

بررسی تحلیلی پیرامون مسئله مدیریت پروژه در حالت‌های تک پروژه ای و چند پروژه ای تحت شرایط عدم قطعیت

الهام نبی پور افروزی^۱، عبدالله آقایی^۲

^۱ دانشجوی دکترا مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران؛ enabipoorafrozi@mail.kntu.ac.ir
^۲ استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران؛ aaghaie@kntu.ac.ir

چکیده

دنیای صنعت امروزی پیچیده بوده و نیازمند تصمیمات سریع و تخصیص بهینه منابع محدود می باشد. با توجه به جایگاه مدیریت پروژه در دنیای امروزی و حجم روز افزون پروژه های در دست اجرا، مسئله مدیریت چند پروژه ای یک ضرورت محسوب می شود که از لحاظ ماهیت بسیار پیچیده تر از زمان بندی مسئله تک پروژه ای بوده و لذا سرمایه گذاری کلانی را از لحاظ زمانی و هزینه ای می طلبد. با توجه به اینکه، تغییر جزء جدایی ناپذیر مسائل دنیای واقعی می باشد؛ بنابراین می باید متناسب با ماهیت مسئله مدیریت پروژه، به دنبال رویکردی مناسب جهت لحاظ نمودن عدم قطعیت در ساختار مدل بندی این مسئله بود تا نتایج حاصل از آن برای بهره گیری در مسئله دنیای واقعی، کاربرپذیر باشد. این مقاله، به بررسی و دسته بندی اهم تحقیقات صورت گرفته در زمینه مسئله زمان بندی پروژه در شرایط عدم قطعیت می پردازد و در نهایت با توجه به روند تحقیقات، ماهیت منحصر به فرد پروژه و تمایل به اتخاذ رویکردی محافظه کارانه که مسئله مدیریت پروژه را در برابر عدم قطعیت مصون نگه دارد، رویکرد بهینه سازی استوار را برای این مسئله توصیه می کند.

کلمات کلیدی

مسئله زمان بندی پروژه؛ شرایط عدم قطعیت؛ بهینه سازی استوار؛ بهینه سازی تصادفی؛ بهینه سازی فازی.

Analytical Investigation of project management problem including single project and multi-project under uncertainty situation

Elham Nabipoor Afrozi, Abdollah Aghaie
K.N.Toosi University of technology, Tehran, Iran

ABSTRACT

Nowadays industrial activities are complex and need rapid decision making with optimized resource dedication. With respect to the increasing number of projects and the great role of project management, the multi project management which is more complex than the single project management problem, should be considered as a necessity in industries and need huge investment of time and cost. According to the fact that variation is the inherent characteristic of the real word problems, so an appropriate approach should be selected to include uncertainty in the model structure. This paper investigates the studies in project management under uncertainty situation and finally based on the trend of the researches and the unique characteristic of the project, we recommend a conservative approach, the robust optimization approach, that immunize the problem against uncertainty.

KEYWORDS

Project scheduling problem, uncertainty situations, robust optimization, stochastic optimization, fuzzy optimization.



۱- مقدمه

گیرد. کوچکترین تاخیر در زمان شروع یک فعالیت و یا کوچکترین افزایش در مدت زمان انجام یک فعالیت، برای مثال می تواند منجر به یک افزایش ناگهانی در مدت زمان انجام کل پروژه شود. بنابراین واضح است زمان بندی پایه ای که قبل از فاز اجرا بهینه فرض می شد، انعطاف پذیری کافی را برای سر و کار داشتن با وقایع غیر منتظره نداشته باشد و به عبارت دیگر "استوار" نباشد.

در حالیکه ادبیات موضوع گسترده ای در زمینه مسئله زمان بندی پروژه قطعی وجود دارد، مطالعات خیلی اندکی وجود دارد که با عدم قطعیت داده ها سرو کار داشته باشد. با این وجود پیچیدگی پروژه های مدرن، توسعه راه حل هایی که با عدم قطعیت در داده های کلیدی همانند مدت زمان فعالیت ها سر و کار دارد، را لازم می داند [۳].

۳- رویکردهای مقابله با عدم قطعیت در مسائل مدیریت پروژه

یکی از کاملترین مراجع در این زمینه، تحقیق هرونلین و لئوس [۴] می باشد که رویکردهای پایه ای برای زمان بندی پروژه تحت شرایط عدم قطعیت را در شش دسته مورد بررسی قرار داده است: زمان بندی واکنشی، زمان بندی پروژه تصادفی، زمان بندی شبکه گرت تصادفی، زمان بندی پروژه فازی، زمان بندی (فعالانه) استوار و تحلیل حساسیت. سپس پتانسیل های این رویکردها برای زمان بندی پروژه ها تحت شرایط عدم قطعیت مورد بحث قرار گرفته است.

اولین مورد، زمان بندی واکنشی سعی در هماهنگی با عدم قطعیت هنگام ایجاد برنامه زمان بندی پایه ای ندارد بلکه برنامه زمان بندی پایه ای را در حین اجرای پروژه زمانیکه یک اتفاق غیر منتظره رخ می دهد، مورد بازنگری و بهینه سازی مجدد قرار می دهد.

در زمان بندی پروژه تصادفی، یک زمان بندی پایه ای ایجاد نمی گردد بلکه مسئله زمان بندی پروژه ها را تحت روابط پیش نیازی و محدودیت منابع به عنوان یک فرایند تصمیم گیری چند مرحله ای در نظر می گیرد و از سیاست ها و استراتژی های زمان بندی ای بهره می برد که تصمیمات زمان بندی را به طور پویا در نقاط تصمیم گیری تصادفی زمانی t برپایه مشاهدات گذشته و یک دانش قبلی از توابع توزیع زمان انجام فعالیتها اتخاذ می نماید و تعیین می کند که کدام فعالیت ها در نقاط زمانی تصمیم گیری تصادفی می باید آغاز شوند. رایج ترین هدف در نظر گرفته شده در ادبیات موضوع اتخاذ سیاستی است که مدت زمان انتظاری کل پروژه را کمینه نماید.

زمان بندی شبکه گرت تصادفی به علت سر و کار داشتن پروژه ها با ساختار تصادفی معرفی شده است که در آن هر فعالیت با احتمالی امکان رخداد دارد و مدت زمان انجام هر فعالیت نیز از تابع توزیع تصادفی مشخصی پیروی می کند. تحلیل شبکه های گرت به طور گسترده ای مورد مطالعه قرار گرفته است. با این وجود مسئله تحت

یکی از پرکاربردترین حوزه های مطرح در زمینه مهندسی صنایع، مدیریت پروژه می باشد. طبق تعریف PMBOK [۱] پروژه عبارت است "از مجموعه فعالیتهای موقتی برای تحقق یک تعهد، ایجاد یک محصول یا ارائه خدمات مشخص". امروزه مدیریت پروژه نقش مهمی در موفقیت هرچه بهتر سازمانها دارد. مدیریت پروژه طبق تعریف عبارت است از "به کارگیری دانش، مهارت ها، ابزارها و تکنیک ها برای فعالیتهای پروژه به منظور تحقق الزامات پروژه. مدیریت پروژه با استفاده از فرایندهایی همچون فرایندهای آغازین، برنامه ریزی، اجرایی، کنترلی و اختتامی انجام می پذیرد" [۱].

در اکثر کارهای تحقیقاتی صورت گرفته در زمینه زمان بندی پروژه فرض می شود که اطلاعات کاملی از مسئله زمان بندی در اختیار است و یک محیط قطعی ایستا وجود دارد که در آن یک زمان بندی مبنای از پیش محاسبه شده اجرا خواهد شد. با این وجود در دنیای واقعی، فعالیتهای پروژه در معرض عدم قطعیت قابل ملاحظه ای قرار دارند که به طور تدریجی در حین اجرای پروژه مورد تصمیم گیری قرار می گیرند.

۲- لزوم بررسی عدم قطعیت در مسائل مدیریت پروژه

در حین اجرای پروژه، فعالیتهای در معرض عدم قطعیت قابل ملاحظه ای هستند که ممکن است منجر به توقفات متعدد در زمان بندی شود. این عدم قطعیت ممکن است از عوامل متعددی ناشی شود: فعالیتهای ممکن است بیشتر یا کمتر از مقدار تخمین زده شده طول بکشند، منابع ممکن است در دسترس نباشند، مواد اولیه ممکن است طبق زمان بندی نرسند، زمان های آماده سازی و موعدهای مقرر ممکن است مجبور به تغییر شوند، فعالیتهای جدیدی ممکن است تعریف شوند و یا فعالیت هایی به علت تغییر محدوده پروژه حذف گردند، شرایط آب و هوایی ممکن است منجر به تاخیرهای فراوانی شود و غیره. زمان بندی که دچار اختلال شده است، به علت از دست رفتن موعد های مقرر و مهلت های زمانی، بیکاری منابع، موجودی در حال کار بالاتر و درگیری افزایش یافته سیستم به خاطر زمان بندی مجدد مکرر، منجر به هزینه های بالاتری می شود. بنابراین معتبر بودن زمان بندی قطعی ایستا مورد سوال است و یا به شدت تحت انتقاد قرار می گیرد [۲].

عدم قطعیت در قلب مدیریت پروژه نهفته است. یک زمان بندی پایه ای که با توجه به توابع هدف بهینه می گردد، ممکن است در حین اجرا با توجه به اختلال های جدی و یا جزئی مورد آسیب و تغییر قرار

۴-۱- مسئله زمان بندی پروژه تحت شرایط عدم قطعیت تصادفی

تحت شرایط عدم قطعیت تصادفی، مطالعات بر پایه توابع توزیع احتمالی با پارامترهای معلوم می باشد. یکی از تحقیقات صورت گرفته در این زمینه، پژوهش آزر و توکلی مقدم [۸] می باشد که مسئله موازنه زمان- هزینه را در شبکه پرت پویا و در شرایطی مورد بررسی قرار دادند که مدت زمان فعالیت ها رفتار تابع توزیع نمایی را نشان می داد و پروژه ها با تابع توزیع پواسون وارد شبکه می شوند. در این تحقیق، یک زنجیره مارکوف برای محاسبه تابع توزیع احتمال زمان تکمیل پروژه و دستیابی به یک مدل موازنه چند هدفه ارائه شده است. همچنین برونی و همکاران [۹] مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع را در حالیکه مدت زمان فعالیتها غیر قطعی است اما از تابع توزیع معلومی پیروی می کند، مورد مطالعه قرار دادند و یک رویکرد ابتکاری جهت حل این مسئله پیشنهاد گردید. کلیریدس و هادجی کانستانتینیو [۱۰] مسئله موازنه زمان هزینه را در شرایطی بررسی کردند که زمان فعالیت ها متغیر تصادفی گسسته بوده و سپس یک رویکرد برنامه ریزی عدد صحیح تصادفی دو مرحله ای پیشنهاد دادند. ویسمان و همکاران [۱۱] مسئله زمان بندی پروژه را در شرایطی که مدت زمان فعالیت ها و جریانهای نقدی پروژه متغیر تصادفی گسسته باشند، مطالعه کردند و استراتژی زمان بندی را جهت دستیابی به بزرگترین ارزش خالص فعلی پروژه به کار بستند. ربانی و همکاران [۱۲] یک روش جدید برای زمان بندی پروژه با محدودیت منابع در شبکه های تصادفی پیشنهاد دادند که ادغامی از روش های جدید و سنتی مدیریت منابع می باشد. هدف مدل پیشنهادی در این تحقیق کمینه نمودن حاصل ضرب مدت زمان انتظاری پروژه در واریانس آن می باشد. فاطمی قمی و اشجری [۱۳] مسئله تخصیص منابع چند پروژه ای را به عنوان یک سیستم صف چند کاناله در نظر گرفتند. در این مقاله از زبان شبیه سازی عام منظوره جهت ایجاد مدل شبیه سازی استفاده شده است. سپس مثال عددی برای نمایش چگونگی عملکرد مدل ارائه شد و نتایج حاصل از آن ثبت گردید. مدل ارائه شده قابلیت به دست آوردن توابع توزیع زمان اتمام هر پروژه و منابع استفاده شده را دارد. گلوواکا [۱۴] با در نظر گرفتن مدت زمان انجام فعالیتها به صورت تصادفی، به بررسی عدم قطعیت موجود در پروژه ها پرداخته است. همچنین در قدم بعدی، مسئله موازنه زمان-هزینه در حالت تصادفی را با لحاظ نمودن جریمه هایی برای دیرکرد پروژه از موعد مقرر در نظر گرفت. همچنین گرین برگ و بنیر [۱۵] در مقاله خود از تابع توزیع بتا برای فعالیت های انسان - ماشین تحت شرایط اختلال های تصادفی بهره بردند. آزر و فاطمی قمی [۱۶] از برنامه ریزی پویای تصادفی برای یافتن حد پایین برای متوسط زمان اتمام پروژه در یک شبکه پرت بهره بردند. در این تحقیق مدت زمان انجام فعالیتها به

بررسی از لحاظ محاسباتی سنگین بوده و نیاز به تکنیک های شبیه سازی دارد. تقریباً تمامی مدلها فرض می کنند که منابع مورد استفاده ماشین آلات می باشند. مجدداً محدودیت ناشی از محاسبات سنگین، مانع استفاده کاربردی از رویکردهای تحلیلی می شود.

در زمان بندی پروژه فازی، تابع توزیع احتمال برای مدت زمان انجام فعالیت ها به علت فقدان داده های گذشته نامعلوم است. به علت اینکه مدت زمان فعالیت ها توسط نیروهای متخصص تخمین زده می شود، مدیریت پروژه اغلب با قضاوتهایی که مبهم و غیر دقیق هستند، مواجه می باشد. در این شرایط که بیشتر عدم دقت مطرح است تا عدم قطعیت، از اعداد فازی برای مدل کردن مدت زمان انجام فعالیت ها به جای متغیرهای تصادفی استفاده می شود. رویکرد زمان بندی پروژه فازی، استفاده از توابع توزیع احتمالی برای مدت زمان فعالیت را نمی پذیرد اما بر مبنای تابع عضویت عمل می کند که برای تعیین آن هم دشواری هایی وجود دارد.

هدف زمان بندی (فعالانه) استوار، ایجاد یک زمان بندی پایه ای است که اطلاعات پیرامون عدم قطعیت؛ به عنوان مثال اطلاعاتی راجع به تغییرات در مدت زمان انجام فعالیت ها را در نظر می گیرد. به بیانی دیگر، یک زمان بندی استوار در برابر وقایع غیر قطعی که در جریان اجرای پروژه رخ خواهند داد، مصون می باشد. اخیراً تکنیک های متعددی برای زمان بندی فعالانه (استوار) در تحقیقات مطرح شده اند. اکثر این تحقیقات در ادبیات موضوع زمان بندی کارگاهی می باشد [۵]. تعاریف متعددی برای استواری زمان بندی در ادبیات موضوع زمان بندی (کارگاهی) پدیدار شده است. دُون پورت و همکاران [۶] یک زمان بندی استوار را به عنوان "زمان بندی ای که توانایی جذب بعضی از وقایع غیر قابل انتظار را بدون زمان بندی مجدد دارد" توصیف می کند. جِنسن [۷] زمان بندی استوار را به عنوان یک "زمان بندی ای که اگر وقایع پیش بینی نشده رخ دهد، همچنان قابل قبول هست" وصف می نماید.

در آخر، تحقیق در زمینه آنالیز حساسیت در حوزه زمان بندی کارگاهی ظهور یافته است. این نیاز احساس می شود که تلاش هایی نیز جهت جستجوی جوابها در انواع مختلف سوالات "چه می شود اگر..." در فضای پروژه آغاز گردد، و به این طریق اطلاعات مفیدی به مدیریت پروژه داده شود.

۴-۲- مروری بر تحقیقات پیرامون عدم قطعیت در مدیریت پروژه

در این بخش به بررسی پیشینه تحقیقات صورت گرفته پیرامون عدم قطعیت در مدیریت پروژه پرداخته می شود و اهم تحقیقات صورت گرفته در هر یک از دسته بندی های مربوط به رویکردهای مواجهه با عدم قطعیت به طور مختصر ذکر می گردد.

صورت متغیر تصادفی با توزیع نمایی در نظر گرفته شده اند. تیباداً [۱۷] در پایان نامه دکترایش اشاره کرد که علی رغم اهمیت و تاثیر عدم قطعیت و ریسک در انجام موفق پروژه ها، پژوهش های اندکی در این زمینه صورت گرفته است. او از دو جنبه مختلف و دو راه حل مجزا به بررسی مسئله پرداخته است: یک مدل برنامه نویسی خطی تصادفی که به استراتژی کوتاه مدت اشاره می کند و یک مدل تابع مطلوبیت مقرر-محدب که جواب برنامه ریزی بلند مدت را فراهم می آورد. هر دو مدل با استفاده از داده های حاصل از دو دپارتمان پروژه های انرژی به طور تجربی اعتبارسنجی شده است. گولنکو - گینزبرگ و گونیک [۱۸] یک رویکرد ابتکاری برای *RCPSP* در شرایطی که مدت زمان انجام فعالیت ها تصادفی بوده و تابع هدف کمینه کردن مدت زمان انتظاری پروژه است، توسعه دادند. در سال ۱۹۹۸ نیز گینزبرگ و گونیک از یک رویکرد ابتکاری مشابه برای مسئله زمان بندی پروژه در شرایطی که مدت زمان انجام یک فعالیت متغیر تصادفی است و به مقدار منابع تخصیص داده شده به آن فعالیت بستگی دارد، بهره بردند. لی و وامر [۱۹] مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع را در شرایط عدم قطعیت تصادفی و با تابع هدف کمینه کردن مدت زمان پروژه مورد مطالعه قرار دادند. همچنین برای این دسته از مسائل زمان بندی تصادفی، الگوریتم های برنامه نویسی پویای تقریبی کارا و موثری توسعه داده شد. تسای و گمیل [۲۰] روش جستجوی ممنوعه را برای مسئله *RCPSP* چه در حالتی که مدت زمان فعالیت ها تصادفی باشد و چه در حالت قطعی، پیشنهاد نمودند. در حالت تصادفی، مدت زمان فعالیت ها از تابع توزیع بتا مستخرج می شدند. این نمونه گیری بارها تکرار می شد و در نهایت مدت زمان انتظاری پروژه حاصل می گشت. ایگل موند و رادرماچر [۲۱] نیز به مسئله *RCPSP* با مدت زمان فعالیت ها به صورت تصادفی، اشاره کردند. جهت حل این مسئله از سیاستی بهره بردند که مشکل تعارض منابع بین فعالیت ها برطرف گردد. همچنین الگوریتم شاخه و حد برای محاسبه سیاست های بهینه سازی توسعه داده شد و آزمایش های محاسباتی برای مسائل با ساین کوچک گزارش شده است. مهرینگ و استروک [۲۲] دسته بندی جدیدی از سیاست های زمان بندی را معرفی نمودند که سیاست های پیش انتخاب خطی نامیده شد و جهت کمینه کردن مدت زمان *RCPSP* در شرایط تصادفی بودن مدت زمان فعالیت ها به کار می رود. این رویکرد بر روی ۴۸۰ نمونه مثال عددی با ۲۰ فعالیت مورد آزمایش واقع شد. استروک [۲۳] چهار سیاست زمان بندی را برای کمینه کردن مدت زمان *RCPSP* در شرایط تصادفی بودن مدت زمان فعالیت ها مورد مقایسه قرار داد. قوانین غلبگی و حد پایین توسعه داده شد و سپس در الگوریتم شاخه و حد به کار بسته شد و بر روی ۱۴۴۰ مثال عددی با تعداد فعالیت حداکثر ۶۰ فعالیت مورد آزمایش قرار

گرفت. سید و هاوواری [۲۴] مسئله موازنه زمان-هزینه گسسته تصادفی را با حالت های اجرایی چندگانه فعالیتها مورد بررسی قرار دادند. هدف این تحقیق کمینه کردن هزینه کل فعالیتها و هزینه انتظاری دیرکرد پروژه می باشد. برای این منظور یک استراتژی حل دو مرحله ای پیشنهاد گردید. در مرحله اول یک استراتژی بهینه سازی - شبیه سازی را اجرا نمودند که منجر به یک زمان بندی موثر از لحاظ هزینه ای گردید. سپس یک فرمول بندی برنامه ریزی عدد صحیح-مختلط مورد استفاده قرار گرفت تا زمان بندی را که هم پایا و هم از جهت هزینه موثر باشد، نتیجه دهد. سلماس نیا و همکاران [۲۵] مساله زمان بندی پروژه با در نظر گرفتن فاکتورهای زمان، هزینه و کیفیت را در شرایط تصادفی مورد بررسی قرار دادند. سپس از جواب استوار جهت کمینه کردن تغییرات موثر بر زمان، هزینه و کیفیت بهره بردند. چن و همکاران [۲۶] در تحقیق خود بیان داشتند که اکثر روش های بهینه سازی تصادفی نیاز به دانستن اطلاعات کاملی راجع به توابع توزیع پارامترها دارد. همچنین روشی را ارائه دادند که فقط با داشتن اطلاعات محدودی از توابع توزیع مثل میانگین، تکیه گاه و کوواریانس قابل به کارگیری است. در پژوهشی دیگر ویزمن و همکاران [۲۷] یک مدل با مکانیزم تخصیص منابع استوار برای فعالیت های پروژه در نظر گرفتند. در این تحقیق فرض بر غیر قطعی بودن مدت زمان فعالیت ها می باشد و تابع هدف کمینه کردن بدترین حالت مدت زمان پروژه می باشد. گوتجار و همکاران [۲۸] یک رویکرد بهینه سازی تصادفی قدرتمند معرفی نمودند که مجموعه ای از معیارهای کارا را جهت فشرده سازی فعالیت های انتخاب شده در یک شبکه فعالیت تصادفی تعیین می کند. در این مقاله عنوان شده است که رویکرد پیشنهادی نه تنها از تکنیک های استاندارد بهتر عمل می کند بلکه به طور قابل ملاحظه ای روش مرسوم شاخه و حد را ارتقا می بخشد. از دیگر تحقیقات می توان به پژوهش میچل و کلسترین [۲۹] اشاره نمود.

در اکثر مواقع به علت ماهیت منحصر به فرد بودن پروژه ها، دستیابی به اطلاعات دقیق راجع به توابع توزیع پارامترهای غیر قطعی بسیار دشوار است. لذا در کلیه پژوهش هایی که عدم قطعیت را در مسائل مدیریت پروژه به صورت تصادفی در نظر می گیرند، این ریسک و نگرانی وجود دارد که تابع توزیع تعیین شده و پارامترهایش از دقت و درستی لازم برخوردار نباشد و لذا جوابهای حاصل از این مدلها در عمل کاربرد پذیر نباشند. دسته دیگری از پژوهش ها به بررسی مسئله مدیریت پروژه در شرایط عدم قطعیت در حالتی می پردازد که پارامترهای مدنظر به طور فازی لحاظ شده اند.

۲-۴- مسئله زمان بندی پروژه تحت شرایط عدم قطعیت فازی

در رویکرد زمان بندی پروژه فازی از توابع عضویت به جای تابع توزیع احتمالی برای مدت زمان غیرقطعی فعالیت ها استفاده می شود. نامداری [۳۰] مسئله زمان بندی چند پروژه ای با نیروی کار چند مهارت را در شرایط فازی مورد بررسی قرار داد. ضمن ارائه یک مدل فازی چند هدفه برای مسئله مورد بررسی، با توجه به NP-Hard بودن مدل، برای حل آن الگوریتم ژنتیک با مرتب سازی نامغلوب و الگوریتم تکاملی دیفرانسیلی ارائه شده است. به دلیل عدم قطعیت و عدم دقت موجود در زمان بندی پروژه ماراواس و پنتوواکیس [۳۱] ترغیب شدند تا از تئوری مجموعه فازی در تکنیک های زمان بندی شبکه فعالیت های پروژه بهره گیرند. در نتیجه در مقاله خود روشی برای محاسبه جریانان نقدی پروژه شامل فعالیتهایی با مدت زمان و یا هزینه فازی ارائه کردند. علیپوری [۳۲] در پایان نامه اش، برای حل RCPSP با مدت زمان فعالیت قطعی، روشی فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم برنامه ریزی تکاملی (EP) پیشنهاد داده است. مدت زمان های فعالیت غیرقطعی، شامل مدت زمان های متغیر و فازی در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین برای بهینه سازی حالتی که مدت زمان فعالیت ها فازی می باشد، روشی فرا ابتکاری بر پایه الگوریتم برنامه ریزی تکاملی پیشنهاد شده است. نتایج بدست آمده از شبیه سازی ها کارآمد بودن الگوریتم های پیشنهادی را تأیید می کنند. داک لانگ و آهساتو [۳۳] از روش زنجیره بحرانی فازی برای زمان بندی پروژه تحت شرایط محدودیت منابع و عدم قطعیت بهره بردند. این روش شامل توسعه یک زمان بندی قطعی تحت محدودیت منابع و اضافه نمودن یک بافر پروژه به انتهای زمان بندی برای مواجهه با عدم قطعیت می باشد. همچنین اندازه بافر پروژه توسط اعداد فازی تعیین شده است. در پژوهشی دیگر، سجادی و همکاران [۳۴] عدم قطعیت ترکیبی را به گونه ای در فضای زمان بندی پروژه به کار بستند که مدت زمان فعالیتها به عنوان متغیرهای فازی تصادفی لحاظ شده بودند که به طور همزمان ماهیت فازی و احتمالاتی داشتند.

علی رغم این نکته که روش های تصادفی و فازی هر یک به نحوی عدم قطعیت را در محاسبات خود لحاظ می کنند و دید واقع بینانه تری به تصمیم گیرنده می دهند و لذا بر حالت قطعی ترجیح دارند اما هر کدام از این روش ها دارای نقاط ضعفی هستند، همانطور که اشاره شد اساس روش های مبتنی بر عدم قطعیت تصادفی بر این است که دانش دقیقی راجع به توابع توزیع احتمالاتی پارامترها داشته باشیم که با توجه به ماهیت منحصر به فرد و بدون تکرار پروژه این فرض غیر عملی است. از طرف دیگر به کار بستن روش های فازی هم تا حد زیادی وابسته به تابع عضویتی است که برای پارامتر غیر قطعی تعیین می شود و لذا دشواری جهت تعیین آن موجب کارایی کمتر این روش از دید

عملی می شود. علاوه بر موارد فوق هیچ کدام از این دو روش مسئله تحت بررسی را در برابر عدم قطعیت مصون نمی دارند. به عبارت دیگر چنانچه داده مرتبط با پارامتر غیرقطعی در عمل تغییر کند هیچ تضمینی وجود ندارد که نتایج حاصل از مدل ارائه شده توسط این روشها باز هم برای مسئله دنیای واقعی بهینه و حتی شدنی باشد. در نتیجه برای مسائل مدیریت پروژه به دلیل ماهیت منحصر به فرد بودن و حجم بالای سرمایه گذاری از نظر زمانی و پولی و همچنین حساسیت هایی که در برآوردن انتظارات ذی نفعان وجود دارد، بهتر است در مواجهه با عدم قطعیت از رویکرد محافظه کارانه تری بهره گیریم. روش بهینه سازی استوار رویکرد مناسبی جهت دستیابی به این هدف است. در ادامه به برخی از تحقیقاتی که از این رویکرد در مواجهه با عدم قطعیت در فضای مدیریت پروژه بهره می گیرند اشاره می شود.

۳-۴- مسئله زمان بندی پروژه تحت شرایط عدم قطعیت استوار

ژنگ و همکاران [۳۵] زمان بندی چندپروژه ای با محدودیت منابع را در قالب یک مدل دو هدفه با توابع هدف کمینه کردن مدت زمان پروژه و بیشینه کردن استواری و با در نظر گرفتن ارجحیت پروژه ها مورد تحلیل قرار دادند و الگوریتم فراابتکاری ژنتیک مرتب سازی نامغلوب را جهت حل به کار بستند. آنها استواری الگوریتم را به وسیله پارامترهای مختلف پروژه شامل ترتیب پروژه ها، محدودیت منابع و سطح عدم قطعیت مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها اثربخشی الگوریتم جواب را نشان داد و همچنین معلوم گشت که سه پارامتر به کار رفته تاثیرات مشهودی را بر استواری و زمان اتمام پروژه ها داشته اند. چیانگ و جینگ [۳۶] در تحقیق خود رویکردی را پیشنهاد نمودند که تکنیک PERT و CPM را برای مسئله زمان بندی تک پروژه ای ترکیب می کرد. با وجود زمان و هزینه غیر قطعی، طراحی استوار برای زمان بندی پروژه با استفاده از روش سطح پاسخ در این تحقیق پیشنهاد شده است. آنتونیول و همکاران [۳۷] بیان داشتند که مدیریت یک پروژه بزرگ نرم افزاری شامل تخمین های اولیه ای می باشد که ممکن است اشتباه باشند و یا با درجه ای از عدم قطعیت بیان شوند. این تحقیق نشان می دهد که چگونه الگوریتم ژنتیک می توانند با یک مدل شبیه سازی صف ادغام شود تا این مسائل در یک مجرای استوار بیان گردند. یک الگوریتم ژنتیک برای جستجوی بهترین توالی اجرای بسته های کاری و بهترین تخصیص نیروهای انسانی به تیم های پروژه مورد استفاده قرار گرفت و مدل شبیه سازی که زمان تخمینی اتمام پروژه را محاسبه می کند، این جستجو را هدایت می کند. این تحقیق نتایج حاصل از کاربرد این تکنیک ها را در داده های به دست آمده از پروژه تعمیرات نرم افزار تجاری در مقیاس

بزرگ نشان می دهد. لی و وو [۳۸] مسئله موازنه زمان-هزینه را تحت شرایط عدم قطعیت مورد تحقیق قرار دادند که در آن فعالیتها می توانند در چندین حالت اجرایی که هر یک متناظر با زمان و هزینه مشخصی با عدم قطعیت بازه ای می باشد، اجرا گردند. برپایه روش بهینه سازی استوار چند هدفه، یک مدل بهینه سازی استوار برای مسئله موازنه زمان-هزینه توسعه داده شده است. جهت نمایش مدل استوار، الگوریتم NSGA برای حل مثال مطرح شده، به کار رفته است. نتایج نشان می دهد که به وسیله تنظیم ضرایب استوار زمان و هزینه، مجموعه پارتوی استوار براساس سطوح مختلف قابل پذیرش ریسک حاصل می شوند. مغانی و فتحی [۳۹] به بررسی مساله موازنه زمان-هزینه با هدف کمینه کردن هزینه کل پروژه در شرایطی که مدت زمان پروژه از موعد مقرر مشخصی فراتر نرود، پرداختند. در این پژوهش یک مدل استوار جدید برای DTCTP پیشنهاد گردید که در آن عدم قطعیت فاصله ای برای پارامترهای ناشناخته هزینه در نظر گرفته شده است. در نهایت یک الگوریتم ژنتیک جهت حل مدل بهینه سازی استوار پیشنهادی به کار بسته شده است. نتایج محاسباتی آنها بر روی نمونه های عددی با سایز بزرگ نشان دهنده رضایت بخش بودن رفتار الگوریتم های پیشنهادی است. هازیر و همکاران [۴۰] مسئله موازنه زمان-هزینه گسسته استوار را مورد بررسی قرار دادند به گونه ای که در این مسئله فعالیت ها دارای چندین حالت اجرایی می باشند. همچنین معیارهای جایگزینی را معرفی کردند تا تخمین درستی از استواری زمان بندی فراهم آورد. همچنین در این تحقیق یک الگوریتم زمان بندی استوار دو مرحله ای پیشنهاد شده است و در آخر آشکار گردید که رویکرد پیشنهادی می تواند جهت حل یک مسئله استوار پیچیده با جریمه دیرکرد و پاداش زودکرد توسعه یابد. هازیر و همکاران [۴۱] در تحقیقی دیگر مسئله موازنه زمان-هزینه گسسته استوار را در قالب سه مدل بهینه سازی مورد بررسی قرار دادند و در این پژوهش، عدم قطعیت بازه ای برای پارامترهای ناشناخته هزینه فرض شده بود. جهت حل این مدلها از الگوریتم های دقیق و ابتکاری بهره گرفته شد و در نهایت زمان بندی منتج از این مدلها بر پایه استواری زمان بندی مورد مقایسه واقع شدند.

که و همکاران [۴۲] زمان بندی استوار را با مدت زمان غیر قطعی فعالیتها برای پروژه تدارکات توسعه دادند. جهت حل این مساله یک مدل غیرقطعی ایجاد گردید و یک الگوریتم مبتنی بر شبیه سازی تبرید طراحی گردید. یاماشیتا و همکاران [۴۳] یک مسئله زمان بندی پروژه با تابع هدف کمینه کردن هزینه دسترس پذیری منابع را مورد بررسی قرار دادند که در آن زمان فعالیت ها غیر قطعی است. این مسئله با چارچوب بهینه سازی استوار مطرح شده توسط مولوی و همکاران [۴۴] فرمول بندی شده است؛ یعنی عدم قطعیت به صورت مجموعه

ای از سناریو ها مدل شده است. روش حل پیشنهادی برپایه روش جستجوی پراکنده می باشد. یک روش ابتکاری نیز توسعه داده شد و خصوصیات جوابهای حاصل از مدل پیشنهادی با توجه به تصمیم گیرنده های ریسک گریز مورد بحث قرار گرفت. گوو و هال [۴۵] یک مدل بهینه سازی استوار توسعه دادند که برای اجرای استوار در برابر تمامی سناریوهای عدم قطعیت مدت زمان فعالیت ها طراحی شده است. همچنین رویکرد پیشنهادی در برابر رویکردهای پیشین مثل پرت و شبیه سازی مونت کارلو مورد مقایسه قرار گرفت. مطالعات محاسباتی نشان می دهد که نسبت به رویکردهای پیشین، سیاست های فشرده سازی پیشنهادی هم سطح بالاتری از عملکرد (نرخ موفقیت بیشتر و تحدی کمتر از بودجه) را و هم استواری مورد نیاز تابع توزیع مدت زمان فعالیت ها را فراهم می آورد. ما و همکاران [۴۶] در تحقیق خود یک روش بهینه سازی استوار فعالانه مبتنی بر سناریو پیشنهاد دادند که هدف آن ارتقای استواری زمان بندی پروژه ساخت بوده و با استفاده از روش مدیریت پروژه زنجیره بحرانی توسعه یافته است. روش پیشنهادی سناریو هایی را شامل می شود که نمایانگر تمامی شرایط امکان پذیر برای رخ دادن در طول اجرا شدن پروژه می باشد. بنابراین این زمان بندی نسبت به زمان بندی های سنتی کمتر به تغییرات شرایط حساسیت نشان می دهد. همچنین این روش برپایه دو تابع هدف کمینه کردن مدت زمان برنامه ریزی شده و کمینه کردن عدم قطعیت در هنگام اجرا بوده و زمان بندی را توسط ایجاد موازنه بین این دو تابع هدف بهینه می کند. نتایج نشان می دهد که روش پیشنهادی می تواند درک و پذیرش اعضای تیم پروژه را از موازنه بین مدت زمان پروژه و استواری زمان بندی در حین مدیریت پروژه های پیچیده ساخت ارتقا بخشد. آل فازان و هاوواری [۴۷] در تحقیقی یک مدل زمان بندی پروژه با محدودیت منابع دو هدفه را توسعه دادند. هدف بیشینه کردن استواری و کمینه کردن مدت زمان پروژه است. یک الگوریتم جستجوی ممنوعه جهت تولید مجموعه جوابهای کارا مورد استفاده قرار گرفته است. انواع دیگر الگوریتم مورد آزمایش واقع شد و بر روی مجموعه بزرگی از مسائل نمونه مورد مقایسه قرار گرفت. گوو و همکاران [۴۸] از رویکردهای بهینه سازی استوار برای کنترل کردن جریمه زمان اتمام کل به علاوه هزینه فشرده سازی در پروژه ها و در شرایط مدت زمان غیر قطعی فعالیت ها استفاده کردند. قوانین مورد استفاده در این تحقیق، تصمیماتی را که در برابر همه سناریوهای ممکن در مورد عدم قطعیت مدت زمان فعالیت ها به بهترین شکل عمل می کند را تشخیص می دهد. این رویکرد در برابر پرت و همچنین در برابر رویکرد شبیه سازی مونت کارلو که اطلاعات بیشتری را لحاظ می نماید، مورد مقایسه قرار می گیرد. نتایج محاسباتی نشان می دهد که استراتژی های فشرده سازی پیشنهادی

در این پژوهش، انجام کار در بودجه کلی پروژه را با احتمال بیشتر از ۹۹٪ فراهم می آورد؛ در حالی که این احتمال برای رویکردهای پیشین با بهره گیری از اطلاعات مشابه کمتر از ۴۵٪ می باشد. همچنین اضافه بودجه مورد انتظار از ۲۵٪ به کمتر از ۰٫۱٪ رسیده است. دوزگان و تپله [۴۹] یک رویکرد بهینه سازی استوار چند حدودی را برای مساله سرمایه گذاری ظرفیت تحت شرایط عدم قطعیت توصیف کردند. در بهینه سازی استوار چند حدودی، یک پارامتر غیر قطعی مجاز است تا مقداری را اتخاذ کند که متعلق به بیش از یک محدوده غیرقطعی می باشد. آنها یک تعدادی پروژه که با جریان نقدی و هزینه های انتظاری شدنی باشد، در نظر گرفتند و یک تصمیم گیری سرمایه گذاری تحت محدودیت های بودجه اتخاذ کردند. همچنین بهینه سازی استوار چند حدودی را به گونه ای تنظیم کردند که مقادیر ممکن که توسط پارامترهای غیر قطعی اتخاذ می گردد، با سه مقدار ممکن حاصل از توابع توزیع هزینه یا ارزش خالص فعلی در رویکرد برنامه ریزی تصادفی که به عنوان معیار قرار داده شده است، سازگار باشد. آنها بیان داشتند در حالیکه رویکرد برنامه ریزی تصادفی از موضوع انعطاف پذیری رنج می برد، رویکرد بهینه سازی استوار مسئله سرمایه گذاری ظرفیت مشابه را در چند ثانیه حل می کند. آدیدا و جشی [۵۰] در تحقیق خود روشی ارائه کردند که تا حد زیادی در برابر عدم قطعیت داده ها استوار است و برای سطح از پیش تعریف شده مشخصی از عدم قطعیت نیاز به زمان بندی مجدد ندارد. در این پژوهش با استفاده از تکنیک های بهینه سازی استوار به مدلی اشاره شده است که داده های غیر قطعی را در پارامترهای پروژه لحاظ می کند. در این تحقیق نشان داده می شود که هزینه کل استفاده از جواب استوار عموماً کمتر از هزینه تغییر مجدد جواب قطعی یا هزینه جریمه به خاطر فرارفتن از مقدار جواب قطعی می باشد. همچنین بیان نمودند که جواب استوار در برابر نقض محدودیت ها شامل فرارفتن از هزینه و زمان بهتر عمل می کند.

آرتیگیوس و همکاران [۵۱] از تکنیک های مدل سازی استفاده کردند که از بهینه سازی گسسته استوار نشأت می گیرد و تصمیم گیرنده را قادر می سازد تا جوابهایی تولید کند که تحت وقوع هر یک از سناریوهای ورودی، مقدار تابع هدف به اندازه کافی خوبی داشته باشیم. آنها یک الگوریتم آزاد سازی سناریو و یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر آزاد سازی سناریو را توسعه و پیاده سازی نمودند. اولین الگوریتم جوابهای بهینه تولید می کند اما به مدت زمان بیشتری حتی برای مسائل با سایز متوسط جهت اجرا شدن دارد، دومین الگوریتم جوابهای با کیفیت بالا برای مسائل با سایز متوسط تولید می کند و از دو الگوریتم ابتکاری پایه بهتر عمل می کند. در تحقیق چن و همکاران [۵۲] رویکردی برای تشکیل مجموعه های عدم قطعیت بهینه سازی

استوار با استفاده از معیارهای پراکندگی جدید برای متغیرهای تصادفی محدود معرفی شده است. این معیارهای پراکندگی منجر به تخمین بهتری از محدودیت های تصادفی می شوند. همچنین یک رویکرد بهینه سازی استوار برای به دست آوردن جوابهای استوار یک دسته مسائل بهینه سازی خطی تصادفی پیشنهاد شد که در آن ریسک نشدنی بودن می تواند به عنوان موازنه ای جهت بهبود بخشیدن به تابع هدف قابل تحمل گردد. سپس کاربرد این چهارچوب برای حل مسئله مدیریت پروژه با مدت زمان غیر قطعی فعالیت ها نشان داده شده است. کوهن و همکاران [۵۳] مسئله تخصیص منابع به پروژه ها در شرایطی در نظر گرفته می شود که موعد مقرر پروژه تعیین شده است و موازنه زمان-هزینه در شرایط تصادفی صورت می گیرد. بر خلاف رویکردهای مرسوم، مدل توسعه داده شده در این تحقیق بیشتر منجر به اتخاذ سیاست های مدیریتی می شود تا حاصل شدن مقادیر بهینه برای متغیرهای تصمیم. بنابراین مدیر پروژه می تواند اتخاذ تصمیمات را تا زمانی که واقعاً به آن احتیاج دارد به تعویق بیندازد و سپس آنها را با توجه به سیاست بهینه (که داده های تجمعی را در پیشرفت پروژه به کار می بندد) اتخاذ نماید. در مورد جوابها تضمین داده شد که استوار هستند- یعنی به طور حتم به جز در مواقعی که پارامترهای غیر قطعی مقادیر خیلی بزرگ یا خیلی کوچک می گیرند، شدنی می باشند. همچنین در قالب یک مثال عددی نشان داده شد که قیمتی که ما بابت به دست آوردن استواری باید پرداخت کنیم، نسبت به سطوح بالای عدم قطعیت ناچیز است. هروئیلین و لیوس [۴] از رویکرد پیش گویانه - واکنشی که در آن یک زمان بندی پایه ای در ابتدای پروژه توسعه می یابد و در حین اجرای پروژه هر جا که ضرورت یابد، به روز رسانی می شود، بهره بردند. هدف از این تحقیق مرور بر رویکردهای ممکن جهت ایجاد زمان بندی فعالانه (استوار) است که هم امکان مصون ماندن در برابر اختلالات زمان بندی را دارد و هم رویکردهای زمان بندی واکنشی را جهت بازنگری یا بهینه سازی مجدد زمان بندی پایه ای در صورت وقوع اتفاقات ناگهانی به کار می بندد. این پژوهش همچنین چهارچوبی را پیشنهاد می دهد که به مدیریت پروژه اجازه می دهد تا روش های زمان بندی مناسب برای محیط های مختلف پروژه را تشخیص دهد. شو و ونگ [۵۴] نیز یک مدل بهینه سازی استوار ریاضی برای مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع در حالیکه مدت زمان فعالیت ها تصادفی است، پیشنهاد دادند. یک الگوریتم ژنتیک نیز برای حل مدل مذکور طراحی گردید. در روش مطرح شده در این پژوهش، استواری زمان بندی پروژه با در نظر گرفتن واریانس تاخیر پروژه بهبود بخشیده می شود. بساق زاده و همکاران [۵۵] روش هایی را جهت ایجاد زمان بندی استوار در برابر عدم قطعیت موجود در مدت زمان فعالیت ها و همچنین

استوار پروژه با محدودیت منابع پرداختند.

۴-۴- سایر تحقیقات مرتبط

در این بخش به طور اجمالی به پژوهش‌هایی اشاره می‌گردد که در زمینه عدم قطعیت در مدیریت پروژه صورت گرفته است اما در قالب دسته بندی‌های پیشین نمی‌گنجد.

بن زوی و لچلر [۶۳] به بررسی تخصیص منابع مسئله چند پروژه ای در شرایط عدم قطعیت با استفاده از یک روش ابتکاری آسان و موثر پرداختند. پرمینووا و همکاران [۶۴] در تحقیق خود به بررسی مفهوم عدم قطعیت در پروژه پرداختند و با بیان ویژگی‌های آن، تفاوت‌های مفاهیم عدم قطعیت و ریسک را بیان داشتند. در این پژوهش بیان گردید که ریسک می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر فاکتورهای پروژه مثل زمان، هزینه، محدوده و کیفیت داشته باشد، اما معمولاً عدم قطعیت دارای تأثیر منفی بر پروژه است. همچنین ماراواس و پانتوواکیس [۶۵] مدل‌های موجود عدم قطعیت در زمان و هزینه مسائل مدیریت پروژه، مدیریت پرتفولیو و مدیریت برنامه را مرور نمودند. با توجه به اینکه علاوه بر تضاد و تعارض بین مدیران پروژه مدیران عملیاتی، بین مدیران پروژه نیز در مسئله مدیریت چند پروژه ای، تضاد و تعارض وجود دارد، لسو و گلدبرگ [۶۶] از شبیه سازی پویایی‌های سیستم برای بررسی محیط پیچیده پروژه ای با تکنولوژی بالا، محیط پروژه ای با عدم قطعیت بالا و رقابت شدید بر سر منابع اندک بهره بردند. وارد و چپمن [۶۷] بیان داشتند که فرایند مدیریت ریسک پروژه یک تمرکز محدود را بر مدیریت عدم قطعیت پروژه القا می‌کند. این مقاله دلایلی را مطرح می‌کند که تمرکز بر "عدم قطعیت" به جای "ریسک" می‌تواند موجب ارتقای مدیریت ریسک پروژه شود؛ زیرا به جای تأکید بر تهدیدها به مدیریت فرصت‌ها می‌پردازد. دنیلویک و سندکول [۶۸] در مقاله خود یک ماتریس ساختار وابستگی و رویکرد ماتریس نگاشت معرفی نمودند که شناسایی سیستماتیک وابستگی‌ها و روابط موجود پیرامون مسئله چند پروژه ای را با توجه به عدم قطعیت موجود میسر می‌سازد. همچنین لیوس و همکاران [۶۹] در مقاله خود نقطه نظرات متعددی را در مورد مدیریت پیچیدگی برنامه ریزی سازمان‌های چند پروژه ای تحت شرایط عدم قطعیت مورد تحقیق قرار دادند. پتیت [۷۰] در پروژه دکتری اش به این مسئله پرداخت که چگونه عدم قطعیت بر سبد پروژه ای که در محیط پویا مدیریت می‌شود، تأثیر می‌گذارد. چاکرابارتی و همکاران [۷۱] دو مدل جهت سر و کار داشتن با دو سناریوی مختلف اختلال برای مسائل مدیریت پروژه با محدودیت منابع و حالیهای اجرایی چندگانه فعالیت‌ها فرموله نمودند. یک رویکرد زمان بندی مجدد واکنشی نیز پیشنهاد دادند که به هیچ اطلاعات

در دسترس بودن منابع پیشنهاد نمودند. همچنین با شبیه سازی روشهای پیشنهادی بر روی مسائل نمونه متعدد، بهترین روش را برای زمان بندی استوار برپایه نتایج این آزمایشات توصیه نمودند. چتورو و هاووری [۵۶] یک الگوریتم دو مرحله ای مبتنی بر قوانین ارجحیت برای مسئله زمان بندی پروژه با محدودیت منابع استوار پیشنهاد دادند. در مرحله اول با در نظر گرفتن قوانین ارجحیت و تابع هدف کمینه کردن مدت زمان پروژه مدل را حل نمودند و سپس در مرحله دوم با در دست داشتن مدت زمان پروژه حاصل از مرحله اول، مدل را با هدف بیشینه کردن استواری زمان بندی مورد بررسی قرار دادند. در پژوهشی دیگر که توسط کانیک [۵۷] ارائه شد، بیان گردید که ضروری است که زمان بندی استوار با توجه به اهداف پروژه مانند زمان، هزینه و کیفیت ایجاد گردد. در این پژوهش ابتدا زمان بندی‌های استوار ایجاد می‌گردند و سپس با توجه به معیارهایی این زمان بندی‌ها ارزیابی می‌شوند. در تحقیق تبریزی و قادری [۵۸] مساله زمان بندی پروژه و تدارکات مواد در قالب یک مدل ریاضی برنامه نویسی عدد صحیح - مختلط استوار مورد بررسی قرار گرفته است. هدف این مدل، کمینه کردن هزینه‌های متناظر و بیشینه کردن استواری زمان بندی می‌باشد. در این تحقیق عدم قطعیت هم در عامل زمان و هم در عامل هزینه لحاظ شده است. دو الگوریتم فراابتکاری جهت حل این مساله پیشنهاد گردید و سپس کاربردپذیری و کارایی آن توسط تعدادی مسائل نمونه مورد بررسی قرار گرفت. بن‌هیم و لافر [۵۹] مفهوم جدیدی را جهت توسعه قابلیت اطمینان زمان بندی پروژه که از عدم قطعیت ناشی از مدت زمان فعالیت‌ها آسیب می‌بیند، ارائه نمودند. آنها بیان نمودند که روش پیشنهادی به کمترین اطلاعات نیاز دارد و آسان جهت به کارگیری می‌باشد. همچنین در این پژوهش نشان داده شد که با کمک این تکنیک می‌توان به محاسبه قابلیت اطمینان زمان بندی پروژه، ارتقای زمان بندی پروژه، کاهش مدت زمان پروژه بدون کم شدن قابلیت اطمینان آن و آزمایش اینکه چگونه هم پوشانی فعالیت‌های پروژه بر قابلیت اطمینان آن اثرگذار است، بپردازیم. در مقاله ای دیگر پنگ و منگ [۶۰] یک مدل بهینه سازی دو هدفه پیشنهاد دادند که مدت زمان پروژه را کمینه می‌کند و استواری زمان بندی را بیشینه می‌نمود. یک الگوریتم شبیه سازی تبرید جهت حل این مدل پیشنهاد گردید. جهت توسعه زمان بندی استوار تحت شرایط تصادفی بودن مدت زمان فعالیت‌ها و منابع محدود، یک الگوریتم تکاملی چند هدفه ترکیبی توسط شیانگ و همکاران [۶۱] پیشنهاد شد که به طور همزمان مدت زمان، استواری و پایداری زمان بندی پروژه را بهینه می‌کند. جهت حل این مدل یک الگوریتم تکاملی چند هدفه ترکیبی پیشنهاد گردید. در تحقیق مشابه دیگری هی و همکاران [۶۲] با استفاده از سه الگوریتم ابتکاری به حل مسئله زمان بندی

مراتبی کلی معرفی نمودند که در برنامه ریزی چند پروژه ای تحت شرایط عدم قطعیت کاربرد دارد. جینگ [۷۸] در مقاله اش رویکردی را پیشنهاد داد که از شبیه سازی کامپیوتر و تحلیل آماری زمان غیر قطعی فعالیت، هزینه فعالیت، موعد مقرر و بودجه پروژه بهره می گیرد تا کیفیت و فرایند یادگیری را با توجه به زمان بندی پروژه اداره نماید. همچنین حسین زاده [۷۹] در رساله اش به حل مسئله زمانبندی پروژه با فعالیت های چند اجرایی و زمان های غیرقطعی تحت شرایط محدودیت منابع پرداخت. منظور از حل، تعیین حد بالا و پایین زمان شروع و پایان، به همراه روش اجرای هر یک از فعالیتهای پروژه است. هدف مسئله، کمینه کردن زمان اجرای کل پروژه می باشد. محدودیت مربوط به هر دو نوع منبع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر در نظر گرفته می شود. زمان انجام کلیه فعالیتهای پروژه با دو حد و بصورت اعداد بازه ای منظور می گردد. برای حل مسئله ابتدا دو الگوریتم جهت مقایسه اعداد بازه ای توسعه داده شد، سپس با حذف روشهای غیر قابل اجرا و نا کارا و همچنین منابع تجدید ناپذیر اضافی، فضای حل کاهش یافته و سرانجام به وسیله یک الگوریتم ژنتیک بر پایه الگوریتم ابتکاری زمان بندی موازی بازه ای به حل مسئله پرداخته شده است. از دیگر تحقیقات مرتبط در این زمینه می توان به کارهای تحقیقاتی کاوادیاس و لچ [۸۰] و همچنین پیچ و همکاران [۸۱] اشاره نمود.

۵- تحلیل ادبیات موضوع و انتخاب رویکرد مناسب

همانطور که پیشتر اشاره شد، مسئله مدیریت پروژه ماهیت منحصر به فرد دارد. در بسیاری از موارد یک پروژه برای اولین بار اجرا می شود و نظیر نداشته است. در مواردی هم ممکن است پروژه تحت بررسی با کارهای گذشته از بعضی جهات مشابهت هایی داشته باشد اما قطعاً انجام یک پروژه با تولید یک قطعه در خط تولید کارخانه که به دفعات تکرار می شود، متفاوت است. از این جهت، دستیابی به اطلاعات دقیق راجع به پارامترهای غیر قطعی دشوار بوده و تعیین تابع توزیع احتمال برای مدت زمان هر یک از فعالیت های پروژه به عنوان پارامتر غیر قطعی، خالی از اشکال نیست. در نتیجه به کار بردن روشهای برنامه ریزی تصادفی و نتایج حاصل از آن که دانستن تابع توزیع پارامترهای غیر قطعی جزء شرایط آن می باشد، مناسب به نظر نمی رسد و لذا جوابهای حاصل از این مدلها در عمل کاربرد پذیر نمی باشند. حالت دیگری که مورد تحقیق واقع شد، بررسی مسئله مدیریت پروژه در شرایط پارامترهای غیر قطعی فازی می باشد که در این رویکرد نیز به دلیل وابستگی زیاد جوابها به توابع عضویت تعیین شده و دشواری که در تعریف توابع عضویت وجود دارد، برای ماهیت پروژه مناسب به نظر نمی رسد و جوابهای حاصل از آن را با ریسک غیر عملیاتی بودن مواجه می سازد.

پیشرفته ای در مورد اختلال احتیاج ندارد. نوزیک و همکاران [۷۲] در تحقیق خود اشاره کردند که مدیران پروژه و مدیران برنامه های چند پروژه ای اغلب با عدم قطعیت قابل توجهی در مدت زمان و نتایج فعالیت های خاصی و همچنین سطح کلی منابع مورد نیاز فعالیت ها مواجه هستند. در نتیجه آنها می بایست تصمیم بگیرند که در این شرایط عدم قطعیت چگونه تخصیص و مدیریت منابع اندک را در میان پروژه های متعدد که با یکدیگر در رقابت هستند به انجام برسانند. آنها مدل غیر خطی عدد صحیح مختلط را برای بهینه سازی تخصیص منابع به فعالیت ها جهت کمینه کردن مدت زمان اتمام مجموعه پروژه ها توسعه دادند. هان [۷۳] به طور خاص در تحقیقش استدلال کرد که کاهش ناحیه دنباله برای تابع توزیع یک فعالیت، یک فاکتور کلیدی است که در گذشته به اندازه کافی به آن توجه نشده است. با ورود یک تابع توزیع منعطف و ادغام آن با چهارچوب پرت، ملاحظه می گردد که نتایج حاصل از مدل پرت سنتی یک حالت خاص مهمی از روش ارائه شده در این مقاله را نتیجه می دهد. مولایی و همکاران [۷۴] در تحقیق خود بیان داشتند که در دنیای پیچیده و غیر قطعی امروزی، مدیریت ریسک موثر و کارا نقش مهمی را در موفقیت پروژه ها ایفا می کند. در این تحقیق، مسئله موازنه زمان-هزینه-کیفیت مبتنی بر ریسک مورد بررسی قرار گرفت و به علت ورود ریسک به مدلهای برنامه ریزی پروژه، توابع هدف به صورت عبارات تصادفی تعریف شد. همچنین الگوریتم NSGA-II به عنوان روش حل پیشنهاد گردید. مارتینسو و همکاران [۷۵] چهارچوبی را برای عدم قطعیت و مدیریت آن در پرتفولیوی پروژه ها معرفی نمودند و به دنبال درک بیشتر این مهم بودند که چگونه مدیران می توانند عدم قطعیت را بهتر در محاسبات خود در نظر بگیرند. سلطانی [۷۶] الگوریتمی را با هدف حداقل کردن زمان تکمیل پروژه های با محدودیت منابع و دارای ریسک، ارائه داد که در آن ابتدا فعالیت هایی با منبع مشترک در پروژه های مختلف شناسایی می گردند و سپس اولویت بندی پروژه ها با استفاده از روش های DEA و TOPSIS، جهت تخصیص منبع مشترک به فعالیت ها انجام می گیرد. پس از آن با بکارگیری رویکرد زنجیره بحرانی به رفع تضاد منبع و کنترل ریسک عدم تطابق زمان تکمیل پروژه ها با زمان برآورد شده، اقدام و در انتها نیز برای ایمن کردن پروژه ها در برابر اختلالات و تنش ها، اندازه بافرها تعیین و افزوده شده است. هانس و همکاران [۷۷] یک چهارچوب موقعیت یابی را برای تشخیص انواع مختلف سازمانهای پروژه ای پیشنهاد دادند. این چهارچوب به منزله کمک برای مدیریت پروژه در انتخاب بین رویکردهای متنوع برنامه ریزی موجود می باشد. آنها در مورد به روزترین رویکردهای برنامه ریزی سلسله مراتبی موجود نیز خواه در تولیدات سنتی و خواه در محیط پروژه ای به بحث و بررسی پرداختند. سپس یک چهارچوب برنامه ریزی و کنترل پروژه سلسله

است در مواجهه با عدم قطعیت از رویکرد محافظه کارانه تری بهره گیریم. روش بهینه سازی استوار رویکرد مناسبی جهت دستیابی به این اهداف است. در این روش ضمن اینکه نیاز به دانستن داده های تاریخی و توابع توزیع پارامترهای غیر قطعی وجود ندارد، جوابهایی با رویکرد محافظه کارانه تولید می گردد که در عمل در صورت تغییر پارامترهای غیر قطعی، مسئله تحت مطالعه را همچنان شدنی و نزدیک به بهینه حفظ می کند. بنابراین با توجه به تحقیقات صورت گرفته و بررسی تحلیلی ماهیت مسئله مدیریت پروژه، استفاده از رویکرد استوار برای مواجهه با داده های غیرقطعی مسئله مدیریت پروژه توصیه اکید می گردد.

۶- جمع بندی

در این تحقیق، بررسی تحلیلی پیرامون عدم قطعیت در مسئله مدیریت پروژه مورد پژوهش واقع شد. اهم تحقیقات صورت گرفته در زمینه عدم قطعیت در فضای مدیریت پروژه شامل مسائل تک پروژه ای و چند پروژه ای مطالعه گردید و سپس جهت انتخاب مناسب ترین رویکرد، ماهیت مسئله مدیریت پروژه به صورت تحلیلی مورد بحث واقع شد. در نهایت با توجه به منحصر به فرد بودن پروژه و همچنین حجم عظیم سرمایه گذاری زمانی و هزینه ای خصوصا در مورد مسائل چند پروژه ای، رویکرد استوار در مقایسه با سایر رویکردها به عنوان روشی محافظه کارانه انتخاب گردید. این رویکرد، مسئله را در برابر عدم قطعیت مصون می دارد و همچنین دشواری های دو روش تصادفی و فازی را نیز در تعیین توابع احتمال و توابع عضویت پارامتر غیرقطعی ندارد. لذا رویکرد بهینه سازی استوار جهت مصون نگه داشتن مسئله مدیریت پروژه نسبت به عدم قطعیت رویکردی مناسب به نظر می رسد

در نتیجه علی رغم این نکته که روش های تصادفی و فازی هر یک به نحوی عدم قطعیت را در محاسبات خود لحاظ می کنند و دید واقع بینانه تری به تصمیم گیرنده می دهند و لذا بر حالت قطعی ترجیح دارند اما هر کدام از این روش ها دارای نقاط ضعفی هستند و همانطور که اشاره شد دشواری جهت تعیین تابع توزیع و تابع عضویت این روشها، موجب کارایی کمتر این رویکردها از دید عملی در مسائل مدیریت پروژه می شود. همچنین هیچ کدام از این دو روش، مسئله تحت بررسی را در برابر عدم قطعیت مصون نمی دارند و چنانچه داده مرتبط با پارامتر غیرقطعی در عمل تغییر کند هیچ تضمینی وجود ندارد که نتایج حاصل از مدل ارائه شده توسط این روشها باز هم برای مسئله دنیای واقعی بهینه و حتی شدنی باشد. لذا نیاز به رویکردی مناسب جهت مواجهه با عدم قطعیت در پارامترهای مسئله مدیریت پروژه که چالش های فوق الذکر را نداشته باشد، احساس می گردد.

از طرفی دیگر، شایان ذکر است با توجه به زمان بر بودن انجام یک پروژه و سرمایه گذاری عظیمی که در آن صورت می گیرد، ریسک بالایی در اجرا کردن پروژه ها وجود دارد. به عبارت دیگر عدم قطعیت می تواند در مسائل مدیریت پروژه در مقیاس بزرگتری نسبت به سایر مسائل آسیب رسان باشد. لذا در این مسئله ترجیح بر این است که رویکردی برای مقابله با عدم قطعیت اتخاذ گردد که مسئله تحت بررسی را نسبت به عدم قطعیت مصون و ایمن سازد تا اینکه صرفا حالت انفعالی و واکنشی داشته باشد. مخصوصا اینکه در مسائل مدیریت چند پروژه ای، سرمایه گذاری عظیمی از بابت زمان و هزینه وجود دارد و لذا عدم قطعیت می تواند به طور فزاینده از حالت تک پروژه ای بر پارامترهای مسئله و نتایج حاصل از آن تاثیرگذار باشد.

در نتیجه برای مسائل مدیریت پروژه به دلیل ماهیت منحصر به فرد و حجم بالای سرمایه گذاری از نظر زمانی و پولی و همچنین حساسیت هایی که در برآوردن انتظارات ذی نفعان وجود دارد، بهتر

۷- مراجع

- [۵] Davenport, A.J. and Beck, J.C., "A Survey of Techniques for Scheduling with Uncertainty", unpublished manuscript, available at <http://www.eli.utoronto.ca/profiles/chris/gz/uncertainty-survey.ps>, 2002.
- [۶] Davenport, A.J., Gefflot and Beck, J.C., "Slack-based Techniques for Robust Schedules", Paper presented at the Constraints and Uncertainty Workshop, *Seventh International Conference on Principles and Practice of Constraint Programming*, November 26-December 1, Paphos, Cyprus, 2001.
- [۷] Jensen, M.T., "Improving Robustness and Flexibility of Tardiness and Total Flow-time Job Shops Using Robustness Measures", *Applied Soft Computing*, 1, 35-52, 2001.

- [۱] Project Management Body Of Knowledge, *PMBOK*, 2012.
- [۲] Goldratt, E., *Critical Chain*, The North River Press, 1997.
- [۳] Yamashita, D. S., Armentano, V. A., and Laguna, M., "Robust optimization models for project scheduling with resource availability cost", *J Sched*, No. 10, pp. 67-76, 2007.
- [۴] Herroelen, W., and Leus, R., "Robust and reactive project scheduling – A review and classification of procedures", *International Journal of Production Research*, 2004.

- Mohring, R.H. and Stork, F., "Linear preselective policies for stochastic project scheduling". *Mathematical Methods of Operations Research*, 52(3), 501–515, 2000.
- Stork, F., "Branch-and-Bound Algorithms for Stochastic Resource Constrained Project Scheduling", Technical Rep. 702. *Combinatorial Optimization & Graph Algorithms Group*, Technische Universität at Berlin, 2000.
- Said, S.S., and Haouari, M., "A hybrid simulation-optimization approach for the robust Discrete Time/Cost Trade-off Problem". *Applied Mathematics and Computation*, 259, pp. 628–636, 2015.
- Salmasnia, A., Mokhtari, H., and Nakhai, K.A.I., "A robust scheduling of projects with time, cost, and quality considerations". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 60, pp. 631–642, 2012.
- Chen, X., Sim, M., Sun, P., and Zhang, J., "A linear decision-based approximation approach to stochastic programming". *Oper. Res.* 56(2), pp. 344–357, 2007.
- Wiesemann, W., Kuhn, D., and Rustem, B., "Maximizing the net present value of a project under uncertainty". *European Journal of Operational Research*, 202(2), pp. 356–367, 2010.
- Gutjahr, W.J., Strauss, C., and Wagner, E., "A stochastic branch-and-bound approach to activity crashing in project management". *INFORMS Journal on Computing*, 12(2), pp. 125–135, 2000.
- Mitchell, G., and Klastorin, T., "An effective methodology for the stochastic project compression problem", *IIE Transactions*, 39(10), 2007.
- نامداری، سعید؛ زمان‌بندی نیروی کار ماهر در زمان‌بندی چند پروژه با محدودیت منابع در شرایط عدم قطعیت، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، دانشکده مهندسی صنایع، ۱۳۹۲.
- Maravas, A., and Pantouvakis, J., "Project cash flow analysis in the presence of uncertainty in activity duration and cost". *International Journal of Project Management*, 30, 374–384, 2012.
- علیپوری، یعقوب؛ روش بهینه سازی فازی برای برنامه ریزی پروژه ها با محدودیت منابع، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی صنایع، ۱۳۸۸.
- Duc Long, L., and Ohsato, A., "Fuzzy critical chain method for project scheduling under resource constraints and uncertainty". *International Journal of Project Management*, 26, pp. 688–698, 2008.
- Sadjadi, S.J., Pourmoayed, R., and Aryanezhad, M.B., "A robust critical path in an environment with hybrid uncertainty". *Applied Soft Computing*, 12, pp. 1087–1100, 2012.
- Zheng, Z., Shumin, L., Ze, G., and Yueni, Z., "Resource constraint multi project scheduling with priority and uncertain activity durations". *International Journal of Computational intelligence*, 6 (3), 530-547, 2013.
- [۲۲] Azaron, A., and Tavakkoli-Moghaddam, R., "A multi-objective resource allocation problem in dynamic PERT networks". *Applied Mathematics and Computation*, 181 (1), pp. 163–174, 2006.
- [۲۳] Bruni, M.E., Beraldi, P., Guerriero, F., and Pinto, E., "A heuristic approach for resource constrained project scheduling with uncertain activity durations". *Computers and Operations Research*, 38(9), pp. 1305–1318, 2011.
- [۲۴] Klerides, E., and Hadjiconstantinou, E., "A decomposition-based stochastic programming approach for the project scheduling problem under time/cost trade-off settings and uncertain durations". *Computers and Operations Research*, 37(12), pp. 2131–2140, 2010.
- [۲۵] Wiesemann, W., Kuhn, D., and Rustem, B., "Maximizing the net present value of a project under uncertainty". *European Journal of Operational Research*, 202(2), pp. 356–367, 2010.
- [۲۶] Rabbani, M., Fatemi Ghomi, S.M.T., Jolai, F., and Lahiji, N.S., "A new heuristic for resource-constrained project scheduling in stochastic networks using critical chain concept". *European Journal of Operational Research*, 176, pp. 794–808, 2007.
- [۲۷] Fatemi Ghomi, S.M.T., and Ashjari, B., "A simulation model for multi-project resource allocation". *International Journal of Project Management*, 20, pp. 127-130, 2002.
- [۲۸] Glowacka, K.J., "Managing projects with stochastic durations", PhD Dissertation, University of Pittsburgh, 2008.
- [۲۹] Greenberg, D., and Ben-Yair, A., "Beta-distribution models in stochastic project management". *Computer Modelling and New Technologies*, 14 (4), 14–18, 2010.
- [۳۰] Azaron, A., and Fatemi Ghomi, S.M.T., "Lower bound for the mean project completion time in dynamic PERT networks". *European Journal of Operational Research*, 186, pp. 120–127, 2008.
- [۳۱] Thibadeau, B.M., "Stochastic Optimization Models for Contingency Allocation in Project Management". The University of Tennessee, Knoxville. PhD Dissertation, 2006.
- [۳۲] Golenko-Ginzburg, D. and Gonik, A., "Stochastic network project scheduling with non-consumable limited resources". *International Journal of Production Economics*, 48, 29–37, 1997.
- [۳۳] Li, H. and Womer, N. K., "Solving stochastic resource-constrained project scheduling problems by closed-loop approximate dynamic programming". *European Journal of Operational Research*, 246, 1, 20-33, 2015.
- [۳۴] Tsai, Y.W., and Gemmill, D.D., "Using tabu search to schedule activities of stochastic resource-constrained projects". *European Journal of Operational Research*, 111, 129–141, 1998.
- [۳۵] Igelmund, G. and Radermacher, F. J., "Algorithmic approaches to preselective strategies for stochastic scheduling problems". *Networks*, 13, 29–48, 1983.
- [۸] [۹] [۱۰] [۱۱] [۱۲] [۱۳] [۱۴] [۱۵] [۱۶] [۱۷] [۱۸] [۱۹] [۲۰] [۲۱]

- Adida, E., and Joshi, P., "A robust optimisation approach to project scheduling and resource allocation". *International journal of operations and informatics*, 4(2), 2009.
- Artigues, C., Leus, R., and Nobibon, T., "Robust optimization for resource-constrained project scheduling with uncertain activity durations", *Flex Serv Manuf J*, 25, pp. 175–205, 2013.
- Chen, X., Sim, M., and Sun, P., "A Robust Optimization Perspective of Stochastic Programming". *Operations Research*, 55(6), pp. 1058 – 1071, 2005.
- Cohen, I., Golany, B., and Shtub, A., "The Stochastic Time–Cost Tradeoff Problem: A Robust Optimization Approach", *Networks*, 49(2), 175-188, 2007.
- Shou, Y. Y., and Wang, W., "A robust optimization model based genetic algorithm for project scheduling policies". *J. Ind. Eng. Eng. Manage*, 23(4), 148–152, 2009.
- Bossaghzadeh, I., Hejazi, S. R., and Pirmoradi, Z., "Developing Robust Project Scheduling Methods for Uncertain Parameters". *Amirkabir International Journal of Science & Research*, 47(1), pp. 21-32, 2015.
- Chtourou, H., and Haouari, M., "A two-stage-priority-rule-based algorithm for robust resource-constrained project scheduling". *Comput. Ind. Eng.*, 55(1), 183–194, 2008.
- König, M., "Robust construction scheduling using discrete-event simulation". *Comput. Civ. Eng.*, 446–453, 2011.
- Tabrizi, B.H., and Ghaderi, S.F., "A robust bi-objective model for concurrent planning of project scheduling and material procurement". *Computers and Industrial engineering*, 98, pp. 11-29, 2016.
- Ben-Haim, Y., and Alexander, L., "Robust Reliability of Projects with Activity-duration Uncertainty". *Journal of construction engineering and management*, 124(2), pp. 125-132, 1998.
- Pang, N. S., and Meng, J. J., "Research on multi-objective robust resource-constrained project scheduling". *Oper. Res. Manage. Sci.*, 21(3), 27–32, 2012.
- Xiong, J., Chen, Y. W., Yang, K. W., Zhao, Q. S., and Xing, L. N., "A hybrid multiobjective genetic algorithm for robust resource constrained project scheduling with stochastic durations". *Math. Probl. Eng.*, 24, 2012.
- He, Z. W., Liu, R. J., and Xu, Y., "Robust scheduling optimization for resource-constrained project based on random duration of activities". *Syst. Eng. Theory Pract.*, 33(3), 650–659, 2013.
- Ben-Zvi, T., and Lechler, T.G., "Resource allocation in multi-project environments: planning vs. execution strategies", in *Proceedings of PICMET'11 Conference*, pp. 1–7, 2011.
- Chiang, A.J., and Jeang, A., "Stochastic project management via computer simulation and optimisation method". *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 2 (4), pp. 211–230, 2015.
- Antoniol, G., Di Penta, M., and Harman, M., "A robust search-based approach to project management in the presence of abandonment, rework, error and uncertainty". DOI:10.1109/METRIC.1357901, *Conference Paper*, Source: IEEE Xplore, 2004.
- Li, M., and Wu, G., "Robust Optimization for Time-Cost Tradeoff Problem in Construction Projects". *Abstract and Applied Analysis*, Article ID 926913, 7 pages, 2014.
- Moghani Ghahremanlouie, S., and Fathi Hafashjani, K., "A Novel Robust Model for Discrete Time-Cost Trade off Problem". *International Journal of Industrial Engineering & Production Management*, 25(1), pp. 1-14, 2014.
- Hazir, O., Haouari, M., and Erel, E., "Robust scheduling and robustness measures for the discrete time/cost trade-off problem". *European Journal of Operational Research*, 207, 633–643, 2010.
- Hazir, O., Erel, E., and Gnalay, Y., "Robust optimization models for the discrete time/cost trade-off problem". *International Journal of Production Economics*. 130(1), pp. 87–95, 2011.
- Ke, H., Wang, L., and Huang, H., "An uncertain model for RCPSP with solution robustness focusing on logistics project schedule". *International Journal of e-Navigation and Maritime Economy*, 3, pp. 71-83, 2015.
- Yamashita, D. S., Armentano, V. A., and Laguna, M., "Robust optimization models for project scheduling with resource availability cost", *J Sched*, 10, pp. 67–76, 2007.
- Mulvey, J.M, Vanderbei, R.J., and Zenios, S.A., "Robust Optimization of Large-Scale Systems". *Operations Research*, 43(2), pp. 264-281, 1995.
- Goh, J., Hall, N.G., "Total Cost Control in Project Management via Satisficing". *Management Science*, 59(6), pp. 1354–1372, 2013.
- Ma, G., Gu, L., and Li, N., "Scenario-Based Proactive Robust Optimization for Critical-Chain Project Scheduling". *M.ASCE, J. Constr. Eng. Manage*, 141 (10), 2015.
- Al-Fawzan, M.A., and Haouari, M., "A bi-objective model for robust resource-constrained project scheduling". *Int. J. Production Economics*, 96, 175–187, 2005.
- Goh, J., Hall, N.G., and Sim, M., "Robust Optimization Strategies for Total Cost Control in Project Management", February 13, 2010.
- Duzgun, R., and Thiele, A., "Multi-Range Robust Optimization vs Stochastic Programming in Prioritizing Project Selection", 2012.

- Hahn, E.D., "Mixture densities for project management activity times: A robust approach to PERT", *European Journal of Operational Research*, 188, pp. 450–459, 2008.
- Mollaei, H., Tavakkoli-Moghaddam, R., Toloei-Eshlaghi, A., and Alborzi, M., "Solving a multi-objective risk-based time-cost-quality trade-off problem by a multiobjective evolutionary algorithm". *GMP Review*, 18 (3), 2015.
- Martinsuo, M., Korhonen, T., and Laine, T., "Identifying, framing and managing uncertainties in project portfolios". *International Journal of Project Management*, 32, 732–746, 2014.
- سلطانی، زهرا؛ زمان‌بندی چند پروژه‌ای با هدف کاهش ریسک عدم دسترسی به منابع و هزینه با رویکرد زنجیره بحرانی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام نور استان تهران، دانشکده مهندسی صنایع، ۱۳۹۳.
- Hans, E.W. Herroelen, W. Leus, R., and Wullink, G., "A hierarchical approach to multi-project planning under uncertainty", *Omega*, 35 (5), pp. 563 – 577, 2007.
- Jeang, A., "Project management for uncertainty with multiple objectives optimisation of time, cost and reliability". *International Journal of Production Research*, 53 (5), pp. 1503–1526, 2015.
- حسین زاده، محمدرضا؛ زمان‌بندی پروژه با فعالیتهای چند اجرایی تحت شرایط عدم قطعیت و محدودیت منابع، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی صنایع، ۱۳۸۹.
- Kavadias, S., and Loch, CH., "Project Selection under Uncertainty Dynamically Allocating Resources to Maximize Value". Kluwer Academic Publishers, 2003.
- Pich, M. Loch, C.H., and De Meyer, A., "On Uncertainty, Ambiguity, and Complexity in Project Management". *Management Science*, 48 (8), pp. 1008–1023, 2002.
- Perminova, O., Gustafsson, M., and Wikstro, K., "Defining uncertainty in projects – a new perspective". *International Journal of Project Management*, 26, 73–79, 2008.
- Maravas, A., and Pantouvakis, J., "Guidelines for Modelling Time and Cost Uncertainty in Project and Programme Management". *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 74, 203 – 211, 2013.
- Laslo, Z., and Goldberg, A. "Resource allocation under uncertainty in a multi-project matrix environment: Is organizational conflict inevitable?". *International Journal of Project Management*, 26, 773–788, 2008.
- Ward, S., and Chapman, C., "Transforming project risk management into project uncertainty management". *International Journal of Project Management*, 21, 97–105, 2003.
- Danilovic, M., and Sandkull, B., "The use of dependence structure matrix and domain mapping matrix in managing uncertainty in multiple project situations". *International Journal of Project Management*, 23, 193–203, 2005.
- Leus, R. Wullink, G. Hans, E.W., and Herroelen, W., "A hierarchical approach to multi-project planning under uncertainty". *Omega*, 35(5), 563–577, 2007.
- Petit, Y., "Project Portfolios In Dynamic Environments: Organizing For Uncertainty". *International journal of project management*, 30, 539–553, 2012.
- Chakraborty, R.k., Sarker, R.A., and Essam, D.L., "Multi-Mode resource constrained project scheduling under resource disruptions". *Computers and Chemical Engineering*, 88, pp. 13–29, 2016.
- Nozick, L., Turnquist, M.A., and Xu, N., "Managing Portfolios of Projects under Uncertainty". *Annals of Operations Research*, 132, pp. 243–256, 2004.