین میزان هزینه برای کاهش زمان پروژه انتخاب گردند. این فرآیند تا زمانی که پروژه به میزان کافی فشرده شده و یا اینکه هزینه فشرده‌سازی و کاهش زمان پروژه از مزایایی به دست آمده از آن پیش گیرد، تکرار می‌شود.

هزینه‌های پروژه : هزینه‌های یک پروژه به هزینه‌های مستقیم که صرف اجرای فعالیت‌ها می‌شوند مثل تامین منابع، مواد و مصالح، نیروی انسانی و... و هزینه‌های غیرمستقیم که در اجرای پروژه صرف می‌شوند مثل کرایه محل، امور منشی‌گری و مخابرات و... قابل تقسیم هستند. از هزینه‌های غیرمستقیم در اینجا به عنوان هزینه های بالاسری۲ تعبیر می‌شود.

در یک تقسیم بندی دیگر از انواع هزینه‌های پروژه داریم :

هزینه های معمولی: جمع هزینه‌های مستقیم یک فعالیت، در شرایطی که فعالیت در مدت زمان معمولی خود اجرا می شود.

هزینه های فشرده: جمع هزینه‌های مستقیم یک فعالیت است در شرایطی که فعالیت به صورت تعجیلی در زمان فشرده خود اجرا می‌شود.

روند تغییرات هزینه در مقابل زمان : هر چه کارکنان یک پروژه حقوق بیشتری دریافت کنند در زمان کوتاهتری کار انجام می‌گیرد و دقت و راندمان کار (پروژه) افزایش می‌یابد. همچنین اگر با صرف منابع بیشتر، زمان انجام فعالیت‌ها را کاهش دهیم، بالا رفتن هزینه را به‌دنبال خواهد داشت. (سبزه پرور، ۱۳۸۹)

کیفیت پروژه :کیفیت پروژه عبارتست از مقداری که مشخصات موجود پروژه نیازهای آن را برآورده می‌کنند. اهمیت و جایگاه کیفیت‌گرایی که اکنون به بینش غالب در سازمان‌ها و جوامع بدل شده است، مدیریت کیفیت را به عنوان ضرورتی برای ضمانت بقای سازمان‌ها در شرایط شدید رقابتی، مطرح ساخته و سازمان استاندارد جهانی را بر آن داشته تا در آخرین بازنگری استانداردهای کیفیت (سری ۹۰۰۰، سال ۲۰۰۰)، با معرفی هشت اصل مدیریت کیفیت، الگوی اجرایی برای اعمال این اصول ارائه و الزامات سیستم مدیریت کیفیت را در استاندارد ایزو ۲۰۰۰: ۹۰۰۱ بیان کند.

امروزه استفاده از شیوه‌های نوین مدیریت برای واحدهای اقتصادی و سازمان‌ها به یک ضرورت تبدیل شده و مدیریت کیفیت به عنوان مهم‌ترین و فراگیرترین این شیوه‌ها، توانسته است با ارائه روش‌ها و الگوهای مناسب، این‌گونه دستگاه‌ها را در ارائه محصولات و خدمات با کیفیت بهتر و هزینه کمتر یاری کرده و در نتیجه ضرورت به‌کارگیری آن‌ها هر چه بیشتر نمود یافته است. (نظری و همکاران، ۱۳۹۴)

موازنه زمان-هزینه- کیفیت

ظهور قراردادهای جدید که افزایش کیفیت عملیات اجرایی پروژه‌ها را همزمان با کاهش زمان و هزینه آنها در نظر می‌گیرند، نیازمند توسعه مدل هایی است که علاوه بر زمان و هزینه، عامل کیفیت را در ارزیابی و بهینه سازی روشهای اجرایی پروژه منظور دارند. کاهش زمان و هزینه اجرا و همچنین افزایش کیفیت آن اهداف متفاوتی بوده که غالباً با یکدیگر همسو نمی‌باشند. از این رو این قبیل مسائل به مسائل موازنه زمان – هزینه- کیفیت موسوم شده‌اند.

منظور نمودن عامل کیفیت تا علاوه بر عوامل زمان هزینه در بهینه سازی فعالیت های اجرایی یک پروژه، با وجود مشکلاتی که در جهت ساختن آن برای فعالیت های پروژه وجود دارد. از دیگر عوامل تأثیرگذار در انتخاب روش های اجرایی بوده و مدیران گاه راه حل هایی را جستجو می کنند که در عین کاهش زمان و هزینه پروژه افزایش کیفیت اجرای آن را در پی داشته باشد.

مدل کسب و کار

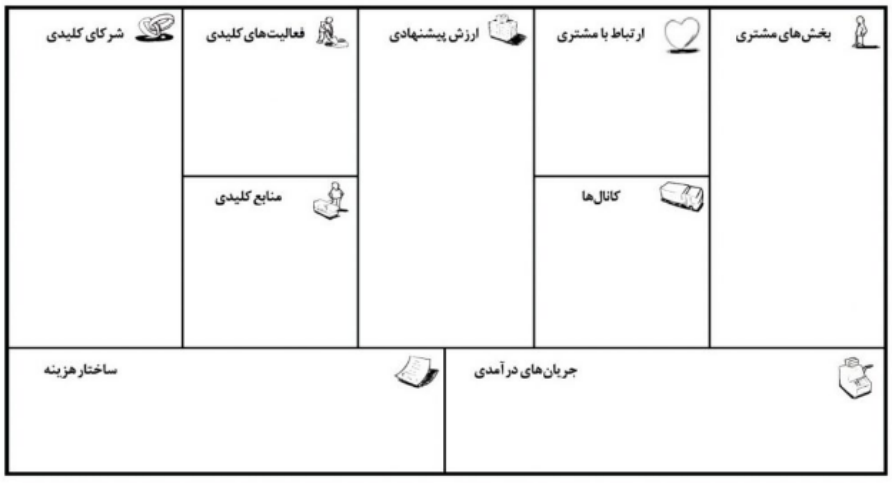
در سال های اخیر اصطلاحاتی تحت عناوین طرح کسب و کار یا بیزینس پلن۳ و مدل کسب و کار یا بیزینس مدل۴ در میان سازمان‌ها بسیار رایج شده است. البته طرح کسب و کار قدمت بیشتری دارد ولی مدل کسب و کار چند سالی است که به حوزه تجارت وارد شده و توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است. بیزینس پلن ها بخش اساسی استراتژی و راهبرد شرکت‌ها و سازمان‌ها هستند. آن‌ها

پیوندی اساسی میان بازار محصولات در صنعت، و بازار برای عوامل تولید مانند نیروی کار و سرمایه فراهم می‌کنند. در یک تعریف کلی از استوارت و زائو می‌توان مدل کسب و کار را این گونه تعریف کرد: نحوه کسب درآمد و حفظ جریان سود دهی در طول زمان.

این مدل، الگوهای اولیه برای یک بیزینس جهت رقابت در بازار را فراهم می کند، در واقع آن الگوها درباره چگونگی دستیابی شرکت به پول، و چگونگی کار با بازیکنان داخلی (منابع انسانی شرکت) و بازیکنان خارجی (ذینفعان از جمله مشتریان، تامین کنندگان و سرمایه گذاران) را فراهم می‌کند. یک مدل کسب و کار ممکن است مبتنی بر جنبه های مختلف یک شرکت باشد؛ مانند چگونگی ساخت، توزیع و قیمت .

بوم مدل کسب و کار استروالدر ابزاری جذاب است که در سال های اخیر مورد توجه اصناف مختلف قرار گرفته است. بر اساس پیشنهاد شخص استروالدر در کتاب خلق مدل کسب و کار، گروه‌های مختلفی می‌توانند از این ابزار استفاده کنند. کارآفرینانی که به دنبال ایجاد کسب و کار خود هستند، صاحبان کسب‌وکاری که به دنبال بازنگری و نوآوری در مدل کسب وکار خود هستند، دانشجویان و پژوهشگران که با این ابزار به تحلیل کسب‌وکارها می‌پردازند و مشاوران کسب‌وکار که با این ابزار می‌توانند انسجامی در فهم و تحلیل و حل مسائل کسب‌وکار داشته باشند.

مدل کسب و کار استروالدر، از ۹ مؤلفه اصلی تشکیل شده که در شکل شماره ۱ مشخص است. (استروالدر، ۱۳۹۸)



شکل ۱ – بوم مدل کسب و کار استروالدر

مولفه‌های این مدل به‌طور خلاصه عبارتند از :

۱- بخش‌های مشتری که معرفی کننده گروه‌های مختلفی از افراد یا سازمان‌هایی است که شرکت قصد دستیابی و ارائه خدمت به آنان را دارد.

۲- ارزش های پیشنهادی که در حقیقت بسته ای از محصولات و خدمات را توصیف می‌کند که برای یک بخش مشتری خاص ارزش خلق می‌کند.

۳- مؤلفه کانال ها که بیان کننده آن است که شرکت به منظور ارائه ارزش پیشنهادی مورد نظر به بخش های مشتریان مورد هدف خود، چگونه با آن‌ها ارتباط برقرار می‌کند و به آن‌ها دسترسی دارد.

۴- مؤلفه ارتباط با مشتری که بیانگر انواع روابطی است که شرکت با بخش های خاصی از مشتریان برقرار می کند. شرکت باید نوع رابطه خود با هر بخش از مشتریان را برای خود شفاف سازد. گستره این روابط، ارتباطات حضوری تا خدمات پشتیبانی خودکار را در بر می گیرد.

۵- مؤلفه جریان های درآمدی، نشان دهنده درآمدی است که شرکت از هر بخش از مشتریان کسب می کند.

۶- مؤلفه منابع کلیدی که مهمترین دارایی های مورد نیاز برای عملکرد صحیح مدل کسب و کار را تشریح می‌کند. هر مدل کسب‌و کار به منابع کلیدی نیاز دارد و آن‌ها، توان خلق و ارائه ارزش پیشنهادی را به شرکت می‌دهد. منابع کلیدی فیزیکی، مالی، معنوی یا انسانی هستند و ممکن است تحت تملک شرکت باشند یا توسط شرکت اجاره شوند یا به وسیله شرکای کلیدی تأمین شوند.

۷- مؤلفه فعالیت های کلیدی که در حقیقت مهم ترین کارهای مورد نیاز برای عملکرد صحیح مدل کسب و کار را تشریح میکند. هر مدل کسب و کار نیاز به تعدادی فعالیت کلیدی دارد که هریک، از مهمترین اقداماتی هستند که یک شرکت باید برای دستیابی به عملکرد موفق انجام دهد. فعالیت‌های اصلی یک مدل کسب و کار مانند تولید و حل مسأله، از جمله این فعالیت‌ها هستند.

۸- مؤلفه مشارکت های کلیدی، شبکه ای از تأمین کنندگان و شرکا را توصیف می کند که باعث عملکرد صحیح مدل کسب و کار می شوند.

۹- ساختار هزینه که تمام هزینه هایی را تشریح می‌کند که اجزای مدل کسب و کار با خود به بار می‌آورند. بدیهی است که در هر مدل کسب و کاری، هزینه‌ها باید تا جایی که امکان دارد، کاهش یابند.

ساختارهای هزینه میتواند دارای این خصوصیات باشند:

هزینه‌های ثابت، هزینه‌های متغیر، صرفه اقتصادی ناشی از مقیاس، صرفه‌اقتصادی ناشی از محدوده

پیشینه پژوهش

در چند دهه اخیر روش های مختلفی جهت بهینه‌سازی توام زمان، هزینه و کیفیت ساخت در پروژه‌های عمرانی ارائه شده است. با توجه به اینکه در نظر گرفتن کیفیت به عنوان معیار بهینه‌سازی در انتخاب روش های اجرایی پروژه اخیراً مورد توجه جدی قرار گرفته است، بیشتر مقالات این موضوع به بهینه سازی توام زمان و هزینه اجرا، اختصاص یافته اند. مقالات تحریر شده و تحقیقات انجام گرفته در زمینه مسائل موازنه زمان-هزینه را می توان به صورت ذیل دسته بندی نمود :

مدل های مربوط به زمان های قطعی و مشخص

در این تحقیقات، عمدتا" از روشهای تحقیق در عملیات برای مدلسازی استفاده شده مانند پژوهش کلی[۵] در سال ۱۹۶۱، که البته این محقق به همراه واکر[۶] در سال ۱۹۵۹ نیز تحقیقی انجام داده که در آن با لحاظ کردن یک رابطه خطی میان زمان و هزینه، به ارائه یک مدل ریاضی و یک الگوریتم هیوریستیک برای حل آن پرداخته است.

در سال ۱۹۶۱ نیز فالکرسون[۷] طی تحقیقی، یک روش برای یافتن منحنی موازنه زمان-هزینه ارائه نمود که اساس آن یافتن زمان و هزینه بهینه با هدف مینیمم سازی هزینه کل بوده است. همچنین افرادی نظیر میر[۸] و شافر[۹] در سال ۱۹۹۵ و تالبوت[۱۰] در ۱۹۸۲ بعضا" از تکنیک های هیوریستیک برای حل این دسته از مسائل استفاده نموده اند و محققینی نظیر زیمنس در سال ۱۹۷۱ و مصلحی در۱۹۹۳ برای این مسئله، مدلهای ریاضی ارائه داده اند. (هاشم زاده زرگر و همکاران، ۱۳۹۵) همچنین در مقالات چائو[۱۱] و همکارانش که در سال ۱۹۹۷ انجام شده و در پژوهش فنگ[۱۲] و برنز[۱۳] در سال ۱۹۹۷ از تکنیک‌های متاهیوریستیکی نظیر الگوریتم ژنتیک (GA) و تبرید شبیه سازی شده (SA[۱۴]) استفاده شده است. (نظری و همکاران، ۱۳۹۴)

مدل های مربوط به زمان های غیر قطعی

این دسته از تحقیقات، خود به دو بخش عمده تقسیم می گردند : زمانهای فازی و احتمالی

افرادی نظیر آنگ[۱۵] در ۱۹۷۵ و یانگ در ۲۰۰۵، زمان های احتمالی را برای این مسائل در نظر گرفته اند ولی قالب تحقیقات در خصوص مباحث فازی انجام گرفته اند. وانگ[۱۶] و همکاران در سال ۱۹۹۳ با لحاظ کردن اطلاعات فازی و هاپک[۱۷] و اسلونسکی[۱۸] در ۱۹۹۶ با در نظر گرفتن پارامترهای فازی به بررسی این مسائل پرداخته اند. در پژوهشی دیگر، لئو و همکارانش[۱۹] در سال۱۹۹۹ نیز از مدل بهینه‌سازی فازی برای فرموله کردن فعالیت ها با زمان غیرقطعی پرداخته اند. در سال ۲۰۰۱، آریکان[۲۰]

و گونگور[۲۱] یک مدل برنامه ریزی آرمانی فازی ارائه کرده و در سال ۲۰۰۵، چائو گوانگ و همکاران[۲۲]، طی تحقیق خود، رویکرد جدیدی بر اساس الگوریتم ژنتیک معرفی نموده اند. غضنفری و همکارانش در ۲۰۰۸، یک مدل احتمالی جدید برای بهینه سازی زمان هر فعالیت بصورت اعداد مثلثی فازی ارائه کرده‌اند و در ادامه تحقیقاتشان، از یک روش هیوریستیک برای حل مسائل زمان‌بندی پروژه‌ها با کمک تصمیم گیری فازی در محیط های فازی استفاده کرده اند.

در نوع دیگری از تقسیم بندی این مسائل، در صورت وجود عوامل غیرقطعی، تحقیقات بیشتر معطوف به مدل های برنامه ریزی خطی فازی بوده است. مانند پژوهش تاناکا[۲۳] و همکارانش در سال ۲۰۰۰ و تحقیق بوکلی[۲۴] و همکاران در سال ۲۰۰۱، که به ارائه یک رویکرد جدید برای حل مسئله برنامه ریزی چند هدفه با پارامترها و متغیرهایی به شکل اعداد فازی مثلثی پرداخته و پژوهش دیگری از غضنفری و همکاران[۲۵] که در سال ۲۰۰۷ انجام شده و یک رویکرد جدید برای دستیابی به توزیع احتمالی متغیرهای تصمیم فازی برای مسائل برنامه ریزی خطی احتمالی ارائه کرده اند. (جعفر نژاد و همکاران، ۱۳۸۱)

برای مواردی که زمان فعالیت ها غیر قطعی باشد، مانند مقالات چارنز و کوپر (۱۹۶۲)؛ ولمر(۱۹۸۵)؛ گولنکو و گونیک[۲۶] (۱۹۹۷) و گوتجوهر[۲۷] (۲۰۰۰) از مدل‌های استوکستیک استفاده شده شده است. یانگ در یکی از مقالات خود یک مدل برنامه ریزی محدودیت‌های تصادفی (CCP) را برای تحلیل مسائل موازنه زمان هزینه ارائه کرده است. همچنین در مقاله ی کی و همکاران[۲۸] در سال ۲۰۰۹ دو مدل استوکستیک که بر اساس دو معیار تصمیم گیری (CCP و DCP) طراحی شده اند توسط یک الگوریتم ژنتیک حل شده اند. (ابراهیم نژاد و جوانشیر، ۱۳۹۲)

در سال ۲۰۰۷ آذرون و توکلی مقدم، یک مدل چند هدفه را برای مسئله تبادل بین هزینه و زمان در یک شبکه پرت[۲۹] پویا ارائه نموده اند. همچنین، آذرون و همکارانش طی تحقیقی، یک مدل چند هدفه را برای مسئله تخصیص منابع در شبکه های پرت و در صورتی که زمان انجام فعالیت‌ها دارای توزیع نمایی یا ارلنگ باشد، توسعه داده اند. در سال ۲۰۰۲، خورشیدی و کاکا نیز طی پژوهشی، رابطه میان هزینه و زمان در پروژه ها را غیرخطی اعلام نموده‌اند. (آذرون و توکلی مقدم، ۲۰۰۷)

پیشینه پژوهش در زمینه موازنه زمان – هزینه – کیفیت

بابو و سورش[۳۰] در سال ۱۹۹۶، برای اولین بار بر مبحث کیفیت تاکید داشته و بیان کردند که کیفیت یک پروژه تابعی از کیفیت تک تک فعالیت های آن بوده و اظهار نموده اند که هزینه و کیفیت هر فعالیت، رابطه معکوس با مدت زمان انجام آن فعالیت‌ها دارد. (جوانمردی و اشتهاردیان، ۱۳۸۱)

دکتر طارقیان در سال ۲۰۰۶، سه مدل برنامه ریزی عدد صحیح باینری را برای موازنه زمان-هزینه-کیفیت پیشنهاد داده که در آن هزینه و کیفیت، تابع گسسته غیر صعودی از مدت زمان پروژه هستند. در یک مطالعه موردی، در سال ۱۹۹۹، خانگ۳۱ و میانت۳۲ چارچوب ارائه شده توسط بابو و سورش را برای یک مثال واقعی بکار بردند که در نهایت، نتایج حاصل نشان می‌داد لحاظ کردن اندازه کیفیت فعالیت‌ها به عنوان تابع هدف، برای فرموله کردن برنامه‌ریزی خطی، ذهنی بوده و دارای خطاست. آتکینسون[۳۳]، در مقاله‌ای، با مدنظر قراردادن سه عامل، زمان- هزینه – کیفیت، چارچوب جدیدی با عنوان معیارهای موفقیت در پروژه‌ها ارائه کرده‌است. (نظری و همکاران، ۱۳۹۴)

جمع بندی پیشینه پژوهش

مقالات مطالعه شده در زمینه مسئله موازنه زمان-هزینه و همچنین مقالاتی که مبحث کیفیت را در این مسئله لحاظ نموده‌اند، به همراه شرح مختصری از دستاوردها، نقاط ضعف و قوت این مقالات، بطور خلاصه و به ترتیب سال انتشار در جدول ذیل آمده است.

ردیف	دستاورد ها / نقاط ضعف و قوت
۱	سه مدل برنامه ریزی عدد صحیح داده شده به طوری که هر مدل یکی از خاصیت های زمان، هزینه و کیفیت در مدیریت پروژه را با اختصاص محدودیت هایی به خاصیت های دیگر، بهینه می سازد (طارقیان و طاهری، ۲۰۰۶)
۲	ارائه یک روش جدید برای مسئله موازنه کیفیت و هزینه با زمان‌های گسسته با استفاده از جستجوی پراکندگی الکترومغناطیس؛ ارائه روشی که زمان بندی فعالیت های پروژه را طوری تنظیم می کند که هزینه پروژه حداقل، کیفیت پروژه حداکثر و پروژه به Deadline مورد نظر برسد (طارقیان و طاهری، ۲۰۰۷)
۳	در مسائلی که فعالیت‌ها به طریقه‌های مختلفی قابلیت انجام داشته باشند به‌طوری که در هر کدام از این روش‌های اجرایی، سه مقوله‌ی زمان، هزینه و کیفیت لحاظ شده باشد مطرح شده و از الگوریتم ژنتیک استفاده شده‌است. (افشار و همکاران، ۲۰۰۷)
۴	در مسائل موازنه زمان هزینه، موضوع کیفیت را لحاظ کرده و متدلوژی تحقیق، مدلسازی ریاضی بوده است. (شهسواری پور و همکاران، ۲۰۱۰)
۵	یک مدل کاربردی جدید برای ارائه رابطه واقعی‌تر بین زمان، هزینه و کیفیت با قابلیت به کارگیری مدل در سیستم های پشتیبان تصمیم گیری ارائه نموده است. (مظلوم و گونری[۳۴]، ۲۰۱۵)

۶	ارائه یک الگوریتم متا-هیوریستیک جدید (NHGA) برای حل مسئله زمان- هزینه- کیفیت ؛ کاراتر بودن الگوریتم ارائه شده نسبت به الگوریتم ژنتیک کلاسیک برای حل مسئله زمان- هزینه-کیفیت، دارای دقت و سرعت بالاتر (یتا[۳۵] کنستانتینو[۳۶] و همکاران، ۲۰۱۶)
۷	ارائه الگوریتم مورچگان چند لایه برای بهینه سازی سه هدفه جهت مسئله موازنه زمان- هزینه- کیفیت ؛ توانا بودن مدل در برقراری تعادل بین وجوه مختلف یک پروژه: کمینه ساختن زمان و هزینه در عین افزایش کیفیت (امین بخش و سونمز[۳۷]، ۲۰۱۶)

روش پژوهش

اغلب مسائل موازنه زمان – هزینه، بر این فرض متکی بودند که فعالیت‌های لازم برای اجرای پروژه، مخصوصاً فعالیت‌های واقع بر مسیر بحرانی، علاوه بر امکان تکمیل در زمان معمولی خود، در موارد بسیاری که لازم می‌شود پروژه را زودتر از تاریخ محاسبه شده بر روی شبکه تکمیل نمود، زمان انجام فعالیت‌ها قابل کوتاه نمودن بوده و مسلما"، انجام این فشرده سازی در چنین شرایطی بدلیل افزایش در میزان منابع مورد استفاده و یا بروز تغییراتی در جهت تسریع زمان اجرا، مستلزم صرف هزینه‌های بیشتری بوده که از آن به عنوان هزینه فشرده‌سازی نام برده می شود. علاوه بر این، با فشرده‌سازی زمان فعالیت‌ها، از میزان درجه کیفیت آن‌ها کاسته می شود. بنابراین، لحاظ نمودن عامل کیفیت، علاوه بر هزینه، در فشرده سازی زمان فعالیت‌ها، موضوعی است که در این مقاله به آن پرداخته خواهد شد. در حقیقت، در شرایط فشرده‌سازی فعالیت‌ها، آنچه در مدل‌های کلاسیک لحاظ شده، صرفا" یافتن اقتصادی‌ترین ترکیب کاهش زمان‌های اجرای فعالیت‌ها بوده و مسئله تغییر کیفیت فعالیت‌ها طی عملیات فشرده‌سازی، موضوعی است که در این مقاله، تحت عنوان مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد. لذا در جستجوی یافتن مدلی هستیم تا بر اساس اظهار نظر خبرگان امر، مجموع میزان هزینه های پروژه (شامل هزینه های مستقیم، غیر مستقیم وعملیات فشرده سازی) را همزمان با حفظ درجه کیفیت فعالیت ها در یک حد مطلوب، بهینه نماید، ضمن اینکه پروژه می بایست پیش از پایان مهلت (ضرب الاجل) تعریف شده تکمیل گردد.

در ادامه این مقاله، ابتدا به بیان مدل کلاسیک ارائه شده در مسئله موازنه زمان-هزینه می پردازیم و سپس در ادامه، مدل را با لحاظ نمودن شاخص کیفیت فعالیت ها به عنوان پارامتر جدیدی در مسئله، مورد بازبینی قرار داده و مدل پیشنهادی ارائه می‌گردد.

همچنین در خاتمه با کمک الگوی بیان شده در مدل کسب و کار استروالدر، تاثیربهره‌گیری از مدل ریاضی ساخته‌شده را در بخش‌های مختلف بوم کسب‌وکار مورد بررسی و نتیجه‌گیری قرار می‌دهیم.

سئوالات پژوهش

- اضافه کردن متغیر کیفیت به مدل فشرده‌سازی زمان، چه تاثیری بر جواب بهینه مدل کلاسیک دارد؟

- چه ارتباطی میان هزینه های مستقیم و کیفیت، در مسئله فشرده سازی زمان، وجود دارد؟

-چه ارتباطی میان هزینه های غیر مستقیم و کیفیت، در مسئله فشرده سازی زمان، وجود دارد؟

متغیرهای پژوهش

متغیر مستقل : زمان عملی اجرای هر فعالیت

متغیرهای وابسته : سطح کیفیت اجرای هر فعالیت ؛ هزینه مستقیم اجرای پروژه ؛ هزینه غیر مستقیم اجرای پروژه ؛ هزینه فشرده سازی

داده‌های پژوهش و ابزار گردآوری داده‌ها

داده‌های اولیه مورد استفاده در این مقاله، اطلاعات مربوط به ساختار شکست کار پروژه [۳۸] (WBS) به همراه ساختار هزینه‌های پروژه به تفکیک هر فعالیت [۳۹](CBS) می باشد. این داده ها در خصوص پروژه‌های عمرانی جزو لاینفک اطلاعات پروژه ست که در قالب جداول زمان-هزینه فعالیت‌ها توسط پیمانکاران تهیه و ارائه می‌گردد. همچنین در خصوص کلیه فعالیت های یک پروژه، می بایست جدولی جهت تعیین تقدم و تاخر فعالیت ها و رعایت پیشنیازی انجام هر فعالیت ارائه گردد که این مقوله نیز جزو داده‌های اساسی مساله مدیریت پروژه بوده و به صورت شبکه CPM و گانت چارت، توسط پیمانکار تهیه شده و به تایید کارفرما می‌رسد.

در ادامه، جهت مدلسازی مساله نیازمند گردآوری داده های مربوط به "زمان فشرده" و "کیفیت فعالیت‌ها" در دو حالت عادی و فشرده می باشیم.

ابزار گردآوری اطلاعات فوق، بهره گیری از نظر خبرگان و تکنیک دلفی بوده بدین ترتیب که جدول خام مربوط به ریز اطلاعات فعلیت‌های یک پروژه مطابق جدول شماره ۲ در اختیار ۵نفر از خبرگان امر (کارشناس رسمی دادگستری در حوزه های مربوطه، معرفی شده از جانب پیمانکار و مورد تایید کارفرما) قرار می گیرد، سپس با دریافت مجموع نظر ایشان و بهره گیری از تکنیک دلفی، جدول جمع‌بندی شده نظرات خبرگان، جهت حل مدل ریاضی مورد استفاده قرار می گیرد. یک نمونه فرم تکمیل شده، در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

جدول ۲ – جدول گردآوری نظر خبرگان در خصوص داده های مورد نیاز برای حل مدل

نام فعالیت	فعالیت پیشنیاز	زمان انجام فعالیت در حالت نرمال	زمان انجام فعالیت در حالت فشرده	هزینه انجام فعالیت در حالت نرمال	هزینه انجام فعالیت در حالت فشرده	کیفیت فعالیت در حالت نرمال	کیفیت فعالیت در حالت فشرده

جدول ۳– نمونه‌تکمیل شده جدول گردآوری نظرخبرگان در خصوص‌داده‌های موردنیاز برای حل مدل

نام فعالیت	فعالیت پیشنیاز	زمان انجام فعالیت در حالت نرمال	زمان انجام فعالیت در حالت فشرده	هزینه انجام فعالیت در حالت نرمال	هزینه انجام فعالیت در حالت فشرده	کیفیت فعالیت در حالت نرمال	کیفیت فعالیت در حالت فشرده
D	A,B	۸	۷	۸۰		۱۰۰	۹۵

مدل کلاسیک مسئله موازنه زمان – هزینه (روش برنامه ریزی ریاضی)

متغیرهای مربوطه جهت معرفی مدل کلاسیک برنامه‌ریزی ریاضی موازنه زمان–هزینه عبارتند از:

$D_n(i-j)$ = زمان معمولی فعالیت i_j

$D_f(i-j)$ = زمان فشرده فعالیت i_j

K_n = جمع هزینه‌های مستقیم‌پروژه‌درشرایطی‌که همگی فعالیت‌هادرزمان معمولی‌خود اجرا شوند.

C_{i-j} = ضریب هزینه فعالیت i_j

d_{i-j} = زمان عملی (برنامه ریزی شده) برای اجرای فعالیت i_j

n = تعداد رویدادهای شبکه پروژه، به نحوی که رویداد آغازین با شماره ۱ شروع شده و رویداد پایانه دارای شماره n باشد.

t_i = تاریخ عملی (برنامه ریزی شده) برای وقوع رویداد

ارائه مدل کلاسیک تعیین بهترین ترکیب کاهش برای تکمیل پروژه در تاریخ مشخص

همان گونه که ذکر شد، برای بسیاری از پروژه ها، به دلایل مختلف ممکن است تاریخ تکمیل (T_C) تعیین شده باشد. در صورتی که در این تاریخ از تاریخ محاسبه شده براساس روش محاسبات CPM

کمتر (زودتر) باشد، ممکن است فشرده نمودن یا کاهش دادن زمان بعضی از فعالیت‌ها در پروژه الزامی گردد. در اجرای این امر، ممکن است ترکیب‌های مختلفی از فعالیت‌هاکه زمان آنها قابل کاهش است مورد نظر قرار گیرند. با کاهش زمان فعالیت‌های هر یک از ترکیبهای مورد نظر این امکان وجود خواهد داشت که تاریخ پروژه را به T_C برسانند.

در چنین مدلی، هدف عبارت از تعیین ترکیب بهینه (اقتصادی ترین ترکیب) برای کاهش زمان اجرای فعالیت‌هاست، به نحوی که با امکان پذیر نمودن اجرای پروژه در تاریخ تعیین شده (T_C) ، میزان اضافه هزینه بابت تسریع، در مینیمم مقدار ممکن باشد.

در این مدل، لازم است پروژه در تاریخ تعیین شده Tp تکمیل شود. بنابراین، هدف، یافتن بهترین (اقتصادی‌ترین) ترکیب برای کاهش زمانهای فعالیت می‌باشد. (حاج شیرمحمدی، ۱۳۸۶)

ضریب زاویه هزینه، عبارت است از مقدار هزینه های مستقیم اضافی که بابت کاهش یک واحد زمان اجرای فعالیت به آن تعلق می گیرد.

$$c = \left| \frac{c_f - c_n}{D_f - D_n} \right|$$

که در آن: C_f = هزینه فشرده۴۰، C_n = هزینه معمولی۴۱، D_f = زمان فشرده D_n = زمان معمولی برای اجرای فعالیت می باشد.

$C_{ij}(D_{n(ij)} - d_{ij})$ = جمع هزینه کاهش زمان فعالیت i_j

$Z = \sum_i \sum_j C_{ij}(D_{n(ij)} - d_{ij})$ = جمع هزینه کاهش زمان فعالیت‌ها

تابع Z عبارت از تابع هدف بوده و لازم است با توجه به محدودیت‌های حاکم بر مدل، به حداقل مقدار خود برسد. یکی دیگر از محدودیت‌های مساله، علاوه بر آنچه که گفته شد، آن است که زمان کل پروژه از Tp طولانی‌تر نشود.

$t_n - t_1 \le T_p$ = زمان کل پروژه

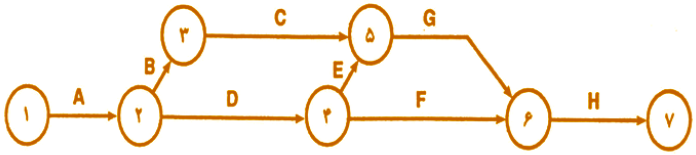
$MinZ = \sum_i \sum_j C_{ij}(D_{n(ij)} - d_{ij})$ تابع هدف

محدودیت ها

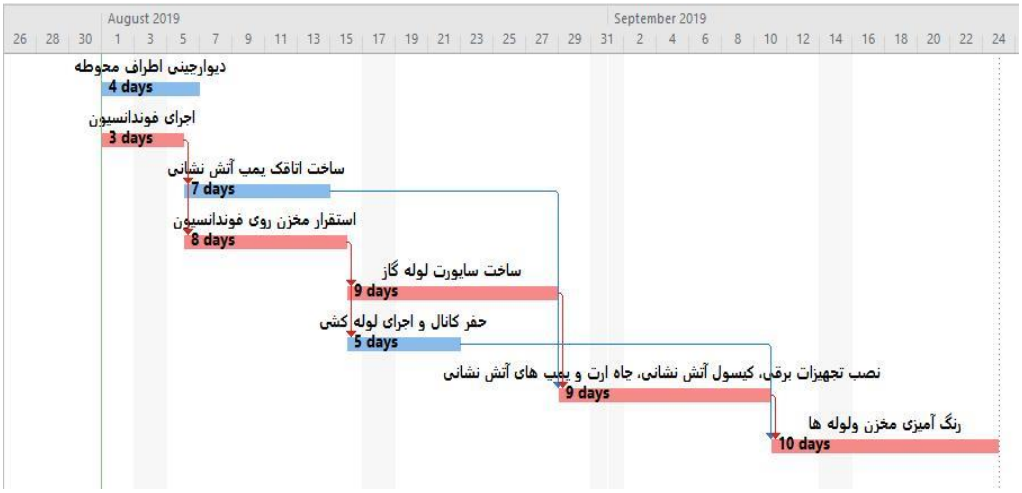
$$\begin{cases} t_j - t_i \geq d_{ij} \\ D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)} \\ t_n - t_1 \leq T_p \\ t_i \geq 0 \end{cases}$$

حل مثال برای مدل‌کلاسیک تعیین بهترین‌ترکیب‌کاهش برای‌تکمیل پروژه‌در تاریخ مشخص

برای تشریح و توضیح مدل مربوطه، شبکه فعالیت های یک نمونه پروژه مثال را به شکل ذیل در نظر می گیریم. تقدم و تاخر فعالیت ها در این شبکه مشخص شده و چنانچه در گانت چارت پروژه که بر اساس شکل شماره ۳ ترسیم شده دقت کنیم، مسیر بحرانی فعالیت های این پروژه مشخص شده و طول مدت آن ۳۵ ۱۰ -



شکل ۲- نمودار زمانبندی پروژه برای مثال



شکل ۳- گانت چارت و مسیربحرانی پروژه مثال

در ادامه، مطابق جدول شماره ۳و۲، اطلاعات جزئی‌تری در خصوص زمان انجام فعالیت‌ها در حالت

معمولی و زمان فشرده سازی فعالیت ها به همراه هزینه های انجام فعالیت به شکل معمولی و به صورت فشرده، بیان شده است.

آیتم بسیار مهم در این جدول، ضریب هزینه بوده که از فرمول مربوطه محاسبه شده و در ستون پایانی جدول شماره ۴ درج شده است.

جدول ۴ - مشخصات فعالیت ها برای مثال بیان شده

فعالیت	زمان معمولی	زمان فشرده	هزینه معمولی	ضریب هزینه
A	۴	۲	۱۰۰	۱۰
B	۳	۱	۱۵۰	۵
C	۷	۵	۵۰۰	۸
D	۸	۷	۸۰	۶
E	۶	۴	۹۰	۱۰
F	۵	۳	۱۲۰	۱۰
G	۹	۶	۱۰۰	۷
H	۱۰	۸	۷۰	۹

برای مثال، در صورتی که لازم باشد پروژه مثال قبل تا تاریخ تعیین شده $T_p = 32$ تکمیل گردد، تابع هدف و روابط محدودیت‌ها به صورت زیر خواهند بود:

تابع هدف:

$$Min \quad Z = 10(4-d_A)+5(3-d_B)+8(7-d_C)+6(8-d_D)+10(6-d_E)+10(5-d_F) + 7(9-d_G)+9(10-d_H)$$

محدودیت‌ها:

$$t_2 - t_1 \geq d_A \quad , \quad t_3 - t_2 \geq d_B \quad , \quad t_5 - t_3 \geq d_C \quad , \quad t_4 - t_2 \geq d_D$$

$$t_5 - t_4 \geq d_E \quad , \quad t_6 - t_4 \geq d_F \quad , \quad t_6 - t_5 \geq d_G \quad , \quad t_7 - t_6 \geq d_H$$

$$2 \leq d_A \leq 4 \quad , \quad 1 \leq d_B \leq 3 \quad , \quad 5 \leq d_C \leq 7 \quad , \quad 7 \leq d_D \leq 8$$

$$4 \leq d_E \leq 6 \quad , \quad 3 \leq d_F \leq 5 \quad , \quad 6 \leq d_G \leq 9 \quad , \quad 8 \leq d_H \leq 10$$

$$t_7 - t_1 \leq 32$$

$$t_1, t_2, ..., t_7 \geq 0$$

جواب‌های حاصل از حل مسئله عبارتند از :

$t_1 = 0$ $t_2 = 4$ $t_3 = 10$ $t_4 = 11$ $t_5 = 17$

$t_6 = 23$ $t_7 = 32$ $d_a = 4$ $d_b = 3$ $d_c = 7$

$d_d = 7$ $d_e = 6$ $d_f = 5$ $d_g = 6$ $d_h = 9$

مدل ارائه شده مسئله موازنه زمان- هزینه- کیفیت (لحاظ نمودن شاخص کیفیت فعالیت‌ها)

در این قسمت یک مدل ریاضی برای بررسی و موازنه زمان – هزینه - کیفیت ارائه می شود، اما پیش از آن لازم است موارد ذیل تعریف گردد : (نظری و همکاران، ۱۳۹۴)

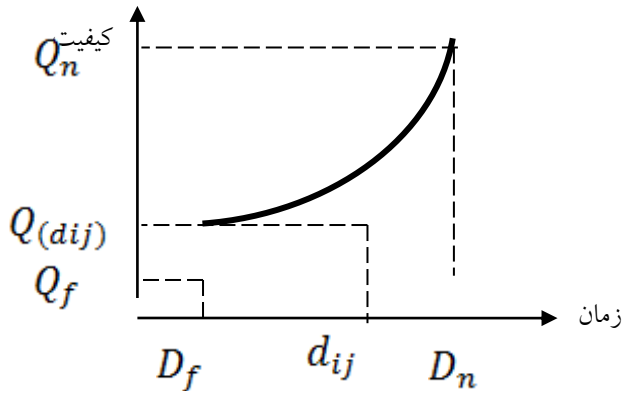
$Q_n(i-j)$ = کیفیت فعالیت i_j چنانچه فعالیت مذکور در زمان معمولی انجام شود (که آن را اختصارا کیفیت معمولی می نامیم)

$D_f(i-j)$ = کیفیت فعالیت i_j چنانچه فعالیت مذکور در زمان فشرده انجام شود (که آن را اختصارا کیفیت فشرده می نامیم)

می‌دانیم که روند تغییرات کیفیت، با کاهش زمان فعالیت، روند نزولی بوده ولی لزوما" بصورت خطی نخواهد بود. لذا می توان آن را با یک منحنی نمایی تقریب زد. (مطابق شکل شماره ۴)

می دانیم که فرمت یک تابع نمایی مثبت به شکل کلی $Y = \propto . e^{\beta x}$ می باشد، بنابراین، چنانچه دو نقطه از منحنی کیفیت برحسب زمان را داشته باشیم، با محاسبه مقدار آلفا و بتا، می توان به تخمین مناسبی از تابع تغییرات کیفیت دست یافت.

این دو نقطه می توانند نقاط مبتنی بر زمان و کیفیت معمولی و فشرده فعالیت ها باشند (که بر اساس نظر خبرگان امر از پیش برآورد شده اند). برای محاسبه آلفا و بتا داریم :



شکل ۴- نمودار کیفیت بر حسب زمان معمولی و زمان فشرده

با مشخص بودن مختصات نقاط به طول D_n وD_f داریم:

$$Q(d_{ij}) = \propto . e^{-\beta (d_{ij})}$$

$$D_n \text{ و } Q_n \rightarrow Q_n = \propto . e^{\beta (D_n)}$$

$$D_f \text{ و } Q_f \rightarrow Q_f = \propto . e^{\beta (D_f)}$$

$$Q_n = \propto . e^{\beta (D_n)} \rightarrow Ln(Q_n) = Ln(\propto) + \beta(D_n)$$

$$Q_f = \propto . e^{\beta (D_f)} \rightarrow Ln(Q_f) = Ln(\propto) + \beta(D_f)$$

با کم کردن دو طرف رابطه از هم داریم:

$$\Longrightarrow Ln\ (Q_n) - Ln(Q_f) = \beta(D_n) - \beta(D_f)$$

$$\Longrightarrow Ln\ \left(\frac{Q_n}{Q_f}\right) = \beta(D_n - D_f) \rightarrow \beta = \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f}$$

پس از محاسبه بتا، برای محاسبه آلفا داریم :

$$Ln\ (Q_n) = Ln(\propto) - \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} . D_n$$

$$Ln\ (\propto) = Ln\ (Q_n) + \frac{L_n\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} . D_n$$

$$\rightarrow \propto = e^{\left(Ln\ (Q_n) + \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} . D_n\right)}$$

حال با دانستن مقادیر آلفا و بتا، تابع کیفیت به ازای هر فعالیت(i-j)، برابر است با :

$$Q = e^{\left(Ln\ (Q_n) + \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} . D_n\right)} . e^{\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} d_{ij}}$$

و در مجموع برای کلیه فعالیت ها داریم :

$$= \sum_i \sum_j e^{\left(Ln\ (Q_n) + \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} . D_n\right)} . e^{\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} d_{ij}} Q_T$$

از آنجا که در جستوی مدلی هستیم که در کنار حداقل‌سازی هزینه ها، بتواند کیفیت را نیز حداکثر کند، در خصوص ۳ مدل ذکر شده، با افزودن این هدف به مسئله، با یک رویکرد به مدل‌های چند هدفه خواهیم رسید که در آنها، تابع هدف دوم، بصورت ذیل تعریف می گردد :

$$Max \quad Z_2: \quad Q_T = \sum_i \sum_j e^{\left(Ln(Q_n) + \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} D_n\right)} . e^{\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} d_{ij}}$$

چنانچه نخواهیم مدل‌ها را با رویکرد چند هدفه بازنویسی کنیم، کافیست تابع هدف دوم را در یک منفی ضرب کرده و با تابع هدف دوم جمع کنیم. بدین ترتیب، مدل‌های پیشنهادی فقط با یک تابع هدف قابل ارائه هستند.

مدل ارائه شده جهت تعیین بهترین ترکیب کاهش برای تکمیل پروژه در تاریخ مشخص

تابع هدف ۱:

$$Min \quad Z_1: \sum_i \sum_j C_{ij}(D_{n(ij)} - d_{ij})$$

تابع هدف ۲ :

$$Max \quad Z_2: \quad Q_T = \sum_i \sum_j e^{\left(Ln(Q_n) + \frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} D_n\right)} . e^{\frac{Ln\left(\frac{Q_n}{Q_f}\right)}{D_n - D_f} d_{ij}}$$

محدودیت ها :

$$t_j - t_i \geq d_{ij} \quad , \quad i, j = 1,2,\ldots,n$$

$$D_{f(ij)} \leq d_{ij} \leq D_{n(ij)}$$

$$t_n - t_1 \leq T_p$$

$$t_i \geq 0$$

یافته‌های پژوهش

در این بخش، مدل های کلاسیک و پیشنهادی ارائه شده را در خصوص مثال بخش قبل حل نموده و نتایج حاصل از حل مثال به روش کلاسیک و با مدل پیشنهادی را با هم مقایسه می کنیم. با این توضیح که، علاوه بر اطلاعات داده شده در مثال مذکور نیاز به یکسری اطلاعات جدید، در خصوص

کیفیت فعالیت ها در حالت معمولی و در حالت فشرده سازی، داریم، که این اطلاعات را با کمک نظرات خبرگان امر، بر حسب درصد به جدول داده ها اضافه می نماییم. (مطابق جدول شماره۵)

جدول ۵ - مشخصات فعالیت ها برای مثال بیان شده

فعالیت	زمان معمولی	زمان فشرده	هزینه معمولی	ضریب هزینه	کیفیت معمولی	کیفیت فشرده	α	β
A	۴	۲	۱۰۰	۱۰	۸۰	۷۰	۱۰۵	۰,۰۷
B	۳	۱	۱۵۰	۵	۶۰	۴۰	۹۳	۰,۲
C	۷	۵	۵۰۰	۸	۵۵	۴۵	۱۱۱	۰,۱
D	۸	۷	۸۰	۶	۱۰۰	۹۵	۱۵۱	۰,۰۵
E	۶	۴	۹۰	۱۰	۶۵	۵۰	۱۴۳	۰,۱۳
F	۵	۳	۱۲۰	۱۰	۷۰	۶۵	۸۴	۰,۰۴
G	۹	۶	۱۰۰	۷	۹۰	۷۰	۱۹۲	۰,۰۸
H	۱۰	۸	۷۰	۹	۱۰۰	۹۰	۱۷۰	۰,۰۵

روش حل :

برای حل مدل های پیشنهادی، با رویکرد چند هدفه (MODM)، ابتدا یک تابع جدید تحت عنوان Utility function را به صورت ذیل تعریف می نماییم :

$$Min \quad U \;:\; w\ Z_1 - (1-w)\ Z_2$$

که در آن w را می توان به عنوان درجه اهمیت یا وزن تابع هدف اول و $(1-w)$ را وزن تابع هدف دوم درنظر گرفت، تا درصورت متفاوت بودن درجه اهمیت این دو تابع، مدل جوابگو باشد.

تابع هدف اول

$$Min \quad Z_1 = 10(4-d_A)+5(3-d_B)+8(7-d_C)+6(8-d_D)+10(6-d_E)+10(5-d_F) + 7(9-d_G)+9(10-d_H)$$

تابع هدف دوم

$$Max \quad Z_2 : 105.e^{0.07d_a} + 93.e^{0.2d_b} + 111.e^{0.1d_c} + 151.e^{0.05d_d} + 143.e^{0.13d_e} + 84.e^{0.04d_f} + 192.e^{0.08d_g} + 170.e^{0.05d_h}$$

محدودیت ها

$$t_2 - t_1 \geq d_A \quad , \quad t_3 - t_2 \geq d_B \quad , \quad t_5 - t_3 \geq d_C \quad , \quad t_4 - t_2 \geq d_D$$

$$t_5 - t_4 \geq d_E \quad , \quad t_6 - t_4 \geq d_F \quad , \quad t_6 - t_5 \geq d_G \quad , \quad t_7 - t_6 \geq d_H$$

$$2 \leq d_A \leq 4 \quad , \quad 1 \leq d_B \leq 3 \quad , \quad 5 \leq d_C \leq 7 \quad , \quad 7 \leq d_D \leq 8$$

$$4 \leq d_E \leq 6 \quad , \quad 3 \leq d_F \leq 5 \quad , \quad 6 \leq d_G \leq 9 \quad , \quad 8 \leq d_H \leq 10$$

$$t_7 - t_1 \leq 32$$

$$t_1, t_2, \ldots, t_7 \geq 0$$

جواب (با $w = 0.8$)

$$t_1 = 0 \qquad t_2 = 2 \qquad t_3 = 8 \qquad t_4 = 9 \qquad t_5 = 15$$

$$t_6 = 24 \qquad t_7 = 32 \qquad d_a = 2 \qquad d_b = 3 \qquad d_c = 7$$

$$d_d = 7 \qquad d_e = 6 \qquad d_f = 5 \qquad d_g = 9 \qquad d_h = 8$$

جدول ۶ - مقایسه جواب های مثال با مدل کلاسیک و مدل پیشنهادی

مدل کلاسیک	نام متغیر	t	t	t	t	t	t	t	d	d	d	d	d	d	d	d
		1	2	3	4	5	6	7	a	b	c	d	e	f	g	h
	مقدار	0	4	10	11	17	23	32	4	3	7	7	6	5	6	9
مدل پیشنهادی	نام متغیر	t	t	t	t	t	t	t	d	d	d	d	d	d	d	d
		1	2	3	4	5	6	7	a	b	c	d	e	f	g	h
	مقدار	0	2	8	9	15	24	32	2	3	7	7	6	5	9	8

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

پروژه‌های مختلف در مسیر دستیابی به اهداف خود به طور کلی، با سه دسته محدودیت مواجه می‌باشند؛

الف) محدودیت‌های مربوط به زمان انجام فعالیت‌ها و به تبع آن زمان نهایی پروژه،

ب) محدودیت‌های مربوط به استفاده‌ی فعالیت‌ها از منابع پروژه

ج) محدودیت‌های مربوط به اجرای فعالیت‌های خاص.

از آنجا که برآیند تاثیر همزمان محدودیت‌ها می‌تواند باعث ایجاد انحرافات چشمگیری در دستیابی به اهداف پروژه گردد، باید در صورت امکان، به وسیله ی موازنه نمودن این محدودیت ها با یکدیگر، به بهینه سازی زمان، هزینه و کیفیت انجام فعالیت های پروژه اهتمام ورزید. در این مقاله، با در نظر گرفتن مطالعات صورت گرفته و پیشینه های موجود، در خصوص مسائل موازنه زمان- هزینه، از یک مدل ریاضی که جهت فشرده سازی زمان در شبکه های CPM طراحی شده بود استفاده نموده و به عنوان مدل کلاسیک، ضمن توجه به این نکته که در کنار کاهش زمان فعالیت‌ها و ارضای هدف حداقل سازی مجموع هزینه های پروژه (اعم از : هزینه های مستقیم، غیر مستقیم و فشرده سازی) باید بتوانیم هدف دوم یعنی به حداکثر رساندن مجموع کیفیت پروژه که تابعی ست از تک تک فعالیت ها را محقق نماییم، مدل را توسعه داده و تحت عنوان مدل پیشنهادی ارائه نمودیم.

در واقع، با دو تابع هدف حداقل سازی مجموع هزینه ها در کنار حداکثرسازی مجموع سطح کیفیت فعالیت ها مواجه هستیم که هرکدام را به صورت تابعی از فعالیت های جزئی پروژه، با لحاظ نمودن سایر شرایط تقدم و تاخر فعالیت ها در شبکه CPM درنظر گرفته ایم و با شرط اینکه پروژه می بایست در تاریخ معینی که به عنوان ضرب الاجل تعریف شده، پایان یابد، مدل را برای یک نمونه پروژه مثال حل کرده و پاسخ های مربوطه را مقایسه نمودیم.

همانگونه که پیشتر اشاره شد، طبق تعریف استروالدر؛ مدل کسب و کار ابزاری مفهومی است که شامل مجموعه‌ای از عناصر و ارتباط آن‌ها بوده و منطق شرکت جهت درآمدزایی را نشان می‌دهد. مولفه های مهم و حیاتی مدل کسب و کار استروالدر که می تواند چارچوبی درست و منطقی در خصوص مسائل مدیریت پروژه و فشرده سازی زمان در شبکه های CPM (همانگونه که منظور اصلی این مقاله است) ارائه کند، مربوط است به مولفه های ششم، هفتم و نهم مدل استروالدر که به ترتیب عبارتند از : منابع کلیدی، فعالیت های کلیدی و ساختار هزینه.

در نهایت، به منظور بیان نتایج مدل ریاضی پیشنهادی بدست آمده در قالب بوم مدل کسب و کار استروالدر می توان چنین اذعان داشت، شالوده اصلی و اساسی این الگو، ساختار هزینه‌های یک کسب و کار، فعالیت‌های کلیدی و منابع کلیدی است که سایر بخش‌های الگو بر اساس آن سازماندهی و مدیریت می‌گردند. در همین راستا مشخصات ساختارهای هزینه عبارتند از :

- ✓ هزیه ثابت: هزینه‌هایی که در برنامه‌های مختلف تغییری نمی‌کند. برای مثال: دستمزد، اجاره‌بها
- ✓ هزینه‌های متغیر: تغییر این هزینه‌ها وابسته مقدار تولید کالا یا خدمات است. برای مثال جشنواره موسیقی

✓ مقیاس اقتصاد: کاهش هزینه‌ها بر اساس کالا سفارش شده یا تولیدشده.

✓ اهداف اقتصاد: کاهش هزینه به‌وسیله ترکیب کسب‌وکارهای دیگر که ارتباط مستقیمی با محصول اصلی دارند.

با این تفاصیل، چنانچه راه‌کارهایی در جهت کاهش و مدیریت هزینه‌های کسب و کارها ارائه گردد، تا حد بسیار زیادی در تامین منابع کلیدی در اختیار آن کسب و کار، مفید و موثر واقع شده و سودآوری را افزایش می‌دهد، اما نکته حائز اهمیت اینکه، صرف کاهش هزینه نباید با چشم‌پوشی بر مقوله کیفیت همراه شود و چنانچه افزایش ارزش یک کسب و کار (سودآوری دراز مدت، ارزش برند و ...) مدنظر باشد، همواره نیاز است تا در کنار کنترل هزینه، نگهداشت کیفیت در یک سطح مطلوب و منطقی را در دستورکار قرار داد و از این جهت، مدل ریاضی پیشنهادی در این مقاله، هر دو هدف را به خوبی تامین می‌نماید.

نتایج حاصل از بهره‌گیری از مدل ریاضی پیشنهادی و حل این مدل برای هر پروژه، می‌تواند موجب بهبودهای زیر در سه مولفه مذکور مدل کسب و کار گردد:

- منابع کلیدی: مدل پیشنهادی در عین حداقل‌سازی هزینه‌ها و حداکثرسازی کیفیت فعالیت‌ها، محدودیت محدودیت منابع را نیز در نظر می‌گیرد. لذا می‌توان با بهره‌گیری از این مدل منابع کلیدی مورد استفاده را مدیریت کرده و از منابع محدود سرمایه‌گذار بهترین استفاده را برد.

- فعالیت‌های کلیدی کسب و کار: نتایج حاصل از به کارگیری مدل پیشنهادی موجب حفظ کیفیت اجرای فعالیت‌ها شده و این امر در محبوبیت برند، رضایت مشتریان و حفظ کیفیت نهایی محصول و یا خدمت قابل ارائه بسیار تاثیرگذار است. لذا، مدل پیشنهادی اجرای باکیفیت فعالیت‌های کلیدی را تضمین می‌کند.

- ساختار هزینه‌های کسب و کار: پیروی از نتایج حاصل از حل مدل پیشنهادی می‌تواند منجر به انجام فعالیت‌های کسب و کار با کمترین هزینه گردد و در نتیجه ساختار هزینه متناسب و معقولی را برای سرمایه‌گذار به همراه خواهد داشت.

در خاتمه با عنایت به کیفی بودن مقوله "تعیین میزان سطح کیفیت فعالیت‌ها" و دشواری بیان آن‌ها به صورت متغیر کمی، می‌توان این مقوله را به کمک متغیرهای کلامی بیان نمود و از مباحث مرتبط با مجموعه‌های فازی، برای حل مدل‌ها کمک گرفت که این امر جهت پژوهش‌های آتی به محققین این حوزه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

۱) ابراهیم نژاد، سعداله؛ احمدی، وحید؛ جوانشیر، حسن؛ "موازنه معیارهای هزینه ، زمان و کیفیت در یک شبکه CPM با استفاده از منطق فازی و الگوریتم ژنتیک"، نشریه مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۴، پاییز ۱۳۹۲، صفحه ۳۶۲-۳۷۶ .

۲) استروالدر ، الکساندر ؛ پیگنیور ، ایو ؛ ترجمه : غلامرضا توکلی، بابک وطن دوست، حسام الدین ساروقی و بهامین توفیقی؛ "خلق مدل کسب وکار"؛ انتشارات آریانا ؛ چاپ نهم ؛ ۱۳۹۸

۳) جعفر نژاد، علی؛ سحاب، محدقاسم ؛ اکبر پور، عباس؛ "بهینه سازی زمان - هزینه - کیفیت با استفاده از الگوریتم جستجوی مستقیم شبکه تطبیقی"، کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران، دوره ۵، ۱۳۸۱.

٤) جوانمردی، اشتاد؛ قدوسی، پرویز؛ اشتهاردیان، احسان اله،" بهینه سازی زمان - هزینه پروژه با در نظر گرفتن محدودیت منابع توسط الگوریتم ژنتیک"، کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران، دوره ۶، سال ۱۳۸۱.

٥) حاج شیرمحمدی، علی؛ مدیریت و کنترل پروژه، چاپ دوازدهم، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران، ۱۳۸۶.

٦) سبزه پرور، مجید؛ مرجع درسی و کاربردی کنترل پروژه به روش گام به گام، چاپ یازدهم، انتشارات ترمه، تهران، ایران،۱۳۸۹.

۷) نظری, احسانه؛ سجادی، سیدجعفر و شهریاری، محمدرضا ، ۱۳۹۴، طراحی و تبیین مدل ریاضی فشرده سازی زمان در شبکه‌های CPM با در نظرگرفتن شاخص کیفیت فعالیت ها، یازدهمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه، تهران

۸) هاشم زاده زرگر، مهران؛ قلعه نوی، منصور؛ رضایی نیک، ابراهیم؛ "بررسی مدل های موازنه (هزینه-زمان- کیفیت) در مدیریت پروژه ها، کنفرانس بین المللی نوآوری در مهندسی و توسعه تکنولوژی، تبریز، ایران، بهمن ماه، دوره۵، ۱۳۹۵.

9) Afshar.A, Kaveh.A and Shoghli.O , " Multi objective optimization of time-cost-quality using multi colony ant algorithm",ASIAN JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING (BUILDING AND HOUSING) VOL. ۸,NO. ۲,۲۰۰۷,pp. .۱۲۴-۱۱۳

10) Aminbakhsh.N, Sonmez.R, "Discrete particle swarm optimization method for the large-scale discrete time–cost trade-off problem", Expert Systems With Applications, Vol. ۵۱, ۲۰۱۶, pp. ۱۷۷–.۱۸۵

11) Azaron.A, Tavakkoli Moghaddam. R, "Multi-objective time–cost trade-off in dynamic PERT networks using an interactive approach", European Journal of Operational Research, Vol. ۱۸۰,۲۰۰۷, pp.۱۱۸۶– .۱۲۰۰

12) MAZLUM.M, GÜNERİ.F.A, "CPM, PERT and Project Management With Fuzzy Logic Technique and Implementation On A Business" , Social and Behavioral Sciences,Vol. ۲۱۰, ۲۰۱۵, pp. ۳۴۸– .۳۵۷

13) Shahsavari Pour.N, Modarres.M , Aryanejad.M.B, Tavakoli Moghadam.R, "The Discrete Time-Cost-Quality Trade-off Problem Using a Novel Hybrid Genetic Algorithm", Applied Mathematical Sciences, Vol. ۴, no. ۴۲, ۲۰۱۰, pp. ۲۰۸۱– .۲۰۹۴

14) Tareghian. H. R , Taheri.S. H, "On the discrete time, cost and quality trade-off problem", Applied Mathematics and Computation, Vol. ۱۸۱،۲۰۰۶, pp.۱۳۰۵– .۱۳۱۲

15) Tareghian.H. R, Taheri.S. H, "A solution procedure for the discrete time cost and quality trade off problem using electromagnetic scatter search",Applied Mathematics and Computation, Vol. ۱۹۰, ۲۰۰۷, pp. ۱۱۳۶– .۱۱۴۵

16) Yeta.B ,Constantinou.B, Fentonb.N, Neilb.M, Luedelingc.E, Shepher.K, "A Bayesian Network Framework for Project Cost, Benefit and Risk Analysis with an Agricultural Development Case Study", Expert Systems With Applications, Vol. ۱۰۸, May ۲۰۱۶, pp..۹۰-۷۵

یادداشت‌ها :

1 Critical Path Method
2 overhead costs
3 business plan
4 business model
5 Kelly JE
6 Walker
7 Fulkerson
8 Meyer WL
9 Shaffer LR
10 Talbot FB
11 Chua DKH, Chan WT, Govindan K

12 Feng CW
13 Burns SA
14 Simulated annealing
15 Ang A
16 Wang KH, Chi JH, Wan EH
17 Hapke M
18 Slowinski R
19 Leu SS, Chen AT, Yang CH
20 Arikan F
21 Gungor Z
22 Chao-Guang J, Zhuo-shang J, Yan L, Yuan-min Z, Zhen-dong H
23 Tanaka H, Guo P, Zimmermann H-J
24 Buckley JJ, Feuring T, Hayashi Y
25 Ghazanfari M Shahanaghi K, Yousefli A, Abiry MB
26 Golenko Gunzburg & Gonik
27 Gutjohr etal.
28 Ke etal
29 PERT
30 Babu, Suresh
31 Khang
32 Myint
33 Atkinson
34 GÜNERİ.F.A
35 Yeta.B
36 Constantinou.B
37 Sonmez.R
38 Work Breakdown Structure
39 Cost Breakdown Structure
40 Crash activity cost
41 Normal activity cost