



5th

International Congress on

CIVIL ENGINEERING, ARCHITECTURE & URBAN DEVELOPMENT

عمران، معماری و توسعه شهری

پنجمین کنگره سالانه بین المللی

۲۶-۲۸ دسامبر ۱۳۹۶

Iranm Khomeini International Congresses Center IRAN-TEHRAN
SHAHID BEHESHTI UNIVERSITY OF MEDICAL SCIENCES

Verification Code : PP-BGDE
System Address : www.5icsau.com/Verify



شماره مجوز نامه در پیگاه استنادی
علوم جهان اسلام ۶۲۰۰۶ - ۹۶۱۷۰

جمهوری اسلامی ایران
سازمان ملی استاندارد ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری
شماره مجوز کنگره از وزارت علوم
۷۷۶۴۰۰۳۸



گواهینامه پذیرش، چاپ و ارائه مقاله

سرکار خانم / جناب آقای رضا شایسته ییلندی، منصور قلعه نوی، ابراهیم رضایی نیک

بدینوسیله گواهی می گردد مقاله جنابعالی تحت عنوان:

زمان بندی پروژه با استفاده از تکنیک موازنه در دو دهه اخیر

با توجه به نظر کمیته داوری پنجمین کنگره سالانه بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری جهت چاپ در مجموعه مقالات کنگره مورد پذیرش قرار گرفته و در این کنگره که در تاریخ ۵ الی ۷ دی ماه ۱۳۹۶ در دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی تهران با مجوز رسمی برگزاری از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به شماره ۷۳۶۴۰۳۸ و نیز با تمایه و مجوز ایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) به شماره ۶۲۰۰۶-۹۶۱۷۰ برگزار شد ارائه گردیده است. موفقیت روزافزون شما را در عرصه های دانش و پژوهش از درگاه احدیت مسئلت می نمایم.

با تقدیم احترام
مهندس فرهاد علیزاده افشار
دبیر کنگره

با تقدیم احترام
دکتر افزام کیوانی
دبیر علمی کنگره

توجه: بدون مهر برجسته و هولوگرام فاقد اعتبار است



www.5icsau.com

زمان بندی پروژه با استفاده از تکنیک موازنه در دو دهه اخیر

رضا شایسته بیلندی¹، منصور قلعه‌نوی^{2*}، ابراهیم رضایی‌نیک³

- 1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت ساخت دانشگاه فردوسی مشهد، shayestehbi@yahoo.com
- 2- دانشیار و عضو هیأت‌علمی گروه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد، ghalehnovi@um.ac.ir
- 3- استادیار و عضو هیأت‌علمی دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی سجاد مشهد، rezaeenik@sadjad.ac.ir

چکیده

پروژه‌ای موفق است که با کمترین هزینه، در کوتاه‌ترین زمان و بالاترین کیفیت انجام شود. تغییرات سه عامل زمان، هزینه و کیفیت در هر پروژه به یکدیگر وابسته هستند و به دلیل محدودیت منابع و سایر محدودیت‌هایی که در هر پروژه وجود دارد در تعارض با هم می‌باشند. به همین دلیل ایجاد رابطه‌ای بهینه بین زمان، هزینه و کیفیت یکی از اهداف مهم در هر پروژه می‌باشد. معمولاً برای هر فعالیت در پروژه چند حالت اجرا که هر کدام زمان، هزینه، کیفیت و مقدار مصرف منابع متفاوتی دارد، تعریف می‌شود. با توجه به محدودیت منابع و محدودیت روابط پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها، مدیر پروژه باید ترتیب اجرای فعالیت‌ها را به صورتی برنامه‌ریزی کند و گزینه‌ای را برای اجرای هر فعالیت انتخاب نماید که با اجرای فعالیت‌ها ترکیب بهینه و متعادلی به صورت هم‌زمان بین زمان، هزینه و کیفیت پروژه ایجاد شود. به این تکنیک از برنامه‌ریزی، موازنه بین زمان، هزینه و کیفیت گفته می‌شود. مسأله موازنه به صورت‌های مختلفی مدل‌سازی می‌شود که برای حل آنها می‌توان از روش‌های ابتکاری، فراابتکاری و برنامه‌ریزی ریاضی استفاده کرد. این مقاله به بررسی برخی از پژوهش‌های انجام شده در زمینه تکنیک موازنه در برنامه‌ریزی موازنه، از طریق بررسی شانزده مقاله مرتبط با موضوع که در مدت بیست سال اخیر منتشر شده‌اند، می‌پردازد. هدف بیان اهمیت تکنیک موازنه، بررسی روش‌های مدل‌سازی مسأله‌ها و الگوریتم حل آنها در مدت بیست سال اخیر در برنامه‌ریزی پروژه می‌باشد. نتایج نشان داد که در سال‌های اخیر توجه به عامل کیفیت در پروژه‌ها و در نظر گرفتن شرایط عدم قطعیت از نوع فازی در مدل‌سازی مسأله‌های موازنه بیشتر شده است.

واژه‌های کلیدی: موازنه زمان هزینه و کیفیت، زمان‌بندی پروژه، بهینه‌سازی، محدودیت منابع، الگوریتم‌های فراابتکاری، برنامه‌ریزی پروژه

1- مقدمه

برنامه زمان‌بندی پروژه نقش مهمی در مدیریت کردن منابع سازمانی دارد. هر مسأله زمان‌بندی پروژه¹ (PSP) بوسیله فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی بین آنها تعریف می‌شود. هدف اصلی این مسائل بهینه‌کردن مجموعه‌ای از توابع با توجه به محدودیت روابط پیش‌نیازی و محدودیت منابع است [1]. پیشرفت‌های مهم در برنامه زمان‌بندی پروژه به اواخر دهه 1950 بازمی‌گردد که در آن زمان روش‌هایی مانند مسیر بحرانی² (CPM) بوجود آمدند. این روش‌ها از محدودیت منابع به صورت صریح و مستقیم استفاده نمی‌کردند اما با در نظر گرفتن محدودیت روابط پیش‌نیازی و مدت زمان قطعی و مشخص برای

¹ Project Scheduling Problem

² Critical Path Method

فعالیت‌ها، کمترین زمان ممکن برای تکمیل پروژه، زودترین و دیرترین زمان برای شروع و پایان فعالیت‌ها و فعالیت‌های بحرانی پروژه را ارائه می‌دادند. با در نظر گرفتن محدودیت منابع برای پروژه، مسأله زمانبندی پروژه با منابع محدود³ (RCPSP) بعنوان تعمیمی از PSP بدست آمد [2].

در برنامه‌ریزی پروژه معمولا زمان انجام فعالیت‌ها از طریق افزایش دادن بودجه پروژه کاهش داده می‌شود تا بدین‌وسیله زمان تکمیل پروژه کاهش یابد. یکی از روش‌هایی که برای این کار استفاده می‌شود تکنیک موازنه است. برنامه زمانبندی پروژه براساس موازنه بین زمان و هزینه اولین بار در سال 1961 ارائه شد. هدف از مسأله موازنه، تعیین مقدار بهینه زمان و هزینه‌ای است که باید به فعالیت‌ها تخصیص داده‌شود تا هزینه کل و مدت زمان تکمیل پروژه مینیمم شود و بدین‌صورت با حل مسأله موازنه یک توازن بین زمان تکمیل پروژه و هزینه کل آن ایجاد گردد [3]. در دهه نود میلادی با توجه به افزایش رقابت بین شرکت‌ها در اجرای پروژه‌ها و توسعه روش‌های نوین قراردادهای ساخت که در آنها کارفرمایان به کیفیت اهمیت بیشتری نسبت به گذشته قائل شده بودند پژوهشگران حوزه برنامه‌ریزی پروژه دریافتند که انجام پروژه با کمترین هزینه و در کوتاه‌ترین زمان بدون در نظر گرفتن کیفیت اجرای فعالیت‌ها کاری عاقلانه نمی‌باشد. به همین دلیل کیفیت به مسأله موازنه زمان و هزینه در مدل‌سازی‌ها اضافه گردید [4]. در سال 1996 بابو و سورش برای اولین بار روشی برای موازنه بین زمان، هزینه و کیفیت با استفاده از سه مدل برنامه‌ریزی خطی پیشنهاد کردند. روش آنها بر مبنای روابط خطی بین معیارهای هزینه و کیفیت پروژه و زمان تکمیل پروژه بود [5].

این پژوهش به مطالعه و بررسی تعدادی مقاله که در فاصله زمانی سال‌های 1997 تا 2017 توسط پژوهشگران برای موضوع موازنه در مسأله زمانبندی پروژه منتشر شده، پرداخته است. هدف، بیان اهمیت تکنیک موازنه، بررسی روش‌های مدل‌سازی مسأله‌ها و الگوریتم حل آنها در مدت بیست سال اخیر در برنامه‌ریزی پروژه می‌باشد. در ادامه مقاله، ابتدا درباره روش انجام پژوهش مطالبی ارائه می‌شود. سپس در قسمت نتیجه‌گیری مدل‌های مختلف، الگوریتم‌های حل و نتایج حاصل از کار پژوهشی نویسندگان مقالات، به صورت خلاصه اشاره شده است. در بخش بحث و بررسی، درباره مدل‌های مختلف مسأله، قطعیت یا عدم قطعیت پارامترها، الگوریتم‌های حل مسأله‌های نمونه و روش‌های تهیه مسأله‌های نمونه مناسب برای ارزیابی مدل‌ها، مطالبی آورده شده است. سرانجام در بخش نتایج درباره آنچه که در این پژوهش در زمینه موضوع موازنه مطرح شده، بررسی کلی صورت گرفته است و پیشنهادهایی برای پژوهش‌های آینده ارائه شده است.

2- مواد و روش‌ها

این پژوهش، با استفاده از کامپیوتر و شبکه اینترنت، از طریق جستجو در پایگاه‌های علمی معتبر داخلی و خارجی برای مقالات منتشر شده در بیست سال اخیر با موضوع موازنه در برنامه زمانبندی پروژه، انجام گرفته است. از میان مقالات گردآوری شده، بیشتر مقالات مروری و مقالات با کیفیت پایین یا نامرتبط حذف شد و در نهایت شانزده مقاله که برای بیان و بررسی روند پژوهش‌های انجام شده طی بیست سال اخیر مناسب تر بودند انتخاب شدند.

3- بررسی مقالات و نتایج

فنگ و همکاران در سال 1997 برای اولین بار از الگوریتم ژنتیک در حل مسأله موازنه زمان و هزینه استفاده کردند. مدل بر مبنای الگوریتم ژنتیک موجود در طبیعت و براساس جواب‌های پارتو فرموله شده بود. مزیت روش، در جستجوی بخشی از فضای جواب مسأله بجای جستجوی کل آن برای رسیدن به جواب بهینه یا نزدیک به بهینه بود که جواب را در زمان کمتری نسبت به روش‌های حل برنامه‌ریزی دقیق ریاضی و یا روش‌های ابتکاری در مسأله‌های با مقیاس بزرگ ارائه می‌کرد. آنها یک

³ Resource-Constrained Project Scheduling Problem

برنامه کامپیوتری با استفاده از نرم افزار Excel برای حل مدل ارائه کردند و با حل مسأله نمونه پروژه ساخت بزرگراه، کارایی الگوریتم را نشان دادند [6].

اسپرچر، هارتمن و درکسل در سال 1997 الگوریتم شاخه و کران جدیدی را برای موازنه زمان، منابع و زمان، هزینه در مسأله زمانبندی پروژه با منابع محدود و چند حالت اجرا برای فعالیتها با هدف مینیمم کردن زمان اتمام پروژه ارائه کردند. الگوریتم جدید تعمیم یافته الگوریتم شاخه و کران ارائه شده توسط دمبولمیستر و هرولن بود که بوسیله تکنیک های کاهش درخت جستجو با قواعد استاتیک و پویا ارتقا داده شده بود. الگوریتم در نرم افزار Borland C کدنویسی گردید و با استفاده از مسأله های نمونه تولید شده توسط نرم افزار ProGen عملکرد الگوریتم ارزیابی شد که کاهش قابل ملاحظه ای در زمان رسیدن به جواب نسبت به روش های شاخه و کران که قبلا در ادبیات موضوع مطرح شده بود را نشان می داد [2].

خانگ و مینت در سال 1999 سه مدل برنامه ریزی خطی که بابو و سارش در سال 1996 برای موازنه زمان، هزینه و کیفیت در برنامه زمانبندی پروژه ابداع کرده بودند را برای پروژه ساخت یک کارخانه سیمان در تایلند بکار بردند و با نرم افزار LINGO آنرا حل کردند. با تغییر دادن مقادیر کران محدودیت های زمان، هزینه و کیفیت در هر مدل مقدار تابع هدف مربوط را محاسبه کردند و حداقل و حداکثر مقداری که می توانست در مقدار تابع هدف تأثیرگذار باشد را بدست آوردند و ضمن ارائه جداول و نمودارهایی به تحلیل نتایج پرداختند [5].

فنگ و همکاران در سال 2000 برای حل مسأله موازنه زمان و هزینه در شرایط غیرقطعی و تصادفی بودن مقادیر زمان و هزینه، روشی جدید با ترکیب روش های شبیه سازی و الگوریتم ژنتیک ارائه دادند. آنها فرض کردند زمان و هزینه دارای توزیع نرمال هستند. با استفاده از نرم افزاری برای شبیه سازی داده های تصادفی و برنامه نویسی الگوریتم با زبان C در کامپیوتر، کارایی مدل را با حل مسأله نمونه ای که در سال 1995 در مقاله ای طراحی کرده بودند؛ نشان دادند. روش آنها جوابی بهینه نزدیک به شرایط واقعی در پروژه های ساخت را ارائه می کرد [7].

زنگ و همکاران در سال 2004 برای موازنه زمان و هزینه در مسأله زمانبندی پروژه یک مدل دو هدفه ارائه کردند. برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک بهبود داده شده با رویکرد وزن دهی انطباقی که توسط ژن و چنگ در سال 2000 ارائه شده بود، استفاده کردند. آنها در تابع برازش الگوریتم تغییراتی ایجاد نمودند و باتوجه به اهمیت هر عامل زمان یا هزینه در پروژه وزنی به هر کدام از آنها در تابع برازش تخصیص دادند که باعث می شد الگوریتم فضای بزرگتری را نسبت به حالت بدون وزن جستجو کند. با حل یک مسأله نمونه که در سال 1995 توسط فنگ و همکاران ارائه شده بود؛ نتایج حل را با دوروش الگوریتم ژنتیک معمولی و الگوریتم ژنتیک اصلاح شده مقایسه و تحلیل کردند [8].

افشار و همکاران در سال 2007 الگوریتم فراابتکاری جدید چند هدفه کلونی مورچه را برای بهینه سازی همزمان سه تابع هدف زمان، هزینه و کیفیت در مسأله زمانبندی پروژه با منابع محدود ارائه کردند. آنها مسأله نمونه ای که توسط فنگ و همکاران در سال 1995 ارائه شده بود و توسط زنگ هم در سال 2005 برای موازنه بین زمان و هزینه استفاده شده بود را برای بررسی عملکرد مدل خود حل نمودند. سپس از طریق مقایسه نتایج مدل خود با نتایج مدل زنگ (رویکرد وزن دهی انطباقی اصلاح شده چند هدفه MAWA - 2005) کارایی و قابلیت بالای مدل را نشان دادند [9].

شیانگ و همکاران در سال 2008 برای حل مسأله موازنه زمان و هزینه در برنامه زمانبندی پروژه از الگوریتم فراابتکاری کلونی مورچه چند هدفه استفاده کردند. آنها الگوریتم کلونی مورچه را با رویکرد وزن دهی انطباقی اصلاح شده زنگ (MAWA) که در سال 2004 ارائه شد، ترکیب کردند تا با در نظر گرفتن رویکرد چند هدفه برای الگوریتم کلونی مورچه جواب های بهینه پارتو بهتری بدست آید. با حل مسأله نمونه ای که فنگ و همکاران در سال 1997 ارائه کرده بودند و مسأله با هفت فعالیت که زنگ در سال 2004 از آن استفاده کرد، کارایی عملکرد الگوریتم را نشان دادند. همچنین نتایج حل مسأله ای که زنگ آنرا در مقاله خود با الگوریتم ژنتیک حل کرده بود را با نتایج حل آن مسأله بوسیله الگوریتم کلونی مورچه مقایسه کردند و نتیجه

گرفتند کارایی عملکرد الگوریتم کلونی مورچه ارائه شده از الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده زنگ در مسأله موازنه زمان و هزینه بهتر است [10].

مانگل و همکاران در سال 2013 یک مدل ریاضی چندهدفه برای موازنه زمان، هزینه و کیفیت در مسأله زمانبندی پروژه برای صنعت ساخت ارائه کردند. برای ارزیابی کیفیت ساخت هر فعالیت، از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) استفاده گردید. همچنین برای حل مدل، یک روش جدید که الگوریتم ژنتیک براساس خوشه‌بندی فازی بود را ایجاد نمودند. مدل در نرم‌افزار MATLAB7.8 کدنویسی شد و برای بررسی عملکرد و کارایی روش پیشنهادی، مسأله نمونه پروژه ساخت بزرگراه که توسط فنگ در سال 1997 مطرح شده بود را حل کردند که نتایج کارایی خوب مدل را نشان داد. همچنین برای مقایسه کارایی مدل در برابر سایر روش‌های حل با هریک از سه روش چندهدفه CSMOPSO، MOGA، SPEAII سه مثال نمونه دیگر را حل کردند و مقدار سه پارامتر بدست آمده از حل هر مثال را در برابر چهار روش با هم مقایسه کردند که عملکرد بهتر روش پیشنهادی آنها با توجه به میزان سرعت و تنوع همگرایی نسبت به سایر روش‌ها نتیجه گرفته شد. آنها مدل خود را برای استفاده پیمانکاران و برنامه‌ریزان پروژه‌ها و کارشناسان صنعت توصیه کردند [11].

ابراهیم‌نژاد و همکاران در سال 2013 یک مدل برنامه‌ریزی خطی فازی با سه تابع هدف برای موازنه زمان، هزینه و کیفیت در مسأله زمانبندی پروژه با چند حالت اجرا معرفی کردند. برای حل مدل، الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGA II) را بکاربردند. همچنین میزان توجه مدیران پروژه به نظرات کیفی افراد خبره را با روش برش آلفا فازی نشان دادند که مقدار α نشان‌دهنده میزان ریسک‌پذیری مدیر پروژه در توجه به نظرات افراد خبره بود. در حالت عدم قطعیت مقدار $\alpha=0$ و در حالت قطعیت $\alpha=1$ بود. در حالت عدم قطعیت خبرگان سعی دارند ریسک‌هایی که پروژه با آنها روبرو است را در نظر بگیرند و هرچه میزان توجه مدیر پروژه به نظرات افراد خبره کمتر بود ریسک‌ها کمتر در محاسبات پروژه وارد می‌شد. در نتیجه مقدار α از صفر به سمت یک تغییر می‌کرد. الگوریتم با استفاده از جعبه‌افزار GA در نرم‌افزار MATLAB کدنویسی شد. سپس با استفاده از یک مطالعه موردی در صنعت نفت و حل مسأله، عملکرد مدل و الگوریتم ژنتیک بررسی گردید. آنها مدل ارائه شده به همراه الگوریتم NSGAII را که در زمانی کوتاه به جواب مطلوب همگرا می‌شد را برای پروژه‌های با مقیاس بزرگ توصیه کردند [4].

توانا و همکاران در سال 2014 مدلی با سه تابع هدف مجزا برای موازنه زمان، هزینه و کیفیت در مسأله زمانبندی پروژه با منابع محدود معرفی کردند. چند حالت اجرا برای فعالیت‌ها و روابط پیش‌نیازی بین آنها به صورت تعمیم‌یافته تعریف گردید. هر فعالیت مجاز به حالت preemption (هر فعالیت مجاز بود مدتی بعد از شروع به اجرا متوقف شود و بعد از مدتی اجرای آن از سر گرفته شود) در موقع اجرا بود. مدل به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فرموله شد و برای موازنه زمان، هزینه و کیفیت محدودیت‌هایی با کران بالا یا پایین در مدل در نظر گرفتند. دو روش برای حل مدل ارائه گردید و جواب پارتو آنها با هم مقایسه شد. روش اول (efficient ϵ -constraint) محدودیت اپسیلون کارا مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه بود و روش دوم الگوریتم تکاملی فراابتکاری چندهدفه خودانطباقی پویا مبتنی بر الگوریتم ژنتیک با مرتب‌سازی نامغلوب (NSGAII) بود که اصلاحاتی برای انطباق با مدل در آن ایجاد کردند. آنها برای تعداد دفعات توقف اجرای هر فعالیت و برای فاصله زمانی بین توقف و شروع مجدد هر فعالیت یک مقدار ماکزیمم و برای شروع زمان اولین توقف هر فعالیت یک حد مینیمم در نظر گرفتند. از نرم‌افزار RaGen که توسط دمپولمیستر و همکاران در سال 2003 معرفی شده بود برای تولید مسأله‌های نمونه استفاده کردند. همچنین برای روابط پیش‌نیازی تعمیم‌یافته بین فعالیت‌ها روش طارقیان و طاهری که در سال 2007 ارائه شده بود را بکاربردند. برای حل مدل با روش محدودیت اپسیلون کارا از نرم‌افزار LINGO13 استفاده کردند و برای حل با الگوریتم فراابتکاری آنرا با Visual basic6 در کامپیوتر کدنویسی کردند. کارایی مدل و الگوریتم‌ها را با حل مسأله‌های نمونه بررسی کردند و نتیجه، کارایی الگوریتم تکاملی فراابتکاری را نسبت به روش دقیق محدودیت اپسیلون کارا، نشان داد [1].

ژو و فنگ در سال 2014 مدلی با سه تابع هدف برای موازنه زمان، هزینه و کیفیت در محیط فازی و تصادفی در مسأله زمانبندی چندپروژه‌ای با منابع محدود و چند حالت اجرا برای فعالیت‌ها ارائه کردند. دو محدودیت با کران بالا برای زمان پایان

پروژه و هزینه کل آن در نظر گرفتند. پروژه‌ها به صورت موازی با هم اجرا می‌شد. از آنجا که استفاده از تئوری احتمالات در پروژه های بزرگ و پیچیده دشوار و پر هزینه بود و تئوری فازی هم از عهده اطلاعات مبهم و پیچیده پروژه بر نمی‌آمد، رویکرد هیبریدی (تصادفی - فازی) را در نظر گرفتند که در آن، روش hybrid-crisp با استفاده از اپراتور مقدار مورد انتظار، متغیرهای تصادفی و فازی از نوع مثلثی را به عدد حقیقی تبدیل می‌کرد. برای اختصاص دادن روش اجرا به فعالیت‌ها، از الگوریتم بهینه سازی ازدحام ذرات (PSO) به صورت ترکیبی و برای زمانبندی آنها از الگوریتم PSO مبتنی بر اولویت استفاده کردند و اسم این روش را CP-Based HPSO گذاشتند، که در نرم‌افزار MATLAB7 کدنویسی گردید. آنها با الگوریتم پیشنهادی خود و نیز با الگوریتم PSO مسأله نمونه شامل سه پروژه برای ساخت توربین روی رودخانه را حل کردند و نتایج کاهش زمان محاسبات، سرعت بالا، کارایی بالا و دقت بالای الگوریتم معرفی شده را نسبت الگوریتم PSO استاندارد نشان داد [12].

خلیلی دامغانی و همکاران در سال 2015 مدلی برای موازنه زمان، هزینه و کیفیت در مسأله زمانبندی پروژه با منابع محدود و چند حالت اجرا برای فعالیت‌ها ارائه کردند. مدل سه هدفه، به صورت برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط با روابط تعمیم یافته پیشنهادی بین فعالیت‌ها فرمول‌نویسی گردید. برای حل مدل از چهار روش محدودیت اپسیلون کلاسیک، محدودیت اپسیلون کارا، بهینه‌سازی ازدحام ذرات چندهدفه خودانطباقی پویا و الگوریتم شمارش چندشروع جزئی محدود استفاده کردند. با شبیه‌سازی چند مسأله و حل آنها با چهار روش فوق عملکرد و کارایی روش‌ها با توجه به معیارهایی با یکدیگر مقایسه گردید. برای الگوریتم PSO ارائه شده آزمایشاتی برای سنجش کارایی آن انجام شد که نتایج بهتر بودن روش بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه خودانطباقی پویا را نسبت به سه روش دیگر نشان داد. همچنین تحلیل حساسیتی بر روی الگوریتم PSO پیشنهادی نیز انجام شد تا تأثیر تغییر پارامترهای آن روی مدت زمان حل مسائل توسط کامپیوتر بررسی گردد. آنها مسأله‌های نمونه را با نرم‌افزار RaGen که توسط دمیولمیستر در سال 2003 ارائه شده بود، تولید کردند و برای تخصیص روابط پیشنهادی تعمیم یافته و حالت‌های اجرای فعالیت‌ها از روش ارائه شده توسط طارقیان و طاهری در سال 2007 استفاده کردند. روش محدودیت اپسیلون کلاسیک در نرم‌افزار LINGO13 و محدودیت اپسیلون کارا با زبان Visual Basic6 در نرم افزار Excel و روش‌های PSO و الگوریتم شمارش چندشروع جزئی در نرم‌افزار متلب کدنویسی شدند [13].

جباسیلی و همکاران در سال 2015 مدلی برای موازنه زمان، هزینه و کیفیت در مسأله زمانبندی پروژه ارائه کردند. مدل به صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فازی بود که در آن پارامتر زمان و هزینه با اعداد فازی ذوزنقه‌ای نشان داده می‌شد. تابع هدف به صورت مینیمم کردن هزینه و زمان بوسیله محدودیتی با کران بالا و کیفیت با محدودیتی با کران پایین فرموله شده بودند. مدل فازی ارائه شده به سه مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط قطعی، بوسیله روشی که ارائه دادند تجزیه شد و در نرم‌افزار LINGO آنرا کدنویسی کردند و با استفاده از مسأله نمونه‌ای که قبلاً توسط جانسون و همکاران در سال 2006 ارائه شده بود عملکرد مدل بررسی گردید. آنها استفاده از مدل را برای شبکه‌های پیچیده با تعداد فعالیت زیاد پیشنهاد کردند [3].

صنوبرحسین و همکاران در سال 2016 برای موازنه زمان و هزینه در مسأله زمانبندی پروژه در محیط فازی مدلی به صورت برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی (MOFLP) ارائه کردند. مدل دارای سه تابع هدف بود که به صورت همزمان هزینه های کل پروژه، هزینه فشردگی و زمان تکمیل پروژه را با توجه به داده‌های فازی و سطح رضایت تصمیم‌گیران پروژه مینیمم می‌کرد. از روش اپراتور مینیمم برای تعیین تابع عضویت مناسب استفاده کردند. سپس با توجه به نتایج بدست‌آمده از اپراتور مینیمم، روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)، براساس میانگین وزنی را برای جستجوی جوابی با کارایی بالا بکار بردند. در واقع جواب بدست‌آمده از اپراتور مینیمم بوسیله روش اپراتور متوسط وزن‌دار بهبود داده می‌شد و چون اهمیت توابع هدف مدل برای تصمیم‌گیران یکسان نبود وزن‌دهی به توابع هدف از طریق روش تحلیل سلسله‌مراتبی انجام می‌گرفت. روش تحلیل سلسله مراتبی به تصمیم‌گیران کمک می‌کرد تا بهترین جواب را از بین چند گزینه با توجه به معیارهای مختلف انتخاب کنند. انعطاف‌پذیری مدل آنها، در توانایی برای شناسایی کردن جواب بهینه با توجه به فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی بود. روش پیشنهادی به تصمیم‌گیران کمک می‌کرد تا جواب مطلوب را برای مسأله موازنه زمان و هزینه در یک زمان محدود و در سطوح

ریسک مختلف انتخاب کنند. آنها با استفاده از داده‌های یک شرکت صنعتی که مطالعه موردی را انجام داده بود کارایی عملکرد مدل را بررسی کردند. مدل در نرم‌افزار LINGO کدنویسی و اجرا گردید. ابتدا مسأله نمونه را درحالتی که فقط از روش اپراتور مینیم (بدون استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی) و سپس درحالتی که از اپراتور مینیم به همراه روش تحلیل سلسله‌مراتبی (براساس میانگین وزنی) استفاده شده بود حل و جواب‌ها را با هم مقایسه کردند. آنها ضمن مشخص کردن کاربردهای حالت اول برای تصمیم‌گیران، برای جبران معایب آن نتیجه گرفتند زمانیکه از هر دو روش با هم در مدل استفاده شود (حالت دوم) جواب‌های کارا و مطلوب‌تری بدست می‌آید [14].

کزاز و همکاران در سال 2016 به مرور ادبیات در زمینه موازنه زمان، هزینه و کیفیت در مسائل زمانبندی پروژه پرداختند. آنها مشاهده کردند باوجوداینکه در مدل‌های مختلف موازنه برای استفاده از منابع آترناتیوهای تعیین شده بود اما در پژوهش‌های گذشته برای مصالح ساخت جایگزین هنگام استفاده از منابع و همچنین در زمینه تأثیر مصالح ساخت در زمان، هزینه و کیفیت فعالیت‌های پروژه و در نتیجه بر روی خود پروژه توجه کمی صورت گرفته است. به همین دلیل یک متدولوژی دو مرحله‌ای برطرف کردن معایب روش‌های برنامه زمانبندی که در پژوهش‌های گذشته انجام شده بود را معرفی کردند. در اولین مرحله، تأثیر مصالح ساخت بر روی زمان و هزینه با شاخص‌های تخمینی کیفیت پروژه با توجه به سبک و شیوه و ساختار کارکنان پروژه باید مقایسه می‌شد. در واقع در انتهای مرحله اول با توجه به مصالح ساخت، کیفیت مورد انتظار پروژه تعیین می‌گردید. مرحله دوم فقط زمانی شروع می‌شد که واحد برنامه‌ریزی بخواهد برخی تغییرات را بر روی زمان و هزینه در برنامه زمانی بهینه که از مرحله قبل بدست آمده بود اعمال کند. در این حالت فقط زمان و هزینه پروژه باید به صورت همزمان با توجه به آترناتیوی که برای سبک و شیوه و ساختار کارکنان هر فعالیت در نظر گرفته شده بود، بهینه می‌شدند. در واقع مرحله دوم موازنه بین زمان و هزینه بود. آنها این متدولوژی را برای پروژه‌های ساختمانی که دارای تنوع زیادی در مصالح ساخت مصرفی هستند، توصیه کردند [15].

هی و همکاران در سال 2017 مدلی برای موازنه زمان و هزینه گسسته در مسأله زمانبندی پروژه با چند حالت اجرا برای فعالیت‌ها ارائه کردند. تابع هدف به صورت مینیم کردن ماکزیم مقدار اختلاف جمعی جریان نقدینگی ورودی و جریان نقدینگی خروجی پیمانکار در طول مدت زمان اجرای پروژه بود. همچنین برای زمان اتمام پروژه محدودیتی با کران بالا در نظر گرفتند. برای حل مدل از الگوریتم‌های جستجوی همسایگی متغیر (VNS)، الگوریتم جستجوی ممنوع (TS) و الگوریتم ترکیبی (VNS-TS) استفاده کردند. الگوریتم‌ها با زبان Visual Basic6 کدنویسی شدند. برای ارزیابی عملکرد الگوریتم‌ها و مدل از تعدادی مسأله نمونه که بوسیله نرم‌افزار ProGen تولید شده بود، استفاده کردند. نتایج حل عملکرد بهتر الگوریتم ترکیبی (VNS-TS) را نسبت به دو الگوریتم دیگر نشان داد [16].

خلاصه ای از پژوهش‌هایی که در این بخش بررسی گردید، در جدول شماره یک آورده شده است.

جدول 1: مشخصات مقالات استفاده شده در پژوهش

ردیف	مؤلف	سال	موضوع مقاله	روش حل	نرم‌افزار و برنامه حل مسأله	مسأله نمونه
1	Feng et al.	1997	موازنه زمان و هزینه	الگوریتم ژنتیک	برنامه نویسی در Excel	مسأله پروژه ساخت بزرگراه که توسط مولفان ارائه شد

⁴ Alternative Crew Formation and Crew Policy

ردیف	مؤلف	سال	موضوع مقاله	روش حل	نرم افزار و برنامه حل مسأله	مسأله نمونه
2	Sprecher et al.	1997	موازنه زمان و هزینه	الگوریتم شاخه و کران تعمیم یافته جدید	Borland C	نرم افزار ProGen
3	Khang and Myint	1999	موازنه زمان، هزینه و کیفیت	برنامه ریزی ریاضی (حل دقیق)	LINGO	مطالعه موردی ساخت کارخانه سیمان
4	Feng et al.	2000	موازنه زمان و هزینه تصادفی	ترکیب روش های شبیه سازی و الگوریتم ژنتیک	نرم افزار شبیه سازی داده ها و برنامه نویسی الگوریتم با زبان C	مسأله ارائه شده توسط مولفان در سال 1995
5	Zheng et al.	2004	موازنه زمان و هزینه	الگوریتم ژنتیک بهبود داده شده با رویکرد وزن دهی انطباقی و الگوریتم ژنتیک معمولی	-	مسأله ارائه شده توسط فننگ و همکاران در سال 1995
6	Afshar et al.	2007	موازنه زمان، هزینه و کیفیت	الگوریتم جدید چندهدفه کلونی مورچه	-	مسأله ارائه شده توسط فننگ و همکاران در سال 1995
7	Xiong and Kuang	2008	موازنه زمان و هزینه	الگوریتم کلونی مورچه چندهدفه	-	مسأله نمونه فننگ در 1997 و مسأله ارائه شده زنگ در 2004
8	Mungle et al.	2013	موازنه زمان، هزینه و کیفیت	الگوریتم ژنتیک مبتنی بر خوشه بندی فازی الگوریتم ژنتیک چندهدفه الگوریتم ازدحام ذرات چندهدفه الگوریتم تکاملی پارتو روش تحلیل سلسله مراتبی AHP	MATLAB 7.8	مسأله نمونه فننگ 1997 و همچنین مسأله نمونه که توسط مولفین ایجاد شد
9	Ebrahimnezhad et al.	2013	موازنه زمان، هزینه و کیفیت فازی	الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب (NSGA II)	MATLAB	مطالعه موردی در صنعت نفت
10	Tavana et al.	2014	موازنه زمان، هزینه و کیفیت	روش محدودیت اپسیلون (حل دقیق) و الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب (NSGA II)	LINGO 13 و برنامه نویسی با Visual Basic6	نرم افزار RaGen

ردیف	مؤلف	سال	موضوع مقاله	روش حل	نرم افزار و برنامه حل مسأله	مسأله نمونه
11	Xu and Feng	2014	موازنه زمان، هزینه و کیفیت فازی-تصادفی	الگوریتم ازدحام ذرات PSO و CP-Based HPSO	MATLAB 7	مطالعه موردی ساخت توربین برای سد
12	Jebaseeli and Dhayabaran	2015	موازنه زمان، هزینه و کیفیت فازی	برنامه ریزی ریاضی (حل دقیق)	LINGO	مسأله ارائه شده توسط جانسون در سال 2006
13	Khalili Damghani et al	2015	موازنه زمان، هزینه و کیفیت	محدودیت اپسیلون کلاسیک محدودیت اپسیلون کارا بهینه سازی ازدحام ذرات چندهدفه خودانطباقی پویا الگوریتم شمارش چندشروع جزئی محدود	LINGO 13 Visual Basic6 Excel در	نرم افزار RaGen
14	Hossain et al.	2016	موازنه زمان و هزینه فازی	تحلیل سلسله مراتبی روش برنامه ریزی ریاضی (حل دقیق)	LINGO	مطالعه موردی شرکت صنعتی
15	Kazaz et al.	2016	موازنه زمان، هزینه و کیفیت	-	-	-
16	Z. He et al.	2017	موازنه زمان و هزینه	الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر (VNS) الگوریتم جستجوی ممنوع (TS) الگوریتم ترکیبی (VNS-TS)	Visual Basic 6	ProGen

4- بحث درباره نتایج

1-4 رویکرد یک هدفه و چندهدفه

مسأله های موازنه در سه حالت زیر مدل سازی شده بودند: 1- مدل با یک تابع هدف: در این حالت یکی از عوامل زمان، هزینه و یا کیفیت در تابع هدف بود و دو عامل دیگر به صورت محدودیت کراندار به محدودیت های مدل اضافه می شد. 2- مدل با دو تابع هدف مجزا: در این شرایط دو تا از سه عامل به صورت دو تابع هدف جدا از هم در مدل بودند و عامل سوم به صورت محدودیت تعریف می شد. 3- مدل با سه تابع هدف مجزا: در این وضعیت هر سه عامل به صورت سه تابع هدف جداگانه در مسأله تعریف می شدند. البته در هریک از سه حالت ذکر شده در بالا برخی از پژوهشگران محدودیتی کراندار را برای مقدار تابع هدف به محدودیت های مسأله اضافه کرده بودند.

2-4 موازنه چند پروژه با هم

هنگامیکه مدیر پروژه با یک پروژه با اندازه بزرگ مواجه باشد و بخواهد برای برنامه ریزی، اجرا و کنترل بهتر آن، پروژه را به چند پروژه کوچکتر تبدیل کند و آنها را با هم با توجه به منابع مشترک و محدود در دسترس مدیریت نماید می تواند برای برنامه زمانبندی پروژه و ایجاد توازن بین زمان، هزینه و کیفیت آن از روش موازنه چندپروژه با هم استفاده کند. در بین مقالات گردآوری شده در تعداد کمی از پژوهش ها به موضوع موازنه چندپروژه با هم پرداخته شده بود.

4-3 عدم قطعیت پارامترهای مدل

در پروژه‌ها به دلیل عوامل پیش‌بینی نشده‌ای مانند تغییرات شرایط جوی، عدم کارایی کارکنان، شرایط مربوط به تامین مصالح، مشکلات هماهنگی بین ذینفعان، تغییرات بازار، مشکلات ناشی از تجهیزات، نوع تکنولوژی ساخت و... موجب می‌شود محیط حاکم بر پروژه به صورت غیرقطعی باشد. در این حالت برخی پژوهشگران تعدادی از پارامترهای مسأله موازنه را به صورت غیرقطعی از نوع فازی، تصادفی و یا هیبریدی (فازی-تصادفی) در نظر گرفته بودند تا شرایط حاکم بر مدل و جواب‌های آن مشابه آنچه که در واقعیت رخ می‌دهد، باشد. به دلیل اینکه استفاده از تئوری احتمالات در پروژه‌های بزرگ و پیچیده دشوار و پرهزینه است و تئوری فازی هم از عهده اطلاعات مبهم و پیچیده پروژه بر نمی‌آید، رویکرد هیبریدی (فازی-تصادفی) توسط برخی محققین برای پروژه‌های با مقیاس بزرگ در نظر گرفته شد. با این وجود در بیشتر پژوهش‌هایی که در حوزه موازنه در برنامه زمانبندی پروژه از سال 1997 تاکنون انجام شده، شرایط حاکم بر پروژه و پارامترهای آن به صورت قطعی فرض شده است.

4-4 روش‌های حل مدل

بیشتر روش‌هایی که برای حل مدل‌ها تا اواسط دهه نود میلادی استفاده می‌شد، به صورت برنامه‌ریزی ریاضی (روش‌های دقیق) و روش‌های ابتکاری (روش‌های تقریبی) بود. روش‌های دقیق اگرچه جواب‌های بهینه را ارائه می‌کردند اما برای حل مسائل متوسط و بزرگ بعلت زیاد بودن محاسبات آنها و زمان طولانی رسیدن به جواب، مناسب نبودند ولی کارایی خوبی برای مسأله‌های کوچک داشتند. به همین دلیل روش‌های ابتکاری برای حل مسأله‌های متوسط و بزرگ بکار گرفته شد. این روش‌ها رسیدن به جواب بهینه را تضمین نمی‌کردند اما جوابی مناسب نزدیک به جواب بهینه را ارائه می‌دادند. در سال 1997 فنگ و همکاران برای اولین بار از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مسأله موازنه زمان و هزینه استفاده کردند. این روش، زمان حل کمتر و جواب‌های با دقت بیشتری را نسبت به روش‌های ابتکاری ارائه می‌کرد. بعد از آن بتدریج الگوریتم‌های فراابتکاری مختلفی برای حل مسائل موازنه توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفت. با این وجود، در پژوهش‌های اخیر هنوز برای دست‌یافتن به جواب بهینه از روش‌های حل دقیق استفاده می‌شود.

4-5 مسأله‌های نمونه برای ارزیابی عملکرد مدل

پژوهشگران موضوع موازنه برای ارزیابی عملکرد مدل و الگوریتم‌های خود باید آنها را بوسیله مسأله‌های نمونه حل می‌کردند. یکی از مشکلات مهمی که در پژوهش‌های انجام شده وجود داشت، کمبود مسأله نمونه مناسب برای ارزیابی مدل‌های طراحی شده توسط محققان بود. این وضعیت برای مسأله‌های مربوط به موازنه چندپروژه به صورت همزمان، مدل‌های پارامترهای غیرقطعی از نوع فازی، تصادفی و هیبریدی، مدل‌هایی که کیفیت فعالیت‌های پروژه را در مسأله در نظر گرفته بودند، مدل‌هایی که موازنه سه تابع هدف زمان، هزینه و کیفیت را به صورت مجزا فرموله کرده بودند، چشمگیرتر بود. در ادامه به تعدادی از روش‌هایی که برای تهیه مسأله‌های نمونه بکار گرفته شده بود اشاره می‌شود. 1- مثال‌های نمونه‌ای که توسط نویسندگان مقاله ساخته می‌شد. 2- مطالعه موردی در پروژه‌هایی که در شرایط واقعی انجام شده بودند. 3- مسأله‌های نمونه‌ای که در بخش پایگاه داده کتابخانه سایت‌های معتبر در زمینه برنامه‌ریزی پروژه با منابع محدود، برای استفاده محققین بارگذاری شده بود. 4- استفاده از نرم‌افزارهای تولید مسأله زمانبندی پروژه مانند ProGen و RaGen که در سایت‌های معتبر ارائه شده بود. 5- بکاربردن مسأله نمونه مربوط به پژوهشگر دیگری که قبلاً در مقاله خود برای اولین بار از آن استفاده کرده بود.

4-6 ارزیابی مدل‌ها

پژوهشگران، مدل‌ها را با زبان‌های برنامه‌نویسی مختلف و با استفاده از برخی نرم‌افزارها کدنویسی می‌کردند و از طریق تحلیل نتایج حاصل از حل مسأله‌های نمونه، کارایی مدل‌ها ارزیابی می‌شد. همچنین گاهی برای ارزیابی الگوریتم‌ها، مدل را با چند الگوریتم دیگر حل و نتایج را با هم مقایسه می‌کردند.

5- نتیجه گیری

پروژه از تعدادی فعالیت تشکیل شده که باید با ترتیبی مشخص برای تامین هدف یا اهدافی معین در چارچوب برنامه زمانی، بودجه ازپیش تعیین شده و با کیفیتی مناسب اجرا گردد. برنامه زمانبندی پروژه متعلق به گروه فرایندی برنامه ریزی مدیریت پروژه در حوزه دانش مدیریت زمان پروژه است که بوسیله آن ترتیب انجام فعالیت های پروژه و زمان شروع و اتمام آنها با توجه به محدودیت های موجود در پروژه مشخص می شود. هدف اصلی مدیریت پروژه اتمام پروژه با زمان، هزینه و کیفیتی مناسب مطابق با اهداف پروژه است. پروژه ای موفق است که با کمترین زمان و هزینه و بیشترین کیفیت ممکن براساس آنچه که در تعریف محدوده پروژه آمده است به پایان برسد. هدف از مسأله موازنه، تعیین مقدار بهینه زمان، هزینه و کیفیتی است که باید به فعالیت ها تخصیص داده شود تا هزینه کل و مدت زمان تکمیل پروژه مینیمم و کیفیت آن حداکثر شود و بدین صورت توازن بین زمان تکمیل و هزینه کل پروژه و کیفیت ایجاد گردد. در این پژوهش با استخراج تعدادی مقاله مرتبط با موضوع موازنه در برنامه ریزی پروژه و با انتخاب شانزده مقاله از بین آنها، مسأله موازنه در دو دهه اخیر مورد بررسی قرار گرفت. هدف بیان اهمیت تکنیک موازنه، بررسی روش های مدل سازی مسأله ها و الگوریتم حل آنها در مدت بیست سال اخیر در برنامه ریزی پروژه بود. مدل هایی که توسط پژوهشگران برای فرموله کردن مسائل ارائه شده بود به صورت تک هدفه یا چندهدفه بودند. در دو دهه اخیر گسترش روش قراردادهای جدید برای اجرای پروژه ها باعث شد پیمانکاران به افزایش کیفیت در فعالیت های پروژه بیشتر از قبل توجه کنند. لذا در سال 1996 برای اولین بار عامل کیفیت به مسائل موازنه اضافه گردید. همچنین باتوجه به پیشرفتهایی که در سال های اخیر در روش های اجرا، تکنولوژی های مورد استفاده، خصوصیات مصالح، تجهیزات و کارایی نیروی انسانی و... صورت گرفت، برخی از پژوهشگران برای هر فعالیت پروژه چند حالت اجرا را تعریف می کردند که هدف از این کار انتخاب بهترین حالت اجرا برای هر یک از فعالیت های پروژه با هدف بهینه ساختن رابطه بین هزینه، زمان و کیفیت پروژه بود. برخی از پارامترها و متغیرهای مسائل به صورت قطعی و یا غیرقطعی باتوجه شرایط حاکم بر محیط پروژه و یا نظر نویسندگان مقالات فرض شده بود. از آنجاکه معمولا شرایط حاکم بر پروژه های غیر قابل پیش بینی می باشد در نظر گرفتن شرایط غیرقطعی باعث می شد نتایج حل مسائل با آنچه که در واقعیت رخ می دهد نزدیکتر باشد. باتوجه به جدول شماره یک دیده می شود که در سال های اخیر مدل سازی در شرایط عدم قطعیت اهمیت بیشتری پیدا کرده است که فرض فازی بودن، بیشترین کاربرد را در فرموله کردن مسائل داشته است. برای ارزیابی عملکرد مدل ها از مسأله های نمونه استفاده می شد. همانطور که در جدول شماره یک نشان داده شده است، یکی از مشکلاتی که پیش رو محققان حوزه موازنه وجود دارد کمبود مسأله های نمونه برای ارزیابی مدل های مختلف ساخته شده است. برای حل مسائل پژوهشگران از روش های حل دقیق، تقریبی و گاهی از هر دو روش استفاده می کردند. نتایج پژوهش ها عملکرد مناسب روش های تقریبی را در سرعت بالا و زمان کم برای رسیدن به جوابی نزدیک به جواب بهینه و عملکرد خوب روش های دقیق را در رسیدن به جواب بهینه (علی رغم پیچیدگی محاسبات و زمان زیاد برای حل مدل) نشان می داد.

1-5 پیشنهادات

برای بهبود کارایی مدل های موازنه زمان، هزینه و کیفیت موارد زیر برای پژوهش های آینده توصیه می شود:

- 1- باتوجه به اینکه شرایط واقعی حاکم بر پروژه ها به صورت غیرقطعی می باشد پیشنهاد می شود علاوه بر فرض فازی بودن محیط، فرضیات دیگر محیط غیرقطعی هم در مدل سازی ها بکار برده شود.
- 2- رویکرد مدل سازی به صورت چند تابع هدف مجزا نسبت به رویکرد تک هدفه به دلیل اینکه عوامل زمان، هزینه و کیفیت راجداگانه ولی همزمان بهینه می کند، نسبت به حالت تک هدفه ارجحیت بیشتری دارد. لذا باتوجه به پیشرفتهایی که در سال های اخیر، در زمینه مدل سازی مسأله های برنامه ریزی پروژه و در ساخت نرم افزار برای حل مدل های ریاضی صورت گرفته است توصیه می شود که از رویکرد چندهدفه بیشتر در مدل سازی استفاده شود.
- 3- در مدل های چندهدفه مجزا بهتر است از الگوریتم های فراابتکاری از نوع چندهدفه استفاده شود.

4- مشکل فراهم کردن مسأله‌های نمونه مناسب برای ارزیابی عملکرد مدل‌ها می‌تواند بوسیله طراحی نرم‌افزارهای جدید و توسعه یا ایجاد پایگاه‌های داده (که در اینترنت در دسترس قرار داده شوند) با همکاری پژوهشگران و برنامه‌نویسان آشنا با مدیریت و برنامه‌ریزی پروژه، برطرف شود.

مراجع

- [1] Tavana M, Abtahi A-R, Khalili-Damghani K. A new multi-objective multi-mode model for solving preemptive time–cost–quality trade-off project scheduling problems. *Expert Systems with Applications*; 41(4): 1830-1846, 2014.
- [2] Sprecher A, Hartmann S, Drexl A. An exact algorithm for project scheduling with multiple modes. *OR spectrum*; 19(3): 195-203, 1997.
- [3] Jebaseeli M E, Dhayabaran D P. Integer Programming Model for Fuzzy Time Cost and Quality Trade off Problem. 4(3), 2015.
- [4] Ebrahimnezhad S, Ahmadi V, Javanshir H. Time-Cost-Quality Trade-off in a CPM1 Network Using Fuzzy Logic and Genetic Algorithm. *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*; 24(3): 361-376, 2013.
- [5] Khang D B, Myint Y M. Time, cost and quality trade-off in project management: a case study. *International Journal of Project Management*; 17(4): 249-256, 1999.
- [6] Feng C, Liu L, Burns S. Using genetic algorithms to solve construction time-cost trade-off problems. *J Comput Civ Eng*; 11: 184, 1997.
- [7] Feng C-W, Liu L, Burns S A. Stochastic Construction Time-Cost Trade-Off Analysis. *Journal of computing in civil engineering*; 14(2): 117-126, 2000.
- [8] Zheng D X M, Ng S T, Kumaraswamy M M. Applying a Genetic Algorithm-Based Multiobjective Approach for Time-Cost Optimization. *Journal of construction engineering and management*; 130(2): 168-176, 2004.
- [9] Afshar A, Kaveh A, Shoghli O. Multi-objective optimization of time-cost-quality using multi-colony ant algorithm. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)*; 8(2): 113-124, 2007.
- [10] Xiong Y, Kuang Y. Applying an Ant Colony Optimization Algorithm-Based Multiobjective Approach for Time-Cost Trade-Off. *Journal of construction engineering and management*; 134(2): 153-156, 2008.
- [11] Mungle S, Benyoucef L, Son Y-J, Tiwari M. A fuzzy clustering-based genetic algorithm approach for time–cost–quality trade-off problems: A case study of highway construction project. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*; 26(8): 1953-1966, 2013.
- [12] Xu J, Feng C. Multimode resource-constrained multiple project scheduling problem under fuzzy random environment and its application to a large scale hydropower construction project. *The Scientific World Journal*; 2014: 20, 2014.
- [13] Khalili-Damghani K, Tavana M, Abtahi A-R, Santos Arteaga F J. Solving multi-mode time–cost–quality trade-off problems under generalized precedence relations. *Optimization Methods and Software*; 30(5): 965-1001, 2015.
- [14] Hossain M S, Mahmud S, Hossain M M. Fuzzy Multi-Objective Linear Programming for Project Management Decision under Uncertain Environment with AHP Based Weighted Average Method. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*; 9(20): 53-60, 2016.
- [15] Kazaz A, Ulubeyli S, Er B, Acikara T. Construction Materials-based Methodology for Time-Cost-quality Trade-off Problems. *Procedia engineering*; 164: 35-41, 2016.
- [16] He Z, He H, Liu R, Wang N. Variable neighbourhood search and tabu search for a discrete time/cost trade-off problem to minimize the maximal cash flow gap. *Computers & Operations Research*; 78: 564-577, 2017.