**زمان­بندی پروژه­ در شرایط عدم قطعیت مدت فعالیت­ها با استفاده از یک الگوریتم**

**چکیده**

این مقاله، مساله زمان­بندی پروژه تحت محدودیت منابع[[1]](#footnote-1) (RCPSP) را در بخشی از پروژه پارس جنوبی در دنیای واقعی برسی می­کند. با توجه به اینکه در پروژه­های دنیای واقعی، اکثر فعالیت­ها جدید بوده و با عدم قطعیت در زمان انجام این فعالیت­ها مواجه هستیم که منجر به تغییرات زیادی در زمان اتمام پروژه می­شوند در این تحقیق برای نمایش عدم قطعیت مدت فعالیت­ها، از اعداد فازی استفاده شده است. به دلیل NP-hard بودن مساله RCPS، یک روش بهینه­سازی ترکیبی بر مبنای الگوریتم شبیه­سازی تبرید و الگوریتم ژنتیک برای حل مساله زمان­بندی پروژه تحت محدودیت منابع در شرایط عدم قطعیت زمان فعالیت­ها ارائه می­شود برنامه تولید زمان­بندی به­کار رفته در الگوریتم ترکیبی پیشنهادی، روش تولید زمان­بندی موازی فازی می­باشد*. الگوریتم پیشنهادی، حداقل زمان تکمیل پروژه را با در نظر گرفتن محدودیت منابع تجدیدپذیر و محدودیت روابط پیشنیازی فعالیت­ها تولید می­کند و این قابلیت را دارد که دقیقا با اعداد فازی اجرا شده و جزئیات پروژه شامل زمان شروع، زمان پایان فعالیت­ها و زمان تکمیل پروژه را به­صورت اعداد فازی ارائه ­کند. در نهایت اعتبارسنجی الگوریتم مورد سنجش قرار خواهد گرفت و نشان می­دهیم الگوریتم پیشنهادی، الگوریتمی کارا بوده و بسادگی قابل استفاده توسط مدیران و برنامه­ریزان پروژه در پروژه­های واقعی می­باشد.*

**کلمات کليدي :** زمان­بندي پروژه، محدوديت منابع، مجموعه فازی، شبيه سازي تبريد، روش تولید زمان­بندی موازی

1. **مقدمه**

مسئله زمان­بندي پروژه عبارت از تعيين زمان انجام فعاليت­هاي يک پروژه، با توجه به محدوديت­هاي حاکم بر آن، براي رسيدن به يک هدف معين است. اين هدف ممکن است جنبه مالي، زماني و يا کيفي داشته باشد. در پروژه­های واقعی، دو مقوله مهم وجود دارد: حداقل کردنزمان اتمام پروژه(با توجه به ضرورت نیاز به استفاده از محصول پروژه) و محدودیت منابع. بر همین اساس، موضوع زمان­بندی پروژه و به تبع آن زمان­بندی بهینه پروژه بدلیل صرفه­جوی اقتصادی، استفاده بهینه از منابع و تکمیل پروژه در بهترین زمان ممکن (زمان بهینه) جهت ارائه خدمات حاصل از پروژه دارای اهمیت زیادی می­باشد.

در جهان واقعی، بدلیل تغییرات محیط بیرونی (مانند: آب و هوا، کمبود فضا، حوادث طبیعی و غیر تکراری بودن یا عدم مواجهه مدیران پروژه با فعالیت مشابه در تجربیات قبلی) عدم قطعیت در تعیین مدت زمان فعالیت­های پروژه وجود دارد که این عدم قطعیت در فعالیت­های پروژه احداث بسیار پررنگ­تر است. بنابراین این عدم قطعیت بایستی در مسائل زمان­بندی پروژه در نظر گرفته شده و مدیریت شود. برای مواجهه با این عدم قطعیت، دو متدولوژی وجود دارد: رویکرد فازی و رویکرد احتمالی. رویکرد اول (تئوری فازی)برای نشان دادن این عدم قطعیت در پروژه­های دنیای واقعی، بدلایل زیر دارای کارایی بیشتری می­باشد ]1و2و3 و4[: الف- نیاز کمتر رویکرد فازی به اطلاعات در مقایسه با رویکرد احتمالی. ب- عدم دسترسی و یا کمبود اطلاعات پروژه­های گذشته و مشابه در برآوردها توسط افراد خبره. ج- سهولت حل روش­های فازی. د- حجم کمتر محاسبات نسبت به روش­های احتمالی. و- عدم نیاز به مفروضاتی که در رویکرد احتمالی وجود دارد. بر همین اساس در این تحقیق، زمان انجام فعالیت­ها بصورت عدد فازی ذوزنقه­ای در نظر گرفته شده است که به­وسیله مصاحبه با خبرگان درگیر در پروژه و بر اساس نظرات آنها برآورد می­گردند.

برخی از محققان مطالعاتی روی مساله زمانبندی پروژه تحت محدودیت منابع و عدم قطعیت زمان فعالیت­ها داشته­اند که طی برسی­های انجام شده در ادامه چند تحقیق مرتبط انجام شده آورده می­شود.

 ایشی و همکاران ]5[ از روش زمان­بندی پیشرو برای حل زمان­بندی مساله استفاده کردند آنها برای سادگی استفاده از اعداد فازی از روش - برش فازی استفاده کرده و یک زمان تکمیل پروژه بصورت بازه بسته [a,b] *ارائه کردند.*

*جویت وانگ و همکاران یک مفهوم ریسک زمان­بندی را پیشنهاد کردند و یک الگوریتم ژنتیک با استفاده از قانون اولویت برای حل مساله با هدف حداکثر کردن نیرومندی و استحکام زمان­بندی ارائه دادند* ]*6*[. *باسکار و همکاران در مقاله­ای یک روش ابتکاری برای حل مساله RSPS تحت زمان فازی فعالیت­ها ارائه کردند. روش مبنی بر قانون اولویت را برای نمایش حل استفاده کردند و روش تولید زمان­بندی موازی را برای حل مساله بکار بردند* ]*7*[*.*

 *هوانگ-کیو و همکاران یک چهارچوب شامل الگوریتم ژنتیک ترکیب با تابو، برای حل مساله زمان­بندی تحت محدودیت منابع و رویکرد فازی ارائه کردند که منجر به یک حل بهینه تقریبی می­شد* ]*8*[. *احمد سلطانی و همکاران یک روش زمانبندی پروژه با استفاده از تئوری اعداد فازی ارائه کردند که در آن محدودیت منابع را در نظر نگرفتند* ]*9*[*.*

*با توجه به اینکه مساله RCPSP، بعنوان یک مساله NP-hard شناخته شده است* ]*10*[*، درنتیجه استفاده از روشهای دقیق برای حل این مساله در ابعاد بزرگ توجیه­پذیر نبوده و بشدت کارایی خود را از دست می­دهند. لذا برای حل این مسائل از روش­های ابتکاری و فراابتکاری کمک رفته می­شود. که نمونه­هایی در بالا ذکر شد.*

*هدف این مقاله توسعه الگوریتم ترکیبی شبیه­سازی تبرید فازی و الگوریتم ژنتیک برای زمان­بندی پروژه تحت محدودیت منابع و عدم قطعیت زمان فعالیت­ها می­باشد که الگوریتمی کارا بوده و قابل استفاده توسط مدیران و برنامه­ریزان پروژه در پروژه­های واقعی می­باشد. در این الگوریتم، طول فعالیت­ها با استفاده از اعداد فازی ذوزنقه­ای نمایش داده شده است. الگوریتم پیشنهادی، حداقل زمان تکمیل پروژه را با در نظر گرفتن محدودیت منابع اقتصادی و نیروی انسانی تولید می­کند و این قابلیت را دارد که با اعداد فازی اجرا شده و جزئیات پروژه شامل زمان شروع، زمان پایان فعالیت­ها و زمان تکمیل پروژه را به­صورت اعداد فازی ارائه می­کند.*

*در ادامه، ابتدا عدم قطعیت فازی، شرح مساله زمانبندی و الگوریتم پیشنهادی ترکیبی تشریح می­گردد و سپس، اطلاعات بخش نصب سازه­های فلزی از پروژه احداث پالایشگاه آورده شده و با استفاده از الگوریتم پیشنهادی شبیه­سازی تبرید ترکیبی با الگوریتم ژنتیک و مجموعه­های فازی حل می­شود. در نهایت برای اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی، چند مساله نمونه در ابعاد کوچک را با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل کرده و با حل توسط نرم­افزار* GAMS *مورد مقایسه قرار خواهیم داد.*

1. ***عدم قطعیت فازی***

***2-1.******تئوری مجموعه­های فازی***

در رياضيات كلاسيك مجموعه ها داراي مرزهاي مشخص و روشن هستند. تعلق يك عضو به يك مجموعه بصورت صريح بوده و يك عضو مي تواند به يك مجموعه تعلق داشته باشد و يا به آن تعلق نداشته باشد. در دنياي پيرامون ما برخي از مجموعه­ها نظير مجموعه افراد قد بلند وجود دارند كه داراي مرزهاي مشخص نيستند. بنابراين تعريف چنين مجموعه­هايي در رياضيات كلاسيك امكان پذير نيست. براي حل اين مشكل مجموعه­هاي فازي تعريف شده اند. در نظریه فازي يك مجموعه فازي صورت تعميم يافته يك مجموعه كلاسيك است كه اجازه مي دهد هر عضو مجموعه مقدار تعلقي را بين صفر و يك اختيار نمايد. به عبارت ديگر، در يك مجموعه كلاسيك هر عضو مي تواند مقدار تعلقي برابر صفر يا يك داشته باشد، در حالي كه در يك مجموعه فازي، تابع تعلق بصورت يك تابع پيوسته در محدوده صفر و يك مي باشد. حداكثر مقدار تابع تعلق يك مجموعه فازي را ارتفاع آن مجموعه گويند. به يك مجموعه فازي كه ارتفاع آن برابر يك مي­باشد مجموعه فازي طبيعي گفته مي­شود.

 بنابراين مجموعه فازيA در فضای جهانی U را می­توان به­صورت زوج­های مرتبی از X و مقدار تابع تعلق آن (x) مطابق رابطه (1) نمایش داد.

(1)

در این رابطه نشان­دهنده تابع تعلق(عضویت) یا درجه عضویت مجموعه A می­باشد. به­طوریکه برد این تابع شامل اعداد حقیقی غیر منفی در فاصله بسته [0,1] می­باشد. چنانچه مقدار تابع تعلق برای یک عضو مجموعه برابر صفر باشد، آن عضو مجموعه بصورت مطلق به آن مجموعه تعلق نداشته و اگر مقدار تابع تعلق براي يك عضو مجموعه برابر يك باشد، آن عضو به­صورت مطلق به مجموعه تعلق دارد. این درجه عضویت اصل بنیادی مجموعه­های فازی محسوب می­گردد و هیچ روش قطعی برای تعیین تابع عضویت وجود ندارد و برای اعداد فازی شکل­های مختلفی متصور است. لذا تعیین شکل و تابع عضویت بیش از همه یک مقوله حسی و تجربی می­باشد که توسط فرد خبره تعیین می­شود. انجام محاسبات با اعداد فازی به دلیل ساختار خاص آن­ها بسیار زمان­بر و پیچیده می­باشد برای تسهیل و کاربردی نمودن اعدا فازی، اعداد فازی خاصی معمولا به­کار گرفته می­شوند. این اعدا خاص معمولا به­صورت اعداد زنگوله­ای[[2]](#footnote-2)، مثلثی[[3]](#footnote-3)، ذوزنقه­ای[[4]](#footnote-4) هستند ]11[. در این تحقیق، از اعداد فازی ذوزنقه­ای می­گردد که در ادامه توضیح داده می­شود.

***2-2.******حساب فازی***

 برای اعدا فازی نیز همانند اعداد حقیقی می­توان عملگرهای جمع، تفریق، ضرب، تقسیم، ماکسیمم، مینیمم، اشتراک و ... را تعریف نمود که در اینجا بر حسب کاربرد و نیاز فقط عملگرهای جمع، تفریق، ماکسیمم و مینیمم معرفی می­گردد ]12.[

**الف- جمع اعداد فازی ذوزنقه­ای**

 از مجموع دو عدد فازی ذوزنقه­ای (a, b, c, d)= و (a', b', c', d') = عدد فازی جدید + = حاصل می­شود که تابع عضویت آن به­صورت زیر به­دست می­آید:

و مجموعه فازی به­صورت زیر بدست می­آید:

 + =

**ب- تفریق دو عدد فازی**

از تفریق دو عدد فازی ذوزنقه­ای (a, b, c, d)= و (a', b', c', d') = عدد فازی جدید - = به­دست می­آید که تابع عضویت آن به­صورت زیر می­باشد:

که مجموعه فازی بصورت زیر تعریف می­شود:

- =

**ج- ماکسیمم و مینیمم دو عدد فازی**

 ماکسیمم و مینیمم دو عدد فازی ذوزنقه­ای (a, b, c, d)= و (a', b', c', d') = به­صورت زیر معرفی می­گردند:

***2-3.******مقایسه (رتبه­بندی) اعداد فازی***

 با توجه به برسی ادبیات مرتبط، رتبه بندی نوع دوم (استفاده از روابط فازی) بر دو گونه است رتبه­­بندی ضعیف و رتبه­بندی قوی اعدا فازی که در ادامه به­طور مختصر تشریح می­گردند.

**2-3-1. رتبه­بندی قوی اعداد فازی[[5]](#footnote-5)(SCR)**

در حالت رتبه­بندی قوی اعداد فازی، برای مقایسه دو عدد فازی و رابطه زیر را وجود دارد ]13:[

**2-3-2. رتبه­بندی ضعیف اعداد فازی[[6]](#footnote-6) (WCR)**

**الف. رتبه­بندی با استفاده از مقدار انتگرال**

رویکرد مقدار انتگرال که توسط چن برای مقایسه دو عدد فازی توسعه داده شد، به­صورت زیر توصیف می­شود ]14:[

فرض کنید عدد فازی داده شده است. توابع و بترتیب توابع معکوس تابع چپ و راست عدد فازی فرض می­شوند. مقدار انتگرال چپ و راست عدد فازی بصورت زیر تعریف می­شوند:

 (*2*)

 (*3*)

سپس مقدار انتگرال کل عدد فازی به­صورت مجموع وزن داده شده از توابع و به­صورت زیر تعریف می­شود:

 (*4*)

بطوریکه ، اندیس خوش­بینی می­باشد که توسط مدیران پروژه تعریف می­شود. اگر باشد، فرمول(4) به­صورت زیر تعریف می­شود:

 (*5*)

جایکه ، و سطوح -برش از به­صورت مجموعه زیر تعریف می­شود:

 (*6*)

و در نهایت برای دو عدد فازی و داریم:

 (*7*)

**ب. رتبه­بندی اعداد فازی با استفاده از رویکرد فاصله­ای**

چنگ ]15 [یک روش مبتنی بر فاصله را برای مقایسه دو عدد فازی مبنی بر فاصله بین مرکز مختصاد و مرکز جرم عدد فازی را توسعه داد. فرض کنید که عددی خیلی کوچک، تقریبا معادل با صفر باشد. برای محاسبه مرکز جرم عدد فاز بصورت زیر عمل می­کنیم ]14[:

 (8)

 *(9)*

که برای عدد فازی ذوزنقه­ای، فرمول­های فوق را به­صورت ساده شده مطابق روابط زیر می­توان نوشت:

 (*10*)

 (*11*)

و با استفاده از معادله­های فوق، فاصله عدد فازی از مرکز مختصاد به­صورت زیر محاسبه می­شود:

 (12)

و در نهایت برای مقایسه دو عدد فازی و به روش فاصله­ای خواهیم داشت:

if *(13)*

if (14)

if (15)

1. **تشریح مساله**

مساله برنامه­ريزي (زمانبندی) پروژه با منابع محدود را با توجه به شرايط متفاوت، مي توان به صورت هاي مختلفي مدل­سازي كرد. شبكه هاي پروژه[[7]](#footnote-7) كه نشان دهنده پروژه خواهند بود، به دو شكل، فعاليت بر روي گره ها (AOA)[[8]](#footnote-8)و فعاليت­ها بر روي کمان­ها[[9]](#footnote-9)(AON)، نشان داده مي شوند. در این مقاله فرض می­گردد كه شبکه پروژه به صورت فعاليت بر روي گره (AON)، مانند گراف G(V, E) است که در آن V مجموعه­ی گره ها، و بيانگر فعاليت هاي پروژه بوده و E مجموعه يال های[[10]](#footnote-10) گراف و بيانگر رابطه منطقي پايان به شروع بدون تأخیر زمانی بين فعاليت ها (روابط پیشنیازی بین فعالیت­ها) مي باشد. روابط پيش نيازي از نوع پايان به شروع[[11]](#footnote-11) در نظر گرفته شده است. محدوديت هاي روابط پيش نيازي بيان مي کنند که هيچ فعاليتي را نمي­توان در زمانt زمان­بندی کرد مگر آن­که تا زمان t، تمام پيش نيازهاي آن اتمام يافته باشند. فرض شده است که تمام فعاليت ها در زمان صفر آماده هستند و نيز زمان آماده سازي براي فعاليت ها متصور نيست و جزئي از زمان انجام فعاليت درنظر گرفته شده است. مابين فعاليت­ها اولويت وجود ندارد. به عبارت ديگر هيچ فعاليتي بر فعاليت ديگر ارجحيت ندارد. هر فعاليتي که آغاز مي شود بايد بدون وقفه تا انتها انجام شود و قطع فعاليت ها جايز نيست. منابع به صورت تجديد پذير درنظر گرفته شده­اند. به اين معني که هر منبع در هر پريود زماني داراي سقف استفاده مشخصي است و بيش از آن نمي­توان از آن منبع استفاده کرد و منابع در ابتداي هر پريود زماني کاملا در دسترس هستند. با توجه به اين مفروضات، مدل رياضي مساله به­صورت زیر ارائه مي شود:

 (11)

 (12)

(13)

 (14)

 (15)

 (16)

 (17)

 (18)
 (19)

پارامترهای مورد استفاده در مدل، به­صورت تعریف شده­اند:

V: مجموعه رأسهای گراف (گره­ها)

 J={0,1,…,n+1}: مجموعه فعالیت­های پروژه

 : مدت زمان انجام فعالیت j که به­صورت عدد فازی ذوزنقه­ای می­باشد.

 : زودترین زمان شروع فعالیت j که به­صورت عدد فازی ذوزنقه­ای می­باشد.

 : زودترین زمان پایان فعالیت j که به­صورت عدد فازی ذوزنقه­ای می­باشد.

 : مجموعه فعالیت­هایی که در دوره t، در حال انجام هستند و از آنها به عنوان مجموعه فعاليت­هاي فعال[[12]](#footnote-12) یاد می­شود.

P(j) : مجموعه فعالیت­های پیشنیاز فعالیت j

Q(J): مجموعه کل فعالیت­های پسنیاز فعالیتj

 : حداکثرمقدار موجود از منبع نوع K

 : مقدار لازم از منبع نوع Kبرای انجام فعالیت i

T: حداکثر مدت زمان تکمیل پروژه

R : تعداد منابع تجديدپذير

 در مدل برنامه ريزي بالا، رابطه (11) تابع هدف نشان دهنده كمينه­سازي زمان اتمام فعاليت n+1 مي باشد. در واقع، زمان اتمام اين فعاليت برابر است با زمان اتمام همه­ی فعاليت­هاي پروژه كه برابر با زمان اتمام پروژه[[13]](#footnote-13) خواهد بود. محدوديت­هاي مسئله عبارتند از: محدودیت (12) بیان کننده زمان شروع پروژه می­باشد. محدوديت (13)مربوط به روابط تقدمی و تأخری(بدون تأخیر زمانی) بين فعاليت هاي پروژه می­باشد. بدين ترتيب كه هيچ فعاليتي نمي تواند زودتر از اتمام تمامي فعاليت هاي پيش نيازي خود شروع شود. محدوديت (14) مربوط به منابع در دسترس براي انجام فعاليت ها در بازه هاي زماني افق برنامه­ريزي پروژه می­باشد. محدودیت (15) و (16) بیان کننده این مفهوم­ هستند که فعالیت­های صفر و n+1، فعالیت­های مجازی پروژه(با زمان انجام صفر) هستند و محدودیت (17)، بیان می­کند که فعالیت­های پروژه بدون انقطاع می­باشند. محدودیت (18) بیانگر این مطلب است که زمان شروع فعالیت فعالیت jام بزرگتر یا مساوی با بیشترین زمان اتمام فعالیت­های پیشنیازی خودش می­باشد این یعنی اینکه فعالیت jام زمانی شروع می­شود که تمام فعالیت­های پیشنیازیش تمام شده باشند.

1. ***الگوریتم ترکیبی پیشنهادی***

همانطور که قبلا گفته شد مساله RCPS جزء مسائل NP-hard محسوب می­شو و حل آن در ابعاد بزرگ از طریق روشهای دقیق برنامه­ریزی خطی امکان­پذیر نبوده و یا به مدت زمان بالایی نیاز دارند لذا برای حل این­گونه مسائل از روش­های فراابتکاری استفاده می­شود. در این تحقیق، برا حل مساله RCPS، از الگوریتم فراابتکاری شبیه­سازی تبرید استفاده شده است که در آن از عملگرهای تقاطع و جهش الگوریتم ژنتیک کمک گرفته می­شود. استفاده از فرآيند سرمايش در مباحث بهينه سازي اولين بار توسط کرک پاتريک[[14]](#footnote-14) در سال ۱۹۸۰ تحت عنوان شبيه­سازي تبريد[[15]](#footnote-15) (SA) پیشنهاد شد ]16[. اين روش با استفاده از قواعد علم فيزيک آماري به وجود آمده و به دنبال يافتن راهي براي استفاده از اين قواعد در بستر بهينه سازي ترکيبي[[16]](#footnote-16) مي باشد. فرآیند اين الگوريتم همانند شکل­گيري کريستال­هاي فلز گداخته در حين خنک شدن است. شبيه­سازي تبريد، الگوريتمي است که بوسيله حرکت تدريجي از يک جواب قابل قبول به جواب دیگر، به سمت بهينه کردن تابع هدف مي رود.

در شبيه سازي تبريد در هر تکرار، تفاوت بين مقدار تابع هدف به ازای جواب داوطلب و ميزان تابع هدف به ازای جواب جاري محاسبه مي شود ، اگر اين تفاوت مطلوب بود، جواب داوطلب پذيرفته مي شود و جايگشت ديگري انتخاب مي شود. تا اين قسمت از فرآیند، همانند الگوريتم­هاي بهبود دهنده محلي بود. ولي آنچه متفاوت است اينکه در الگوريتم شبيه سازي تبريد اگر δ مطلوب نبود، جواب کانديد حتما رد نمي شود بلکه با احتمالي از پيش تعيين شده ممکن است پذيرفته مي شود. به اين ترتيب، شبيه­سازي تبريد، علاوه بر حرکت در يک سراشيبي ممکن است در يک مسير سربالايي هم حرکت کند و با اين فرآیند الگوريتم شبيه سازي تبريد امکان فرار از دام بهينه هاي محلي را فراهم مي آورد ]17.[

احتمال پذیرش «جواب غیر بهبود دهنده» به صورتی محاسبه می­شود که عواملی بستگی دارد که عبارت از موارد زیر است:

الف. درجه نزدیکی جواب داوطلب به جواب بهینه جاری.

ب. درجه حرارت مساله.

توجه به اين دو عامل، احتمال پذيرفتن جوابي که بهبود دهنده نيست) با افزايش فاصله از بهينه جاري) کاهش مي يابد و هر چه درجه حرارت مساله پايين­تر باشد، بايد با احتمال کمتري جواب نامطلوب را بپذيريم تا کريستال­ها به صورت مناسبي شکل بگيرند يا به عبارت ديگر همگرايي نهايي الگوريتم به جواب بهينه حفظ شود. تاهنگامي که به يک مرحله فريز شده برسيم جواب جديد را امتحان مي کنيم. مشخصات يک مرحله فريز شده عبارتند از: تعداد جواب هاي امتحان شده در يک دما از حد مورد نظر گذشته باشد و يا اينکه تعداد از پيش تعيين شده اي از جوابها چک شوند بدون اينکه هيچ يک از آنها شرايط پذيرش را داشته باشند. در ادامه استخوان­بندی الگوریتم SA، شامل نحوه نمایش جواب، تولید جواب اولیه، نحوه تولید جواب همسایه بطور مختصر شرح داده می­شوند.

***4-1. نحوه نمایش جواب***

در تمام الگوريتم­هاي فراابتكاري، به­دليل نياز به حل شدني در شروع كار، لازم است حل شدني بر طبق ساختار مشخصي ذخيره گردد كه به اين ساختار، نحوه نمايش جواب مي­گويند. يك حل شدني براي مسأله مورد نظر، در شكل (1) نشان داده شده است. اين شكل يك ماتريس یک بعدي با ابعاد n ×1 است و این سطر ترتيب فعالیت­ها را بگونه­ای نشان نشان مي­دهد که از چپ به راست، فعالیت­ها به­ترتیب در اولویت اجرا هستند.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| n | ............................ | 4 | 2 | 1 |

**شکل (1) : نحوه نمایش جواب**

**4- 2. تولید جواب اولیه**

در مساله زمان­بندی پروژه، برای تولید جواب اولیه از روشی استفاده می­شود که آن­را روش تولید زمان­بندی می­نامیم. این روش نقش بسیار مهمی در اکثر روش­های ابتکاری و فراابتکاری و حل این مساله ایفا می­کند. این روش یک فهرست نمایش مانند لیست فعالیت، کلید تصادفی یا نمایش قانون اولویت (priority rule) را گرفته و آن­را تبدیل به یک برنامه زمان­بندی می­کند. دو نوع مختلف از این روش وجود دارد؛ برنامه تولید زمان­بندی سری[[17]](#footnote-17) و برنامه تولید زمان­بندی موازی[[18]](#footnote-18). در این تحقیق، با توجه به مطالعات انجام شده توسط مسیج وهمکاران ]18[، از روش زمان­بندی موازی که دارای کارای بهتری است استفاده می­کنیم. همچنین براساس تحقیق کولیش ]19[، برای تبدیل یک شکل نمایش جواب به یک زمان­بندی شدنی، در اینجا از یک روش زمان­بندی موازی فازی استفاده شده است که روش زمان­بندی موازی آن از روش مرجع ]19[ گرفته شده و آنرا فازی نموده­ایم.

شبه کد برنامه تولید زمانبندی موازی (PSS) به­صورت زیر آمده است:

PSS

*End;*

برخی پارامترهای مورد استفاده در این شبه­کد، به شرح زیر می­باشند:

:مجموعه فعالیت­های که تا زمانزمان­بندی شده­اند ولی هنوز تکمیل نشده­اند و به مجموعه فعال معروف می­باشند.

: مجموعه فعالیت­های که تا زمانبه اتمام رسیده­اند.

: مجموعه فعالیت­هایی که پيش نيازهاي آن­ها تا زمان به اتمام رسیده­اند. یعنی پيش نيازهاي آن­ها در مجموعه قرار دارند.

: *قانون اولویت فعالیت­ها را نمایش می­دهد*.

**4-3. تولید جواب همسایه**

براي جستجو در فضاي شدنی و تولید جواب هاي همسایه، از دو عملگرکاراي الگوریتم ژنتیک استفاده می شود. که در الگوریتم به­صورت تصادفی در هر تکرار یک از این دو عملگر برای تولید جواب همسایه استفاده می­شود. و این دو عملگر، به ترتیب زیر تعریف می­شوند.

* عملگر جهش[[19]](#footnote-19) (**Opt** - 1):

در اين بخش روش بکارگرفته شده براي توليد جواب همسايه از جواب جاري شرح داده شده است. براي توليد جواب همسايه بعد از توليد جواب اوليه، يک فعاليت به تصادف انتخاب مي شود. این فعالیت به بعد از آخرین فعالیت از فعالیت­های پیشنیازش در لیست فعالیت انتقال داده می­شود.

فرض کنيد که جواب اوليه اي توسط الگوريتم به صورت شکل (2) توليد شده است. کار ۵ را در نظر بگيريد. تنها پيش نياز اين فعاليت، فعاليت شماره ۳بوده است. پس کار ۵ ميتواند بلافاصله بعد از کار ۳ آغاز شود . در اين مثال فعاليت ۵ به بعد از کار ۳ انتقال داده شده است.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10 | 8 | 9 | 2 | 5 | 6 | 7 | 3 | 4 | 1 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 10 | 8 | 9 | 2 | 6 | 7 | 5 | 3 | 4 | 1 |

شکل(2): روش تولید جواب همسایه

* **عملگر تقاطعی**[[20]](#footnote-20) (**Opt-2**): فرض کنید دو کروموزم از جمعیت جاری بعنوان پدر و مادر به­صورت زیر داشته باشیم:

دو فرزند جدید پسر و دختر با استفاده از تقاطع تک نقطه­ای به­صورت زیر تولید می­کنیم:

برای تولید فرزند دختر، عدد r را به­صورت تصادفی تولید می­کنیم بطوریکه 0<r<J، فرزند دختر به این صورت تولید می­شود: (a)-برای هر عضو بطوریکه *، . (b)-*اعضاء برای ، از کروموزم پدر گرفته می­شوند بطوریکه تکراری نیز نباشند به­صورت زیر:

آقای هارتمن[[21]](#footnote-21) ]20[ ثابت کرد کهاین روش یک جواب شدنی از لحاظ روابط تقدمی تولید می­کند. فرزند پسر نیز همانن فرزند دختر تولید می­شود با این تفاوت که موقعیتهای i=1,2,…,r، از والد پدر گرفته می­شوند.

1. **نتایج محاسباتی**

مدل ریاضی ارائه شده در این تحقیق، با استفاده از الگوریتمSA پیشنهادی، در محیط نرم­افزار MATLAB نسخه 7.8 کدنویسی شده است و در یک لپ­تاپ CORE i5 با 2.4 گیگا هرتز، اجرا شده است. در این بخش، ابتدا پارامترهای ورودی مساله و نتایج حل الگوریتم پیشنهادی بحث می­گردد و در ادامه سنجش اعتبار الگوریتم SA پیشنهادی نشان داه می­شود.

پارامترهاي ورودي مساله، شامل پارامتر­هاي عمومی و پارامترهاي کنترلی SA می­باشد. پارامترهای عمومی مربوط به مشخصات فعالیت­ها و منابع می­باشند که پارامترهای مربوط به فعالیت­ها عبارتند از: زمان انجام هر فعالیت، فعالیت­های پیشنیاز برای هر فعالیت، تعداد فعالیت­ها، منابع مورد نیاز هر فعالیت و یک لیست اولویت از فعالیت­ها می­باشد که برای تولید جواب اولیه مورد استفاده قرار می­گیرد که با استفاده از این روش جمعیت اولیه متشکل از 20 کروموزوم بعنوان ورودی الگوریتم تولید می­کنیم. پارامتر­هاي مربوط به منابع شامل تعداد منابع و مقدار موجود از هر کدام می­باشد.

5-1. پارامترهای کنترلی الگوریتم پیشنهادی

پارامتر­های کنترلی SA، شامل حداکثر تکرار جواب در هر درجه حرارت (معیار خروج از حلقه درونی)، حداکثر دفعات تغییر درجه حرارت (معیار خروج از حلقه بیرونی)، دمای اولیه، دمای نهایی و ضریب سردی است که بر اساس مقالات ادبیات مروری و بخصوص تحقیق دانش­پایه [21] به ترتیب برابر100، 100، 5، صفر و 95/0 انتخاب می­شود. البته امکان تغییر این پارامترها به طور دستی، در برنامه اصلی وجود دارد. داده­هاي مرتبط با پارامترهاي ورودي و نیز بازه تولید آن­ها، در جدول) 1) مشخص شده است.

1. جدول(1): داده‌های مربوط به پارامترهای ورودی

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **موجودیت** | **پارامتر** | **مقدار داده­ها یا روش تولید داده­ها** |
| فعالیت | تعدادفعالیت | 40 |
| زمان انجام فعالیت |  ، که به­صورت عدد فازی ذوزنقه­ای می­باشد و مطابق جدول (4-1) در دسترس است |
| مجموعه فعالیت­های پیشنیاز | ، طبق اطلاعات جدول (4-1) |
| منابع مورد نیاز فعالیت |  (طبق اطلاعات جدول (4-1)) |
| منابع | تعداد منابع | 2 |
| مقدارموجود از هر منبع | , k=1,2 (مطابق داده­های بخش (4-2) به ترتیب برابر 150 و 100 واحد است) |
| لیست اولویت | یک سطر با n ستون |  یک سطراز فعالیت­ها به ترتیب اولویت مینیمم طول فعالیت از چپ به راست |
| کنترل برنامه | تعداد جواب­هایپذیرفته شده در هر دما | 100 |
| حداکثر تعداد تغییر دما | 100 |
| دمای اولیه | 5 |
| دمای نهائی | صفر |
| نرخ کاهش دما | 95/0 |

1. **اجرای الگوریتم پیشنهادی**

براي نشان دادن جواب ارائه شده توسط الگوريتم طراحي شده، بخش نصب سازه­های فلزی شامل 40 فعالیت، از یک پروژه احداث پالایشگاه در دنیای واقعی از طریق مصاحبه با افراد خبره درگیر در پروژه به­عنوان مساله نمونه این تحقیق انتخاب شد و سپس داده­های مورد نیاز برای زمان­بندی این بخش از پروژه، از خبرگان

پروژه احصاء شد که این اطلاعات در جدول (1) آورده شده است. شبکه پیشنیازی مساله نمونه در شکل (4) رسم شده است. فعالیت­های S و E فعالیت­های شروع و پایان پروژه می­باشند که به­صورت مجازی تعریف شده­اند. در این مساله زمان فعالیت­ها به­صورت اعداد فازی ذوزنقه­ای در نظر گرفته شده که توسط افراد خبره برآورد شده­اند و منابع تجدیدپذیر برای این مساله به دو دسته نیروی انسانی و ماشین­آلات تقسیم می­شوند. و مقدار موجود از این منابع به ترتیب 150 نفر و 100 دستگاه می­باشد.



**شکل(3). گراف روابط پیشنیازی مساله نمونه**

در جدول (2) اطلاعات پروژه شامل پیشنيازهای فعالیت­ها به همراه ميزان استفاده هر فعالیت از دو منبع درنظر گرفته شده است که از منبع یک به میزان 150واحد، و از منبع دو به میزان 100واحد موجود است.

جدول (2): اطلاعات هر فعالیت شامل زمان انجام، منابع مورد نیاز و فعالیت­های پیشنیاز هر فعالیت

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| *منابع مورد نیاز* | *فعالیت­های پیشنیاز* | *مدت فعالیت* | *کد فعالیت* | *نام فعالیت* |
|  |  |  |  |  |  |
| *-* | *-* | *-* | *(0 0 0 0)* | *1* | شروع |
| *23* | *20* | *1* | *(17 16 14 12)* | *2* | Arr.on SITE STEEL STRUCTURE CDU Unit 01 |
| *30* | *41* | *1* | *(49 46 43 41)* | *3* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-004 up to First Level |
| *23* | *27* | *2* | *(35 31 28 26)* | *4* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-51-002 up to First Level |
| *29* | *33* | *2* | *(17 16 14 12)* | *5* | Arr.on SITE STEEL STRUCTURE CDU Unit 51 |
| *34* | *38* | *2* | *(65 62 58 55)* | *6* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-002 up to Intemed.Level |
| *22* | *32* | *2* | *(27 26 23 22)* | *7* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-005 up to Top |
| *15* | *23* | *2* | *(17 16 14 12)* | *8* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-006 up to TOP |
| *18* | *34* | *2* | *(35 31 28 26)* | *9* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-002 up to First Level |
| *19* | *36* | *2* | *(33 31 28 27)* | *10* | ERECT.MED.-HEAVY PR-01-003 to Closed Blowdown |
| *47* | *59* | *4* | *(65 62 58 55)* |  *11* | MEDIUM-HEAVY STR-51-002 up to Intemediate Level |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *38* | *44* | *4و5* | *(49 46 43 41)* | *12* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-51-004 up to First Level |
| *18* | *39* | *5 و 12* | *(27 26 24 21)* | *13* | MEDIUM-HEAVY STR.STR-51-005 up to First Level |
| *26* | *37* | *5* | *(49 46 43 41)* | *14* | MEDIUM-HEAVY STR-51-003 up to Intemediate Level |
| *16* | *21* | *5* | *(17 16 14 12)* | *15* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-51-006 up to TOP |
| *25* | *29* | *5* | *(17 16 14 12)* | *16* | Arr.on SITE STEEL STRUCTURE CDU Unit 71. |
| *40* | *39* | *6* | *(49 46 43 41)* | *17* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-003 up to Intemed.Level |
| *34* | *55* | *2 و 3 و 9* | *(27 26 24 21)* | *18* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-005 up to First Level |
| *78* | *97* | *2 و 7 و 8* | *(450 445 435 428)* | *19* | ERECT.MEDIUM-HEAVY STR. CDU Unit 01 |
| *14* | *34* | *13و 14و 15* | *(17 16 14 12)* | *20* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-51-002 up to TOP |
| *16* | *12* | *11و 20* | *(18 17 14 12)* | *21* | ERECT.MEDIUM-HEAVY STR. CDU Unit 51 |
| *19* | *28* | *14* | *(35 32 29 26)* | *22* | MEDUM—HEAVY STR. STR-51-003 up to top |
| *45* | *23* | *20و 13* | *(49 47 43 42)* | *23* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-51-004 up to Top |
| *21* | *19* | *16* | *(49 47 44 42)* | *24* | MEDIUM-HEAVY STR-71-003 up to Intemediate Level |
| *23* | *34* | *16* | *(35 31 28 26)* | *25* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-71-002 up to First Level |
| *13* | *23* | *16* | *(49 47 43 40)* | *26* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-71-004 up to First Level |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *23* | *27* | *16* | *(29 26 23 20)* | *27* | MEDIUM-HEAVY STR.STR-71-005 up to First Level |
| *15* | *13* | 24 | *(18 16 14 11)* | *28* | MEDUM—HEAVY STR. STR-51-006 up to TOP |
| *34* | *43* | 25 | *(65 62 58 57)* | *29* | MEDIUM-HEAVY STR-71-002 up to Intemediate Level |
| *13* | *23* | *25* | *(49 47 43 40)* | *30* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-71-004 up to Top |
| *37* | *32* | *20 و 21* | *(65 62 59 56)* | *31* | MEDIUM-HEAVY STR. Road Crossing U71 CDU |
| *12* | *18* | *22* | *(29 26 23 20)* | *32* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-51-005 up to Top |
| *79* | *120* | *26و 29 و 34* | *(525 520 490 480)* | *33* | ERECT.MEDIUM-HEAVY STRUCT.ST.CDU Unit 71 |
| *12* | *23* | *27 و34* | *(18 17 14 12)* | *34* | MEDIUM-HEAVY STR.STR-71-002 up to TOP |
| *22* | *36* | *23 و24 26 و28* | *(28 26 24 22)* | *35* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-71-005 up to Top |
| *21* | *19* | *23 و34* | *(32 30 29 27)* | *36* | MEDIUM-HEAVY STR. STR-71-003 up to Top |
| *28* | *21* | *1 و16 و18* | *(32 30 29 27)* | *37* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-003 up to Top |
| *45* | *65* | *2 و 18* | *(49 47 43 40)* | *38* | ERECT.MED.-HEAVY STR-01-004 up to Top |
| *76* | *95* | *34* | *(247 245 237 233)* | *39* | OTHER MEDIUM-HEAVY STR. U71 CDU-3 |
| *-* | *-* | *21و28و32و33و**34و35و26* | *(0 0 0 0 )* | *40* | *پایان* |

اين مساله بوسيله الگوريتم پیشنهادی حل شده است و جواب نهايي توليد شده توسط الگوريتم، در جدول (3) نشان داده شده است. در اين جدول زمان آغاز فعاليت­ها به عنوان جواب نهايي توليد شده، ارائه شده است. همان­طور که مشاهده می­شود زمان­های شروع به­صورت عدد فازی ذوزنقه­ای می­باشند که از جمع این اعداد با زمان انجام فعالیت­ها، زمان پایان هر فعالیت به­صورت عدد فازی ذوزنقه­ای بدست ­می­آید.

جدول (3): زمان نهایی شروع فعالیت­ها

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **فعالیت** | **زمان شروع بهینه فعالیت** | **فعالیت** | **زمان شروع بهینه فعالیت** |
| 1 | (3 2 1 0) | 21 | (728 704 673 649) |
| 2 | (3 2 1 0) | 22 | (745 720 687 661) |
| 3 | (49 47 46 43) | 23 | (763 737 700 673) |
| 4 | (3 2 1 0) | 24 | (680 659 630 609) |
| 5 | (49 47 46 43) | 25 | (694 672 646 627) |
| 6 | (554 540 552 509) | 26 | (728 704 674 653) |
| 7 | (17 16 14 12) | 27 | (755 750 717 693) |
| 8 | (49 47 46 43) | 28 | (1389 1349 1277 1236) |
| 9 | (69 63 59 53) | 29 | (811 748 744 716) |
| 10 | (554 540 522 509) | 30 | (811 748 744 716) |
| 11 | (20 18 15 12) | 31 | (859 829 787 756) |
| 12 | (586 571ذ549 535) | 32 | (1454 1412 1335 1293) |
| 13 | (633 617 592 576) | 33 | (1369 1349 1277 1236) |
| 14 | (554 540 522 509) | 34 | (1369 1349 1277 1236) |
| 15 | (603 578 566 551) | 35 | (729 706 673 640) |
| 16 | (662 643 616 597) | 36 | (680 659 630 609) |
| 17 | (619 601 579 564) | 37 | (1454 1412 1335 1293) |
| 18 | (666 646 623 606) | 38 | (1369 1349 1277 1236) |
| 19 | (104 95 87 79) | 39 | (1472 1329 1348 1305) |
| 20 | (633 617 592 576) | 40 | (1573 1450 1454 1423) |

جواب بهینه بدست آمده توسط الگوریتم در جدول (3) آمده است که شامل زمان فازی شروع فعالیت­های پروژه می­باشد. با استفاده از نتایج آورده شده در جدول، مشاهده می­گردد که زمان تکمیل بهینه بدست آمده برای پروژه توسط الگوریتم برابر (1424 1379 1306 1263) است که برابر زمان شروع فعالیت 40ام بعلاوه زمان انجام این فعالیت می­باشد.

1. **اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی**

 به منظور اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی، نتایج حل این الگوریتم با نتایج حل بوسیله نرم­افزار GAMS که یک نرم­افزار بهینه­سازی دقیق می­باشد، مقایسه می­شوند. البته پروژه مورد بررسی در این تحقیق، یک پروژه از مسائل دنیای واقعی می­باشد که هم­اکنون پروژه در حال اجرا می­باشد که پس از تکمیل پروژه، نتایج حاصله از اجرای پروژه می­تواند با نتایج ارائه شده توسط الگوریتم پیشنهادی مقایسه گردد و کارایی و اعتبارسنجی الگوریتم مورد ارزیابی و سنجش قرار ­گیرد ولی بدلیل محدودیت زمانی در نظر گرفته شده برای این تحقیق، برای اثبات کارایی الگوریتم پیشنهادی، چند مساله نمونه در ابعاد کوچک که شامل زیرمجموعه­هایی از مساله واقعی این تحقیق و مسائل نمونه استفاده شده در پیشینه تحقیق می­باشند، را با الگوریتم پیشنهادی و نرم­افزار GAMS، حل نموده و نتایج مورد مقایسه و ارزیابی قرار خواهند گرفت. . در جدول (4) جزئیات حل مسائل نمونه در ابعاد کوچک بوسیله نرم­افزار GAMS و الگوریتم پیشنهادی آورده شده است.

**جدول(4): مقایسه نتایج الگوریتم SA پیشنهادی با نرم­افزار GAMS در ابعاد کوچک**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| درصد انحراف | GAMS | SA | روش حل شماره مساله |
| 1.21 | 85 |  83.9686 = (112 91 74 58) | مقدار بهینه | 8=j |
|  | 17.782 | 0.770865 | زمان اجرا (ثانیه) |
| 0.17 | 586.0 | 585 = (616 596 574 554) | مقدار بهینه | 10=j |
|  | 212.624 | 0.4214 | زمان اجرا (ثانیه) |
| 0.29 | 617 |  615.2107= (650 628 603 580) | مقدار بهینه | 14=j |
|  | 473.697 | 0.510649 | زمان اجرا (ثانیه) |
| 2.73 | 83 | 85.2705 = (120 91 73 55) | مقدار بهینه | 16=j |
|  | 835.791 | 0.638776 | زمان اجرا (ثانیه) |
| 3.786 | 649 | 645.214 | مقدار بهینه | j= 18 |
|  | 1432.432 | 1.217 | زمان اجرا (ثانیه) |
| **1.637** | میانگین انحراف |  |

**شکل (4): زمان حل مسائل نمونه در الگوریتم پیشنهادی و نرم­افزار GAMS**

از نتایج بدست آمده در جدول (4) مشاهده می­گردد که میانگین درصد اختلاف جواب الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم دقیق، 1.63٪ می­باشد. همچنین مطابق نتایج جدول (4) و شکل (4) زمان رسیدن به جواب در الگوریتم پیشنهادی تقریبأ ثابت بوده ولی در نرم­افزار GAMS به­صورت تابع درجه دو افزایش می­یابد و این نشان می­دهد که الگوریتم پیشنهادی یک الگوریتم همگرا به جواب بهینه و کارا می­باشد.

1. **نتیجه­گیری**

در این مقاله، یک مدل فازی برای مساله زمان­بندی پروژه تحت عدم قطعیت فعالیت­ها و محدودیت منابع ارائه گردید و چون مساله RSPS در گروه مسايل سخت دسته­بندي مي­شود، استفاده از روش­هاي كلاسيك بهينه سازي جهت دستيابي به جوابهاي بهينه سراسري يا موضعي، امري زمان­بر بوده و از پيچيدگي زمان محاسباتي برخوردار می­باشد. لذا جهت حل این مساله از الگوریتم­ فراابتکاری تلفیقی شبیه­سازی تبرید ترکیب با الگوریتم ژنتیک کمک گرفته شد. هدف این الگوریتم، حداقل کردن زمان تکمیل پروژه است و این الگوریتم قادر است ضمن استفاده مستقیم از اعدا فازی، زمان شروع و زمان تکمیل پروژه را به­صورت عدد فازی ارائه کند. در این تحقیق، از نظریه مجموعه­های فازی برای نمایش عدم قطعیت زمان فعالیت­ها استفاده شده است. در الگوریتم پیشنهادی برای توليد برنامه زمان­بندي، از روش تولید زمان­بندي موازي فازی استفاده شده است. برای مقایسه اعداد فازی مورد استفاده در الگوریتم پیشنهادی، از روش رتبه­بندی فاصله­ای استفاده شده است. یک مساله نمونه در دنیای واقعی با استفاده ازالگوریتم پیشنهادی زمان­بندی شد. در نهایت برای سنجش کارایی الگوریتم پیشنهادی، نتایج حل 5 مساله نمونه در ابعاد کوچک را با نتایج حل نرم­افزار بهینه­سازی GAMS مقایسه کردیم و مشاهده نمودیم که الگوریتم پیشنهادی جوابهای با میانگین انحراف 1.63% از جوابهای دقیق تولید می­کند و این در حالی است که زمان حل برای نرم­افزار دقیق با افزایش ابعاد مساله، به­صورت نمایی افزایش می­یابد درصورتی که زمان حل الگوریتم پیشنهادی به ­صورت خطی و کمتر از 2 ثانیه می­باشد و این نشان می­دهد که الگوریتم پیشنهادی همگرا بوده و قابلیت رسیدن به جواب بهینه را دارد. از آنجاکه الگوریتم پیشنهادی، قابلیت حل مسائل با داده­های غیر قطعی را دارد و کارایی آن اثبات شد، الگوریتمی کابردی بوده و به­سادگی قابل استفاده برای مدیران پروژه در پروژه­های جهان واقعی می­باشد.

1. **منابع**

[1]. Fortemps, P., Jobshop Scheduling with Imprecise Duration: A Fuzzy Approach, IEEE Transactions on Fuzzy Systems, Vol5: 1997, pp.557-569.

[2]. Pan, H.Q, Yeh, C.H., Fuzzy Project Scheduling, The IEEE International Conference on Fuzzy System: 2003, pp.339-347.

]3[. اشتهاردیان ا.، عباس نیا ر.، افشار ع.، موازنه هزینه-زمان با در نظر گرفتن زمانبندی غیر قطعی، اولین کنفرانس بین­المللی مدیریت استراتژیک پروژه­ها ،1387.

]4[. نورنگ احمد، رضوانی مهران، رویکرد فازی در زمانبندی پروژه، پنجمین کنفرانس سیستمهای فازی ایران، شهریورماه 1383، ص 424-431.

[5]. Wang, C., C-H., New Approach for Ranking Fuzzy Numbers by Distance Method. Fuzzy Sets and Systems, Vol. 95: 1998, 307-317.

[6]. Wang, J., A Fuzzy Project Scheduling Approach to Minimize Schedule Risk for Product Development, Fuzzy Sets and Systems,127(4): 2002, pp.99-116.

[7]. Bhaskar, T., Manabendra N. Pal, Asim K, A heuristic method for RCPSP with fuzzy activity times,European journal of operation research, 208: 2011, 57-66,.

[8]. Liou, T.S., M.J. Wang, Ranking fuzzy numbers with integral value, Fuzzy Sets and Systems,50(6): 1992, pp.247-255.

[9]. Soltani, A., R. Haji, A Project Scheduling Method Based on Fuzzy Theory, journal of i ndustrial and SYSTEM Engineering,vol.1, No.1: 2007, pp 70-80, spring .

[10]. Błazewicz, J., J.K. Lenstra; A.H.G. Rinnooy Kan, *“Scheduling subject to resource constraints*”, Discrete Applied mathematics 5: 1983, ppt 11-24.

[11]. Ghazanfari.A M., Yousefli. M, A.Bozorgi-Amiri, A new approach to solv time-cost trade-off problem with fuzzy decision variable, Int J Adv Manuf Technol, 42: 2009, 408-414.

]12[. غضنفری م.، رضایی م، مقدمه­ای بر نظریه مجموعه­های فازی، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران، سال 1385.

 [13]. Shixin Lin, k.L.Yung, W.H.Ip, Genetic Local Search for Resource-Constrained Project Scheduling under Uncertainty, Information and management sciences, Vol 18, Number 4: 2007, pp. 374-363.

[14]. Hongqi Pan, Robert J, Chung-Hsing Y, Resource-constrained Poroject Scheduling with Fuzziness,Fuzzy Sets and Systems, Vol. 95: 2004, 307-317.

[15]. Cheng, C-H., New Approach for Ranking Fuzzy Numbers by Distance Method, Fuzzy Sets and Systems, Vol. 95: 1998, 307-317.

[16]. Kirkpatrick S, Gelatt CD Jr, Vecchi MP, Optimization by Simulated Annealing, Science 220(4598):1983, 671-680.

[17]. Kumar Shukla, S., Y.Jun Son, M.K. Tiwari, Fuzzy-based adaptive sample-sort simulated annealing for resource-constrained project scheduling, Int Adv Manuf Technol 36:2008, 982-995.

[18].Maciej H, Andrzej J, Roman S, Fuzzy project scheduling with multi criteria" *project scheduling with positive discounted cash flows and different payment models*, European Journal of Operational Research: 2002, 1277-1282.

[19] Kolisch R., Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited, Theory and computation, European Journal of Operational Research, 90: 1996, pp.320-333.

 [20]. Hartmann, S., project scheduling under limited resources: models, methods, and applications, berlin Heidelberg:Speringer-Verlag, 1999.

]21[. دانش­پایه حمزه ، زمانبندی پروژه تحت عدم قطعیت مدت فعالیت­ها با استفاده از یک الگوریتم فراابتکاری (مطالعه موردی)، پایان­نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده فنی و مهندسی، اسفند 1390.

1. Resource-constrained project scheduling problem [↑](#footnote-ref-1)
2. bell [↑](#footnote-ref-2)
3. Trianglie [↑](#footnote-ref-3)
4. Trapezoidal [↑](#footnote-ref-4)
5. Weak Comparison rule [↑](#footnote-ref-5)
6. Strong Comparison rule [↑](#footnote-ref-6)
7. Project networks [↑](#footnote-ref-7)
8. Activity – on – node [↑](#footnote-ref-8)
9. Activity – on – arc [↑](#footnote-ref-9)
10. Arc [↑](#footnote-ref-10)
11. Finish to Start [↑](#footnote-ref-11)
12. Active set at time t [↑](#footnote-ref-12)
13. makespan [↑](#footnote-ref-13)
14. Kirkpatrick [↑](#footnote-ref-14)
15. Simulated Annealing [↑](#footnote-ref-15)
16. Combinatorial Optimization [↑](#footnote-ref-16)
17. Serial Scheduling Generation Schem [↑](#footnote-ref-17)
18. Parallel Scheduling Generation Schem [↑](#footnote-ref-18)
19. Mutation [↑](#footnote-ref-19)
20. Crossover [↑](#footnote-ref-20)
21. Hartmann [↑](#footnote-ref-21)