فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی
واحد سنندج – سال دوازدهم/ شماره۳۹ / بهار ۱۳۹۶

# ارائه مدل زمانبندی استوار پروژه با منابع محدود و حل آن با استفاده از الگوریتم فرا ابتکاری بهینه سازی انبوه ذرات (مطالعه موردی: پالایشگاه میعانات گازی بندر عباس)

**محمدحسین نبی زاده بهنمیری**(نویسنده مسؤول)
کارشناسی ارشد مهندسی سیستم ها و پژوهشگر مرکز تحقیقات سیستم ها دانشگاه جامع امام حسین(ع)
**Email: mhnb.158@gmail.com**
**حسینعلی حسن پور**
استادیار دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه جامع امام حسین (ع)
**روزبه عزیزمحمدی**
گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران
**نوید هشترودی**
کارشناسی ارشد مهندسی صنایع

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۵ ❋ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱/۲۸

## چکیده
انجام فعالیت های پروژه مطابق برنامه زمان بندی یکی از مسائل مورد توجه دست اندرکاران پروژه ها به ویژه مدیران پروژه ها می باشد. همچنین ماهیت بسیار دشوار این مسئله، علت دیگری برای توجه زیاد محققین به آن می‌باشد. بنابراین تکنیک ها و روش‌های خاصی برای حل این مسائل مطرح شده‌اند. از اینرو توجه بیشتر به پایداری زمانبندی پروژه برای مدیران پروژه موضوعیت دارد. در این مقاله برای یک مسئله واقعی زمانبندی پروژه پالایشگاهی ابتدا مدل زمانبندی پایدار ارائه‌شده و به دلیل اینکه زمانبندی پروژه با محدودیت منابع از جمله مسائل NP-Hard است، الگوریتم فرا ابتکاری بهینه سازی انبوه ذرات برای حل این مسئله پیشنهاد شده است. به منظور اعتبارسنجی مدل نیز ۴ مسئله با ابعاد کوچک انتخاب و جواب‌های به دست آمده از الگوریتم‌های پیشنهادی با جواب دقیق به دست آمده حاصل از نرم‌افزار Lingo مقایسه گردیده است. نتایج به دست آمده نشان می دهد الگوریتم پیشنهادی کارا و همگرا به جواب بهینه می‌باشند.

**کلمات کلیدی**: زمانبندی پروژه، پایداری، انعطاف پذیری، الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات.

## ۱- مقدمه

به طور کلی زمانبندی پروژه در پی یافتن توالی مناسبی برای انجام فعالیت‌های یک پروژه است، به نحوی که محدودیت‌های تقدم و تأخر شبکه پروژه و انواع مختلف محدودیت‌های منبعی موجود در پروژه به طور همزمان برآورد شوند و معیار سنجش معینی از جمله زمان انجام پروژه، هزینه انجام، تعداد فعالیت‌های با تأخیر و غیره بهینه شوند (Damghani et al., 2011). گرچه همه این معیارهای سنجش از اهمیت خاصی برخوردارند اما بسته به شرایط موجود کشور، زمان انجام پروژه از اهمیت بالایی برخوردار است. به عنوان مثال در مناطق نفت خیز جنوب، سرعت در حفر چاه و بهره برداری از مخازن مشترک، بسیار با اهمیت تر از هزینه اجرای پروژه است (Aliahmadi et al., 2013).

با استفاده از زمانبندی پروژه، مواردی همچون تخصیص منابع به فعالیت‌ها، تعهدات پیمانکاران، تعمیرات پیشگیرانه و تحویل سفارش به مشتری داخلی یا خارجی به راحتی قابل برنامه‌ریزی و کنترل خواهد بود. در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای روی موضوع زمانبندی پروژه انجام‌شده است. در بیشتر تحقیقات فرض می‌شود فعالیت‌ها در یک شرایط ایده آل انجام می‌گیرد و زمانبندی ارائه‌شده می‌تواند به طور دقیق مطابق با برنامه اجرا شود. در عمل، وجود چندین عامل کنترل نشدنی نظیر افزایش زمان اجرای فعالیت‌ها، نبود دسترسی به منابع، اضافه شدن فعالیت‌های پیش‌بینی‌نشده به پروژه، شرایط بد آب و هوایی و غیره، ممکن است منجر به ایجاد اختلال‌هایی در زمانبندی پروژه شود. این اختلال‌ها می‌تواند هزینه‌های قابل‌توجهی به سیستم پروژه تحمیل کند (Basaghzade et al., 2010).

امروزه یکی از مشکلات رایج در انجام پروژه‌ها وجود عوامل غیر قابل کنترل است که در صورت رخ دادن سبب می‌شوند پروژه در موعد مقرر تکمیل نشود. از جمله این مشکلات دوباره‌کاری یا برگشت فعالیت به منظور برطرف کردن نقص‌های موجود، خرابی و در دسترس نبودن منابع را نام برد. هر کدام از این دلایل باعث تأخیر در تکمیل فعالیت شده و در نتیجه باعث تأخیر در کل پروژه خواهند شد علاوه بر این، باعث متضرر شدن ذینفعان پروژه نیز می‌شود (Wang et al., 2016). بر اساس ادبیات موضوع، بیشینه سازی پایداری پروژه به معنی بیشینه سازی شناوری کلی است که ضمن رعایت کمینه سازی زمان تکمیل پروژه باید تحقق یابد.

طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی پروژه از نظر توابع هدف با چارچوب های استاندارد امروزی به طور گسترده از سال ۱۹۶۹ توسط پریتسکر[1] و همکارانش مورد مطالعه قرار گرفت (Ke et al., 2015). در مسائل زمان‌بندی پروژه توابع هدف مختلفی در نظر گرفته می‌شود که از معمولی‌ترین آن‌ها که در اکثر تحقیقات، مسئله حداقل کردن زمان اجرای پروژه[2] می‌باشد. زمان شروع پروژه معمولاً در زمان t=۰ در نظر گرفته می‌شود؛ که با این وجود، تابع هدف حداقل کردن بیش‌ترین زمان خاتمه‌ی فعالیت پروژه می‌باشد (Angela et al., 2008).

$$\min C_{max} = \min(\max(S_j + P_j))$$

که در آن $S_j$ زمان شروع و $P_j$ زمان عملیات فعالیت j می‌باشد.

در تدوین برنامه‌ریزی کلاسیک پروژه معمولاً معیار بهینگی، مانند حداقل طول یا حداقل تأخیر را مشخص می‌کنند. چنین معیارهایی تمایل دارند به طور ضمنی، استفاده از تجهیزات در طول افق زمانی برنامه‌ریزی‌شده را به حداکثر برسانند. درحالی‌که مدیریت به طور معمول به دنبال به حداقل رساندن هزینه‌ها و به حداکثر رساندن استفاده از تجهیزات و منابع می‌باشد (Weil, 2013).

از دیگر اهداف در مسائل زمان‌بندی پروژه می‌توان حداکثر کردن ارزش خالص فعلی پروژه[3]، جریان نقدی محدودیت‌های بودجه و تسطیح منابع[4] را در کنار تابع هدف‌های سنتی کاهش زمان اتمام پروژه مطرح کرد. در حقیقت پروژه با یک جریان نقدی منفی

[1] Pritsker
[2] Makespan Minimization
[3] Maximum Net Present Value (NPV)
[4] Resource Leveling Problems

در طول پروژه و پرداخت در انتهای آن روبروست، مدیریت جریان نقدی و توابع هدف مبتنی بر ارزش زمانی پول، اهمیت پیدا می‌کند و عملاً مسیر بحرانی پروژه۵ از منظر جریان نقدی شناسایی می‌شود (Herroelen et al., 1999).

در مسئله تسطیح منابع، هدف تعیین زمان‌بندی بودجه به گونه‌ای است که همچنان پروژه پیش از مهلت مقرر به پایان رسد، با این شرط که تا حد امکان، استفاده از منابع به شکل مسطح صورت گیرد. به عبارت دیگر، نوسانات زیاد در سطح منبع مورد نیاز در هر دوره زمانی بروز ننماید؛ لذا در این‌گونه مسائل بدون محدودیت سطح، مهلت تحویلی برای پروژه در نظر گرفته می‌شود که نباید از مقدار تعیین‌شده بیشتر شود (Vanhoucke et al., 2011).

اکمیلی و روم (۱۹۹۷) کیفیت را در تابع هدف برنامه‌ریزی پروژه در نظر گرفته‌اند، به خاطر اینکه به حداکثر رساندن کیفیت پروژه۶ مهم‌ترین هدف برای مدیران پروژه و مشتریان می‌باشد. آن‌ها یک برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط[۷] (MLP) برای برنامه‌ریزی پروژه با این هدف معرفی کردند. الفوزان و همکاران (۲۰۰۵) شاخص‌های جدید پایداری، برای پاسخ به یکی دیگر از نیاز مدیران پروژه ارائه کردند. آن‌ها برخی از عوامل غیرقابل کنترل که مدت زمان فعالیت را تحت تأثیر قرار می‌دهد و نتایج مدیریت برای پاسخگویی به افق از پیش تعیین‌شده پروژه را مختل می‌کند، در نظر گرفتند. بنابراین، آن‌ها مدل دو معیاری برای به حداقل رساندن طول مدت اجرای پروژه و حداکثر کردن معیار پایداری پروژه را توسعه دادند. پایداری زمانبندی، به زمانبندی گفته می‌شود که توانایی برای مقابله با افزایش کوچک در طول برخی از فعالیت‌هایی که ممکن است در نتیجه برخی از عوامل غیرقابل کنترل تعریف شود، گفته می‌شود. الفوزان و همکاران (۲۰۰۴) شناوری آزاد SJ را به عنوان مقدار زمانی که فعالیت $j$ می‌تواند بدون به تأخیر انداختن شروع فعالیت بعدی صورت گیرد، مبنا قرار دادند و پایداری یک زمان‌بندی را به صورت مجموع شناوری آزاد تعریف کردند (AL-Fawzan et al., 2004).

کوبیلانسکی و همکاران (۲۰۰۷) کمبود معیارهای پایداری پیشنهاد شده توسط الفوزان و همکاران (۲۰۰۴) را برای یک مثال ساده اثبات کردند. آن‌ها دو نوع از پایداری پروژه، به نام کیفیت پایداری و پایداری راه حل را در نظر گرفتند. نوع اول اشاره به ثبات برنامه ریزی طول مدت اجرای پروژه یا تاریخ اتمام کل پروژه و نوع بعد اشاره به جزئیات زمانبندی (یعنی از زمان شروع فعالیت) می‌باشد. بر اساس این مفاهیم، کوبیلانسکی و همکاران (۲۰۰۷) دو معیار جدید پایداری را اثبات کردند. اولین معیار به حداکثر رساندن حداقل شناوری آزاد و دوم به حداکثر رساندن حداقل نسبت $\frac{\text{مدت زمان پروژه}}{\text{شناوری آزاد}}$ می‌باشد. مسئله دیگر این است که مدیران پروژه باید منابع و محدودیت ظرفیت پیمانکاران پروژه را در برنامه‌ریزی پروژه در نظر بگیرند، از سوی دیگر، آن‌ها باید هزینه‌های پروژه را به حداقل برساند؛ بنابراین، زنیان و همکاران (۲۰۰۶) یک مسئله جدید را تعریف کردند که چگونه می‌توان هزینه فعالیت‌های پروژه با محدودیت زمان تحویل و ظرفیت منابع برای حل این مسئله را حداقل کرد، آن‌ها یک نوع مسئله RCPSP[۸] با هدف به حداقل رساندن هزینه فعالیت‌هایی که شامل هزینه‌های ثابت و هزینه اتمام فعالیت که از زمان پایان فعالیت و طول مدت اجرای پروژه، پویا و در حال تغییر می‌باشد را در نظر گرفتند (Seifi et al., 2008).

معرفی انعطاف‌پذیری یک مسئله زمانبندی، نشان‌دهنده‌ی درجه آزادی زمانبندی در حین پیاده‌سازی آن می‌باشد. انعطاف‌پذیری چند صورت مطرح می‌شود:

الف- انعطاف‌پذیری زمانی: مربوط می‌شود به زمان شروع فعالیت‌ها. این انعطاف‌پذیری به صورت ضمنی در زمانبندی ها دیده می‌شود، با توجه به شرایط اجازه می‌دهد تا بعضی از فعالیت‌ها از زمان خود منحرف شوند. این نوع از انعطاف‌پذیری اولین سطح در انعطاف‌پذیری زمانبندی است.

ب- انعطاف‌پذیری ترتیب اجرا: انعطاف‌پذیری ترتیب اجرا که بیشتر با اصطلاح انعطاف‌پذیری ترتیبی بکار می‌رود، یعنی اینکه بتوان ترتیب انجام بعضی از کارها را تغییر داد که به صورت ضمنی مستلزم انعطاف‌پذیری زمانی نیز می‌شود. در حین اجرای توالی کارها، اگر شرایط اگر شرایط ایجاب کند، بعضی از فعالیت‌ها می‌توانند از بعضی دیگر سبقت بگیرند.

---

[5] Project Critical Path
[6] Project Quality Maximization
[7] Mixed Integer Programming
[8] Resource Constraint Project Scheduling

ج- انعطاف‌پذیری در تخصیص منابع: زمانی که منابع متعدد باشند اجازه می‌دهد تا فعالیت با منبع دیگری که در ابتدا برنامه‌ریزی شده بود، انجام شود. این انعطاف‌پذیری یک کمک بزرگ است؛ برای مثال زمانی که یک ماشین به خصوص موجود نباشد. این انعطاف‌پذیری به صورت ضمنی مستلزم انعطاف‌پذیری ترتیبی و انعطاف‌پذیری زمانی می‌شود.

د- انعطاف‌پذیری در شیوه اجرا: شیوه‌های اجرا شامل هم‌پوشانی، تغییرات در محدوده پروژه، تغییر در تعدادی از منابع مورد نیاز و ... می‌شود. این انعطاف‌پذیری را می‌توان بسته به موقعیت آن برای مدیریت بهتر وضعیت‌های پیش‌بینی‌نشده بکار برد.

فی‌الواقع بعضی از روش‌ها برای اختصاص انعطاف‌پذیری بیشتر در مورد زمان شروع، تخصیص درجه آزادی یک فعالیت به خود آن فعالیت و یا تخصیص درجه آزادی به فعالیت‌هایی که مهم‌تر هستند به عنوان مفهوم بافر در زنجیره بحرانی است (Pinedo, 2001؛ Tavagho & Makuee 2012).

برای اینکه انعطاف‌پذیری ترتیبی بیشتر شود جابجایی گروهی فعالیت‌ها (Goldratt, 1997) و ترتیب نسبی بین فعالیت‌ها (Herroelen et al., 2001) پیشنهاد شده است. این روش‌ها برای طراحی زمانبندی پایدار طراحی شده است.

زمانی که انعطاف‌پذیری مطرح می‌شد این چالش وجود دارد که روش اندازه گرفتن انعطاف به دست آمده چقدر است. بعضی از روش‌ها به اندازه‌گیری مطلوبیت به دست آمده از انعطاف‌پذیری تکیه می‌کنند که از مقایسه کیفیت یک جواب انعطاف‌پذیر با یک جواب غیر منعطف در حضور اختلالات به دست می‌آید. در نتیجه اندازه‌گیری پایداری یک زمانبندی، نشان می‌دهد که یک راه حل منعطف از راه حل غیر منعطف بهتر است یا خیر.

در مورد پایداری باید ذکر شود که ارائه یک تعریف خاص برای پایداری بسیار مشکل است، این مفهوم در حوزه‌های مختلف به صورت متفاوتی تعریف شده است. بعلاوه، اغلب در متون علمی، تعاریف به صورت ضمنی آورده می‌شوند و یا برای کاربرد خاصی تعریف می‌شوند. در نهایت خیلی از محققین ترجیح می‌دهند از مفهوم پایداری در تحقیقاتشان استفاده کنند.

ابتدا باید بر روی یک تعریف توافق کنیم: یک زمانبندی زمانی پایدار است که عملکرد آن به عدم قطعیت داده‌ها حساسیت کمتری داشته باشد. عملکرد در اینجا مفهومی گسترده‌تر از کیفیت جواب برای فرد مسئول دارد؛ عملکرد به طور طبیعی شامل مقدار یک معیار مشخص در جواب می‌شود، و شامل ساختار جواب نیز می‌شود. پایداری زمانبندی یک روش برای توصیف عملکرد است (Artigue et al., 2005).

در ادبیات موضوع، پایداری، به عملکرد یک الگوریتم در صورت وجود عدم قطعیت مطرح می‌شود. آنچه که در مورد پایداری زمانبندی مهم است اندازه گرفتن پایداری است. پایداری زمانبندی در چند سطح تعریف می‌شود:

۱. پایداری یک جواب
۲. پایداری راه حل به جواب رسیدن

پایداری نشان‌دهنده‌ی ظرفیت زمانبندی برای تحمل تقریب (بر روی فرضیات، مدل و داده‌ها)است. پایداری سنجش نتیجه بعد از استفاده از یک رویه در حضور یا ظهور عدم قطعیت است. همچنین پایداری مشخصه‌ی کارایی یک الگوریتم در شرایط عدم قطعیت است (Aloulou et al., 2002; Roy, 2002).

با توجه به مرور ادبیات موجود بهینه سازی پایدار، دو رویکرد برای مواجهه با پایداری وجود دارد. رویکرد اول احتمال نقض محدودیت را می توان عنوان کرد به این معنی که در آن یک محدودیت خاص به دلیل اختلال در داده، نقض شده است. رویکرد دوم می توان به سطح محافظه کاری مدل به این معنی که در آن مقدار تابع هدف تحت تأثیر تغییر در فضای شدنی جواب است (Tabrizi et al., 2016). در این مقاله رویکرد دوم حاکم مورد توجه قرار گرفته است.

همان طور که در قسمت‌های قبلی ذکر شد، انعطاف‌پذیری میزان مجاز برای آزادی در فاز اجرا برای ایجاد زمانبندی نهایی است. در نتیجه، اگر انعطاف‌پذیری بیشتر شود، پایداری زمانبندی نیز بیشتر می‌شود. اگر احتمال رخ دادن همه عدم قطعیت‌ها باشد، اتخاذ هر تصمیمی در فاز اجرا ممکن خواهد بود و این باعث پایین آمدن کیفیت زمانبندی نهایی می‌شود (Sadeghi et al., 2012). یکی دیگر از ویژگی کلیدی این روش این است که می‌توان آن را برای همه عدم قطعیت‌های در نظر گرفته‌شده انجام داد. اگر عدم قطعیت و یا اختلالات زیاد باشد، امکان اجرای آن قابل تضمین نیست، از این رو باید سعی شود انعطاف‌پذیری به

حد اکثر برسد. در این صورت برای محاسبه پایداری زمانبندی کافی است، میزان انعطاف‌پذیری زمانبندی را اندازه‌گیری کنیم (Zhang, et al., 2005).

## ۲- مواد و روش ها

این تحقیق به مسئله پایداری زمانبندی پروژه تحت محدودیت منابع (RRCPSP) می‌پردازد. در این مدل، منابع پروژه به صورت تجدیدپذیر فرض شده‌اند. در این قسمت متغیرهای مسئله، پارامترهای استفاده‌شده در مدل و مفروضات مدل ارائه گردیده و روش حل مدل بحث می‌شود. در مدل فرض شده است که پروژه از n فعالیت تشکیل شده و توسط شبکه AON و به صورت گراف G=(V,E) نمایش داده می‌شود که گره‌ها (V) نشان‌دهنده فعالیت و یال‌ها (E) روابط پیش‌نیازی را بیان می‌کنند. در این مدل فعالیت‌ها به صورت تک مد انجام می‌شود یعنی هر فعالیت فقط در یک حالت اجرایی انجام و تکمیل خواهد شد.

اهداف مدل ارائه شده بدین شرح است:

الف- حداقل سازی حداکثر زمان تکمیل: اولین هدفی که در تابع هدف باید در نظر گرفت کمینه کردن حداکثر زمان اتمام پروژه است. این تابع هدف را می‌توان با رابطه زیر محاسبه نمود:

$$objective(1) = \min C_{max} \ \& C_{max} = \min(\sum_{j=EF_j}^{LF_j} t.X_{jt}) \quad (۱)$$

ب- حداکثر سازی پایداری پروژه: از آنجا که در قسمت های قبلی به تفصیل بحث شد پایداری پروژه با شناوری فعالیت‌ها دارای ارتباط مستقیم است. در واقع شناوری حداکثر زمانی است که یک فعالیت را می‌توان به تأخیر انداخت بدون اینکه کل پروژه دچار تأخیر شود بنابراین تابع هدف دوم، بیشینه سازی درجه شناوری کل با رعایت حداکثر زمان تکمیل است.

$$objective(2) = \max TF \ \& TF = \sum_{j=1}^{n} TF_j \quad (۲)$$

ج- تابع هدف نهایی: همان طور که مشاهده می‌شود این دو تابع هدف دارای بعد یکسانی هستند بنابراین می‌توان تابع هدف نهایی را به صورت ترکیب خطی از این دو تابع هدف نوشت که باید کمینه گردد و از آنجا که تابع هدف دوم باید بیشینه گردد، با یک علامت منفی در ترکیب خطی ظاهر خواهد شد.

$$objectiv(total) = \lambda.objective(1) - (1-\lambda).objective(2) \Rightarrow objective(total) = \min(\lambda.C_{max} - (1-\lambda).TF) \ , \lambda\epsilon[0,1] \quad (۳)$$

پارامترهای مورد استفاده در مدل به صورت زیر است:

n: تعداد فعالیت‌ها

$TF_j$: شناوری فعالیت j ام

G: گراف بدون دور که نشان‌دهنده پروژه است

λ: یک عدد حقیقی در بازه (۰،۱)

$$X_{jt} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$$

اگر فعالیت j ام در دوره t نوبتم $X_{jt}$ برابر ۱ و در غیر این صورت برابر ۰ می‌باشد.

$$j = 1, 2, \dots, n$$

مدل زمانبندی پایدار بخشی از پروژه پالایشگاه میعانات گازی است به صورت زیر پیشنهاد می شود:

$$\min \ (\lambda * C_{max} - (1-\lambda) * TF) \quad (۴)$$

s.t.

$$\sum_{t=EF_j}^{LF_j} X_{jt} = 1 \ \ , \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (۵)$$

$$\sum_{t=EF_w}^{LF_w} t.X_{wt} \leq \sum_{t=EF_j}^{LF_j} (t - d_j).X_{jt} \ \ , \ \ \forall j, w \in P_j \quad (۶)$$

$$C_j = \sum_{t=EF_j}^{LF_j} t.X_{jt} \ \ , \forall j = 1, 2, \dots, n \quad (۷)$$

$$C_{max} \geq C_j \quad ,\forall\, j = 1, 2, \dots, n \tag{۸}$$
$$T \leq \sum_{j=1}^{n} \max\{d_j\} \tag{۹}$$
$$C_{max} \leq T \tag{۱۰}$$
$$\sum_{j=1}^{n} r_{jk} . \sum_{b=t}^{t+d_j-1} X_{jb} \leq R_k \quad ,\forall\, k, t \tag{۱۱}$$
$$TF_j = LF_j - EF_j \quad ,\forall\, j = 1, 2, \dots, \mathrm{n} \tag{۱۲}$$
$$TF = \sum_{j=1}^{n} TF_j \tag{۱۳}$$
$$ES_1 = 0 \tag{۱۴}$$
$$EF_i = ES_i + d_j \quad ,\forall\, i = 1, 2, \dots, n \tag{۱۵}$$
$$ES_j = \max\{EF_i\} \quad ,\forall\, i \in P_i \,, j = 1, 2, \dots, n \tag{۱۶}$$
$$LF_n = T \tag{۱۷}$$
$$LS_j = LF_j - d_j \quad ,\forall\, j = 1, 2, \dots, n \tag{۱۸}$$
$$LF_j = \max\{LS_j\} \quad ,\forall\, i \in S_j \quad , j = 1, 2, \dots, n \tag{۱۹}$$
$$X_{jt} = \{0,1\} \quad ,\forall\, j, t \tag{۲۰}$$

رابطه (۴) تابع هدف مسئله است که ترکیب خطی حداکثر زمان اتمام پروژه و شناوری کل را نشان می‌دهد که باید کمینه گردد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که فعالیت j در یک زمان بین $EF_j$ و $LF_j$ به اتمام خواهد رسید. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که پیش‌نیازی فعالیت‌ها اعمال گردد. محدودیت (۷) زمان اتمام فعالیت‌ها را محاسبه می‌کند. محدودیت (۸) به محاسبه‌ی حداکثر زمان تکمیل پروژه می‌پردازد. محدودیت (۹) به محاسبه‌ی افق زمانبندی پروژه مربوط می‌شود و محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که برنامه زمانبندی طبق قبل از افق زمانی به اتمام برسد. محدودیت (۱۱) برای اعمال محدودیت های منابع تجدید پذیر می‌باشد و باید در هر دوره تمامی فعالیت‌هایی که در آن دوره هنوز در حال اجرا هستند را برای هر منبع در نظر بگیرد. این محدودیت به شکلی در نظر گرفته می‌شود که تا زمانی که در دوره زمانی t هستیم کلیه فعالیت‌هایی که بنا به زمان خاتمه‌شان در t و یا زودتر شروع شده‌اند و هنوز ادامه‌دارند را باید برای محدودیت مربوط به منبع در نظر گرفت. محدودیت (۱۲) درجه شناوری هر کدام از فعالیت‌ها را محاسبه می‌کند و محدودیت (۱۳) به محاسبه‌ی شناوری کل می‌پردازد. محدودیت (۲۰) مقدار متغیر تصمیم را مشخص می‌کند که اگر برابر ۱ باشد فعالیت j ام در زمان t اجرا می‌شود و در غیر این صورت برابر ۰ خواهد بود. محدودیت های (۱۴) تا (۱۵) زودترین و دیرترین زمان اتمام فعالیت‌ها را محاسبه می‌کند.

بسیاری از مسائل بهینه سازی در دنیای واقعی NP-Hard است که برای آن ها الگوریتم های کارای قابل اثباتی وجود ندارد. حل اینگونه مسائل نیازمند شیوه هایی با مرتبه نمایی است. مفهوم فرا ابتکاری گزینه های مهمی را برای حل این دسته از مسائل فراهم می کند. زمانبندی پروژه با محدودیت منابع با ابعاد کوچک را می‌توان با روش‌های برنامه‌ریزی خطی و با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط با آن حل نمود اما با افزایش تعداد فعالیت‌ها و بزرگ‌تر شدن شبکه پروژه پیچیدگی محاسباتی آن به شدت به سمت NP-Hard میل می‌کند (Sadeghi et al., 2012). بنابراین برای حل مسئله با ابعاد بزرگ و واقعی از روش‌های حل فرا ابتکاری استفاده می‌شود این روش‌ها نسبت به روش‌های حل دقیق و بسیاری از روش‌های ابتکاری از کارایی بالاتری برخوردارند. این کارایی هم در زمینه زمان حل مسئله (به دلیل وسعت فضای جستجوی حل بهینه) و هم ریسک جواب نزدیک به بهینه خود نمایی می‌کند. در این تحقیق از روش بهینه سازی انبوه ذرات استفاده شده است.

مراحل الگوریتم بهینه‌سازی انبوه ذرات به شرح زیر است:

۱- ایجاد جمعیت اولیه و ارزیابی آن‌ها
۲- تعیین بهترین مقدار شخصی ($P_i(t)$) و بهترین مقدار جمعی (G(t))
۳- به روز رسانی سرعت و موقعیت

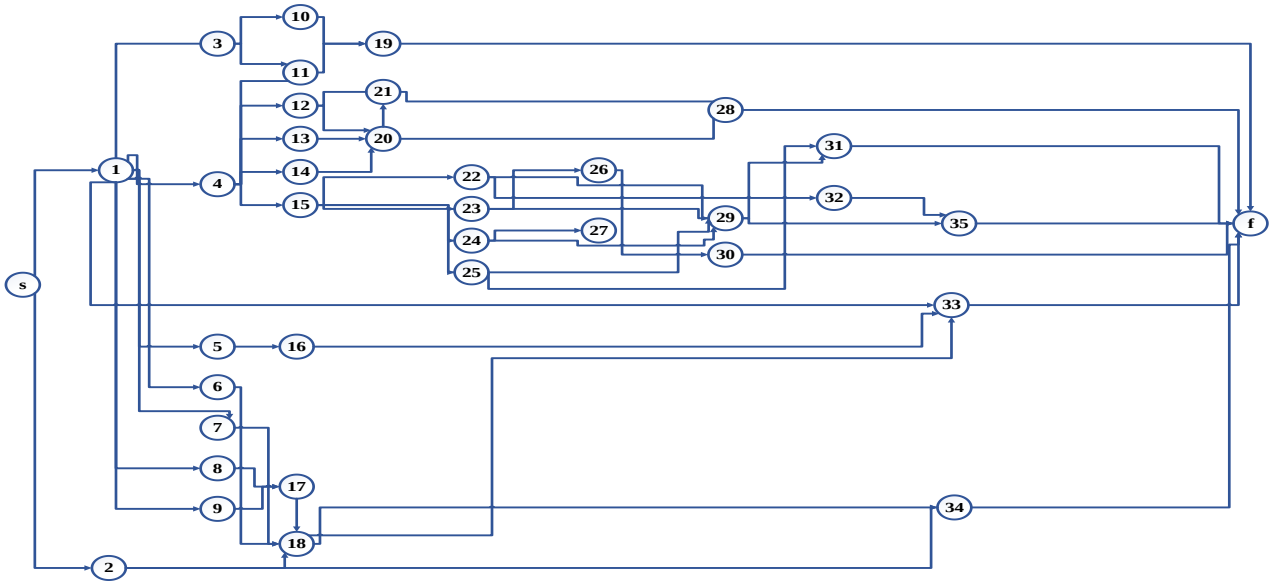
$$x_i(t+1) = x_i(t) + v_i(t+1)$$

$$v_i(t+1) = w.v_i(t) + r_1.c_1.\big(p_i(t) - x_i(t)\big) + r_2.c_2.\big(G(t) - x_i(t)\big)$$

۴- در صورت برآورده نشدن شرایط توقف به قدم ۲ بازمی‌گردیم

۵- پایان

در شکل زیر شبکه AON بخشی از فعالیت های یک پروژه پالایشگاهی (پالایشگاه میعانات گازی بندرعباس) نشان داده شده است. اطلاعات و داده‌های این قسمت با کمک خبرگان به دست آمد و در شکل ۱ شبکه پیش‌نیازی فعالیت‌های این بخش از پروژه نشان داده شده است:




شکل شماره (۱): شبکه پیش‌نیازی فعالیت‌های بخشی از پروژه احداث پالایشگاه میعانات گازی

همان طور که مشاهده می‌شود این پروژه دارای ۳۵ فعالیت بوده و فعالیت‌های s و f که شماره گذاری شده‌اند فعالیت‌های موهومی بوده و دارای مدت زمان انجام صفر می‌باشند و به ترتیب بیانگر شروع و پایان پروژه هستند.

در این مسئله فقط محدودیت منابع تجدیدپذیر در نظر گرفته‌شده است و فرض شده است منابع تجدید ناپذیر محدودیتی برای پروژه ایجاد نمی‌کنند. همان طور که از اسم منابع تجدید پذیر بر می‌آید از دوره‌ای به دوره بعد قابل تجدید هستند و طی مصاحبه با خبرگان مقدار بیشینه منابع و میزان مصرف منابع توسط هر یک از فعالیت‌ها مشخص گردید. در این پروژه دو منبع نیروی انسانی و تجهیزات در نظر گرفته‌شده است. همچنین فرض گردید فعالیت‌های پروژه بدون انقطاع می‌باشند یعنی با شروع یک فعالیت تا انتهای آن فعالیت به صورت پیوسته ادامه می‌یابد. با توجه به واقعی بودن محیط اجرای پروژه و با توجه به وجود تحریم‌ها و عدم قطعیت‌ها در منابع لزوم زمانبندی پایدار بیشتر احساس می‌شود. مسئله با وجود این مفروضات مدل‌سازی گردید.

جدول شماره (۱): لیست فعالیت‌های مسئله

| شماره فعالیت | مدت زمان انجام فعالیت | فعالیت‌های پیش‌نیاز | منبع | |
|---|---|---|---|---|
| | | | $R_1$ | $R_2$ |
| S | ۰ | _ | ۰ | ۰ |
| ۱ | ۱۵ | S | ۲۰ | ۲۳ |
| ۲ | ۴۵ | S | ۴۱ | ۳۰ |
| ۳ | ۳۰ | ۱ | ۲۷ | ۲۳ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ۲۹ | ۳۳ | ۱ | ۱۵ | ۴ |
| ۳۴ | ۳۸ | ۱ | ۶۰ | ۵ |
| ۲۲ | ۳۲ | ۱ | ۲۵ | ۶ |
| ۱۵ | ۲۳ | ۱ | ۱۵ | ۷ |
| ۱۸ | ۳۴ | ۱ | ۳۰ | ۸ |
| ۱۹ | ۳۶ | ۱ | ۳۰ | ۹ |
| ۴۷ | ۵۹ | ۳ | ۶۰ | ۱۰ |
| ۳۸ | ۴۴ | ۴–۳ | ۴۵ | ۱۱ |
| ۱۸ | ۳۹ | ۱۱–۴ | ۲۴ | ۱۲ |
| ۲۶ | ۳۷ | ۴ | ۴۵ | ۱۳ |
| ۱۶ | ۲۱ | ۴ | ۱۵ | ۱۴ |
| ۲۵ | ۲۹ | ۴ | ۱۵ | ۱۵ |
| ۴۰ | ۳۹ | ۵ | ۴۵ | ۱۶ |
| ۳۴ | ۳۵ | ۸–۲–۱ | ۲۴ | ۱۷ |
| ۷۸ | ۹۷ | ۷–۶–۱ | ۴۳۹ | ۱۸ |
| ۱۴ | ۳۴ | ۱۴–۱۳–۱۲ | ۱۵ | ۱۹ |
| ۱۶ | ۱۲ | ۱۹–۱۰ | ۱۵ | ۲۰ |
| ۴۵ | ۲۳ | ۱۹–۱۲ | ۴۵ | ۲۱ |
| ۲۱ | ۱۹ | ۱۵ | ۴۶ | ۲۲ |
| ۲۳ | ۳۴ | ۱۵ | ۳۰ | ۲۳ |
| ۱۳ | ۲۳ | ۲۳–۱۵ | ۴۵ | ۲۴ |
| ۲۳ | ۲۷ | ۲۴–۱۵ | ۲۵ | ۲۵ |
| ۳۴ | ۴۳ | ۲۴ | ۶۱ | ۲۶ |
| ۱۳ | ۲۳ | ۲۳ | ۴۵ | ۲۷ |
| ۱۲ | ۱۸ | ۲۱–۱۹ | ۲۵ | ۲۸ |
| ۷۹ | ۱۲۰ | ۲۵–۲۴–۲۳–۲۲ | ۴۸۵ | ۲۹ |
| ۱۲ | ۲۳ | ۲۹–۲۶ | ۱۵ | ۳۰ |
| ۲۲ | ۳۶ | ۲۹–۲۷–۲۵ | ۲۵ | ۳۱ |
| ۲۱ | ۱۹ | ۲۹–۲۲ | ۳۰ | ۳۲ |
| ۲۸ | ۲۱ | ۱۸–۱۶ | ۳۰ | ۳۳ |
| ۴۵ | ۶۵ | ۱۸–۲ | ۴۵ | ۳۴ |
| ۷۶ | ۹۵ | ۲۹ | ۲۳۵ | ۳۵ |
| ۰ | ۰ | –۳۲–۳۱–۲۷–۲۰<br>۲۵–۳۵–۳۳ | ۰ | f |

## ۳- نتایج و بحث

همان طور که در قسمت های قبل بیان شد از الگوریتم بهینه سازی انبوه ذرات برای حل مدل ارائه‌شده استفاده گردید. این الگوریتم در محیط نرم‌افزار MATLAB version 7.12.0635(2011a) کد نویسی شد و با استفاده از لپ‌تاپ با پردازنده Intel Core i7- 2630QM2GHZ اجرا گردید. در این بخش ابتدا توضیحاتی راجع به داده‌های ورودی الگوریتم و نتایج به دست آمده ارائه خواهد شد سپس اعتبارسنجی روش‌های حل بحث می‌شود.

داده‌های ورودی شامل دو بخش داده‌های عمومی مربوط به مسئله و پارامترهای کنترلی الگوریتم PSO می‌باشد. داده‌های عمومی شامل پیش‌نیاز های فعالیت، پس نیازی های فعالیت، مدت زمان انجام فعالیت، میزان منابع مورد نیاز برای هر فعالیت، تعداد فعالیت‌ها، حداکثر میزان منابع در دسترس و تعداد منابع مورد نیاز است.

پارامتر های کنترلی الگوریتم PSO شامل حداکثر تعداد تکرار، اندازه جمعیت، ضریب اینرسی، ضریب یادگیری شخصی و ضریب یادگیری جمعی است.

رویکرد تنظیم پارامترها به این صورت بوده است که ابتدا مقدار اولیه از مقالات و پژوهش های صورت گرفته در مرور ادبیات انتخاب می‌شود و سپس با روش سعی و خطا بهترین مقدار پارامترها تعیین‌شده و استفاده می‌شود. پس از به دست آوردن مقدار اولیه در هر مرحله یک مقدار انتخاب می‌شود و در دامنه‌های تعیین‌شده تغییرات اعمال گردید و برای هر کدام از دامنه‌ها الگوریتم ۱۰ مرتبه اجرا شد و با توجه به درصد انحراف از جواب بهینه و شیب همگرایی به سمت جواب نهایی پارامتر ها انتخاب شدند. بدین منظور برای به دست آوردن مقدار اولیه پارامتر ها برای الگوریتم PSO از منبع (Zhang et al., 2005) استفاده شد. پارامتر های نهایی به همراه داده‌های عمومی مربوط به مسئله در جدول ۲ آمده است.

جدول شماره(۲): پارامترهای الگوریتم و داده‌های عمومی مسئله

| | پارامتر | مقدار داده و یا روش تولید داده |
|---|---|---|
| داده‌های عمومی مسئله | مجموعه فعالیت پیش‌نیاز | Pj، طبق اطلاعات جدول ۱ |
| | مجموعه فعالیت پس نیاز | Sj، طبق اطلاعات جدول ۱ |
| | مدت زمان انجام فعالیت | dj، طبق اطلاعات جدول ۱ |
| | میزان منابع مورد نیاز برای هر منبع | R1 & R2، طبق اطلاعات جدول ۱ |
| | تعداد فعالیت | ۳۵ |
| | حداکثر منابع در دسترس | Max(R1)=100 & max(R2)=150 |
| | تعداد منابع مورد نیاز | ۲ |
| پارامتر های کنترلی الگوریتم PSO | حداکثر تعداد تکرار | ۲۰۰ |
| | اندازه جمعیت | ۳۰ |
| | ضریب اینرسی | ۰/۳ |
| | ضریب یادگیری شخصی | ۰/۶ |
| | ضریب یادگیری جمعی | ۰/۶ |
| | NFE | ۶۰۰۰ |

در نهایت پس از اتمام اجرای الگوریتم، مقدار تابع هدف نهایی[9] به همراه لیست نهایی انجام فعالیت‌ها به همراه زمان شروع فعالیت‌ها به دست می‌آید. با توجه به منبع شماره (Khaji & Shoghaee, 2014) برای $\lambda =$ ۰/۹۹ و $\lambda =$ ۰/۹۷ الگوریتم‌ها اجرا شد و نتایج به دست آمده در دو جدول ۳ و ۴ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که پس از اجرای ۱۲ مرتبه الگوریتم‌ها، بهترین جواب انتخاب شده است، البته واریانس این نتایج بسیار کم بوده به صورتی که واریانس برای نتایج جدول ۳ ($\lambda =$ ۰/۹۹) برابر ۱/۸۷ و برای جدول ۴ ($\lambda =$ ۰/۹۷) برابر ۲/۲۳ می‌باشد.

[9] $Objective(total) = \min(\lambda . C_{max} - (1-\lambda).TF)$ , $\lambda \epsilon [0,1]$

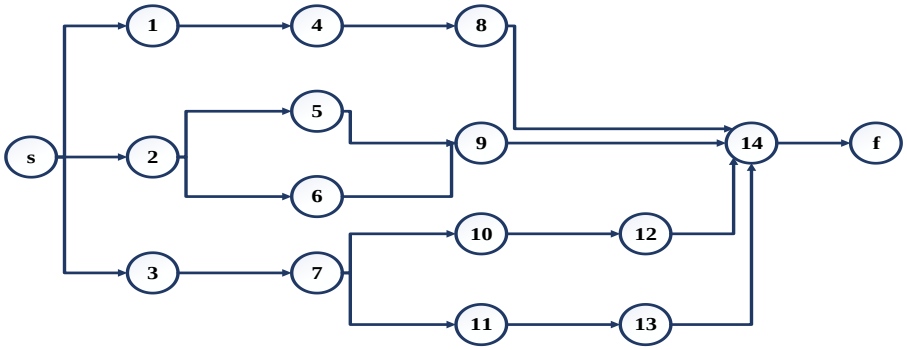
جدول شماره (۳): نتایج به دست آمده به ازای $\lambda =$۰/۹۹

| جواب به دست آمده از الگوریتم |
|---|
| *Objective(total)*=۱۱۵۸/۹ |
| *Cmax*=۱۴۵۴ |
| *TF*=۲۸۱۴۶ |
| *Running Duration(s)*=۸۰/۶ |

جدول شماره (۴): نتایج به دست آمده به ازای $\lambda =$۰/۹۷

| جواب به دست آمده از الگوریتم |
|---|
| *Objective(total)*=۵۱۶/۰۲ |
| *Cmax*=۱۵۱۴ |
| *TF*=۳۱۷۵۲ |
| *Running Duration(s)*=۸۳/۲۶ |

به منظور اثبات کارایی و کارآمدی الگوریتم‌های ارائه‌شده چهار مسئله با ابعاد کوچک‌تر انتخاب گردید پس از حل دقیق آن توسط نرم‌افزار Lingo 8، جواب به دست آمده با جواب به دست آمده از الگوریتم‌ها مقایسه گردید. برای روشن تر شدن روند اعتبارسنجی یکی از ۴ مسئله را به تفصیل در ادامه شرح خواهیم داد. این مسئله از منبع شماره (Bhaskar, 2011) استخراج گردید و شامل ۱۴ فعالیت می‌باشد. این پروژه دارای ۳ نوع منبع تجدید پذیر می‌باشد و حداکثر مقدار موجود از هر کدام به ترتیب ۲، ۸ و ۹ واحد می‌باشد. شکل ۲ شبکه پروژه نمونه و جدول ۵ نیز اطلاعات مربوط به منابع مورد نیاز هر فعالیت و مدت زمان انجام فعالیت را نشان می‌دهد.




شکل شماره(۲): گراف شبکه مربوط به مسئله نمونه

جدول شماره (۵): اطلاعات مربوط به منابع و مدت زمان فعالیت‌های مسئله نمونه

| شماره فعالیت | مدت زمان انجام فعالیت | تعداد منابع مورد نیاز برای هر فعالیت | | |
|---|---|---|---|---|
| | | *R1* | *R2* | $R_3$ |
| *S* | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱ | ۲۰ | ۲ | ۳ | ۱ |
| ۲ | ۱۵ | ۲ | ۲ | ۱ |
| ۳ | ۱۳ | ۴ | ۳ | ۰ |
| ۴ | ۲۸ | ۵ | ۳ | ۰ |
| ۵ | ۱۵ | ۴ | ۲ | ۰ |
| ۶ | ۱۲ | ۲ | ۱ | ۰ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| ۷ | ۱۰ | ۲ | ۲ | ۱ |
| ۸ | ۲۴ | ۴ | ۳ | ۰ |
| ۹ | ۱۸ | ۳ | ۲ | ۱ |
| ۱۰ | ۱۰ | ۲ | ۲ | ۱ |
| ۱۱ | ۱۲ | ۲ | ۲ | ۱ |
| ۱۲ | ۶ | ۲ | ۰ | ۱ |
| ۱۳ | ۸ | ۲ | ۲ | ۰ |
| ۱۴ | ۱۰ | ۵ | ۵ | ۲ |
| F | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |

با اعمال مفروضات مدل برای مسئله ذکرشده و حل آن توسط نرم‌افزار Lingo 8، جواب‌های به دست آمده و مدت زمان اجرای نرم‌افزار به ازای $\lambda =$ ۰/۹۹ و $\lambda =$ ۰/۹۷ در جدول ۶ نشان داده شده است. سپس این مسئله با الگوریتم PSO پیشنهادی نیز حل شد و جواب‌ها به دست آمده به جدول ۶ اضافه گردید.

جدول شماره(۶): جواب‌های به دست آمده برای مسئله نمونه

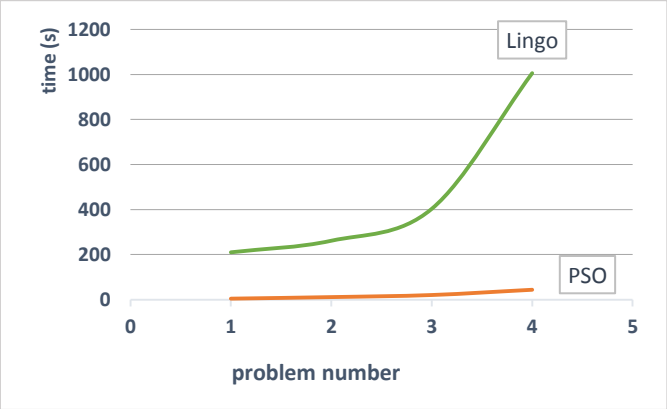
| $\lambda =$۰/۹۷ | | | | | $\lambda =$۰/۹۹ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *t(s)* | *TF* | *Cmax* | *Objective(total)* | روش حل | *t(s)* | *TF* | *Cmax* | *Objective(total)* | روش حل |
| ۲۶۱/۹۴ | ۱۸۹ | ۸۰ | ۷۱/۹۳ | روش دقیق (*LINGO 8*) | ۲۵۹/۱۱ | ۱۸۹ | ۸۰ | ۷۷/۱۳ | روش دقیق (*LINGO 8*) |
| ۵/۹۶ | ۱۸۷ | ۸۲ | ۷۳/۹۳ | الگوریتم *PSO* پیشنهادی | ۶/۴۷ | ۱۸۷ | ۸۲ | ۷۹/۳۱ | الگوریتم *PSO* پیشنهادی |

همان طور که مشاهده می‌شود زمان به دست آوردن جواب از حل دقیق مسئله بسیار بیشتر از زمان به دست آوردن جواب توسط الگوریتم است. در جدول نتایج به دست آمده از حل این مسئله و سه مسئله دیگر استخراج‌شده از منابع (Issi et al., 2007; Devonder et al., 2010; Ke et al., 2010) نشان داده شده است. در نمودار ۱ اختلاف روند افزایش زمان دست‌یابی به جواب توسط روش دقیق و روش‌های فرا ابتکاری نشان داده شده است.

جدول شماره(۷): نتایج به دست آمده برای مسائل مختلف

| $\lambda =$۱ | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| روش حل | | | | | | |
| الگوریتم *PSO* پیشنهادی | | روش دقیق (*Lingo 8*) | | درصد انحراف | تعداد فعالیت | شماره مسئله |
| *Objective(total)* | *t(s)* | *Objective(total)* | *t(s)* | | | |
| ۵۸۵ | ۳/۹۸ | ۱۳ | ۱۷۱/۳۴ | ۲/۰۹ | ۱۰ | ۱ |
| ۸۲ | ۵/۱۲ | ۸۱ | ۲۶۱/۵۴ | ۱/۲۵ | ۱۴ | ۲ |
| ۸۴ | ۶/۷۹ | ۸۳ | ۴۰۳/۳۷ | ۱/۲ | ۱۶ | ۳ |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴ | ۲۰ | ۶۵۳ | ۶۲/۴۹ | ۶۳۹ | ۱۰۰۵/۹۱ | ۲/۱۹ |
| | | | میانگین درصد انحراف | | | ۱/۶ |




نمودار شماره(۱): زمان‌های به دست آمده از روش‌های مختلف

همان طور که در جدول ۷ مشاهده می‌شود میانگین درصد انحراف جواب‌های الگوریتم PSO پیشنهادی از جواب دقیق مسئله به ترتیب برابر ۱/۶۸۲۵ می‌باشد. همچنین با توجه به نمودار ۱ مشاهده می‌شود با افزایش تعداد فعالیت‌های مسئله (پیچیدگی مسئله) زمان به جواب رسیدن الگوریتم PSO با شیب بسیار کم (نزدیک صفر) افزایش می‌یابد اما زمان به جواب رسیدن برای روش دقیق (Lingo 8) به صورت نمایی افزایش می‌یابد. این درصد انحراف نشان‌دهنده اختلاف ناچیز جواب‌های الگوریتم پیشنهادی با جواب دقیق مسئله است و این در حالی است که با افزایش تعداد فعالیت مسئله، زمان رسیدن به جواب توسط الگوریتم پیشنهادی با شیب بسیار کم، افزایش می‌یابد اما زمان رسیدن به جواب روش دقیق با شیب نمایی افزایش می‌یابد. این مشاهده نشان‌دهنده کارایی الگوریتم پیشنهادی می‌باشد. در نهایت می‌توان نتیجه گرفت الگوریتم پیشنهادی الگوریتمی کارا و کاربردی می‌باشند و به سادگی می‌تواند توسط مدیران پروژه در پروژه‌های واقعی مورد استفاده قرار گیرند.

## – منابع


1- Damghani, k., Tavakoli moghadam, R., & Tabari, M. (2011). Solving the problems of Scheduling projects with constraint resources by improved ant algorithm, Industrial Engineering, 45 (1), 59 – 69.

2- Aliahmadi A., Jafari M., Mortaji T., Nozari H. (2013). Improve prediction of Project completion time Based Earned Value Management System, Journal of Tomorrow management, 37, 5-19.

3- Basaghzade I., Hejazi S., Amirmosa E. (2010). Development of project scheduling model with objectives of completion time and rebostness of scheduling, Industrial Engineering, 44 (1), 13 -24.

4- Wang C., Bingqi J., Li G., Zhe T.,Jide N., Siwei L. (2016). Robust scheduling of building energy system under uncertainty, Journal of Applied Energy, 167, 366-376.

5- Ke H., Wang L., Huang H. (2015). An uncertain model for RCPSP with solution robustness focusing on logistics project schedule, International Journal of e-Navigation and Maritime Economy, 3, 71-83.

6- Angela H. and Chiuh-Cheng C. (2008). A Memetic Algorithm for Maximizing Net Present Value in Resource Constrained Project Scheduling Problem, IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2041-2049.

7- Wei1 S. (2013), Project Scheduling Under Resource Constraints: A Recent Survey, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), 2, 1-20.

8- Herroelen W., and Demeulemeester E., and De Reyck, B. (1999). A Classification Scheme for Project Scheduling (Project Scheduling-Recent Models, Algorithms and Application), Boston-Kluwer Academic.

9- Vanhoucke M., Debles D. (2011). The impact of various activity assumption on the lead time and resource utilization of resource-constrained project, Computer & Industrial Engineering, 54, 140-154.
10- AL-Fawzan M.A. and Haouari M. (2004). A Bi-Objective Model for Robust Resource-Constrained Project Scheduling, International Journal of Production Economics, 18, 1-13.
11- Seifi M. and Tavakkoli-Moghaddam R. (2008). A new bi-objective model for a multi-mode resource constrained project scheduling problem with discount cash flows and four payment models, IJE Transactions A: Basics, 21, 347-355.
12- Pinedo M. (2001). Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Prentice Hall, 2nd edition, Englewood Cliffs.
13- Tavagho M., Makuee A. (2012). Provide a method for determining the buffer size on the critical chain scheduling (Case Study: Company Soliran), Journal of Industrial Management (IM), 17, 1-22.
14- Goldratt E.M. (1997). Critical Chain, The North River Press Publishing Corporation, Great Barrington.
15- Herroelen W. and Leus R. (2001). On the merits and pitfalls of critical chain scheduling, Journal of Operations Management, 19, (5), 559–577.
16- Artigue C., Billaut J.C. and Esswein C. (2005). Maximization of solution flexibility for robust shop scheduling, European Journal of Operational Research, 165, (2), 314–328.
17- Aloulou M.A., Portmann M.C. and Vignier A. (2002). Predictive-reactive scheduling for the single machine problem, Proceedings of the 8th International Workshop on Project Management and Scheduling, 39–42.
18- Roy B. (2002). Robustesse de quoi et vis-à-vis de quoi mais aussi robustesse pourquoi en aide à la d ´cision? , Newsletter of the European Working group "Multicriteria Aid for Decisions", 3, (6), 1–6.
19- Tabrizi B., Ghaderi S.F. (2016). A robust bi-objective model for concurrent planning of project scheduling and material procurement, Computers & Industrial Engineering, In Press, Accepted Manuscript.
20- Sadeghi A., Safi A., Barzinpur F. (2012). Project scheduling problem solving with resource constraints multimode (MRCPSP) By Bees algorithm, Journal of Industrial Management (IM), 15, 2-4.
21- Zhang H., Li H., Huang F. (2005). Particle swarm optimization-based schemes for resource constraint project schedule Elsevier Automation in Construction, 14, 393-404.
22- Khaji M., Shoghaee R. (2014). Robust approach to supply network design with an emphasis on environmental uncertainty, Journal of Tomorrow management, 37, 171-188.
23- Bhaskar, T., Manabendra N., Asim K. (2011). A heuristic method for RCPSP with fuzzy activity time, European Journal of Operational Research, 208, 57-66.
24- Issi H., Bazgan C. (2007). Min-max and min-max regret versions of some combinatorial optimization problems: a survey, Annales du Lamsade Paris, 1–32.
25- Devonder S.V., Ballestin F., Demeulemeester E., Herroelen, W. (2010). Heuristic procedures for reactive project scheduling, Computer & Industrial Engineering, 52, 11-28.
26- Ke H., Liu B. (2010). Project scheduling problem with mixed uncertainty of randomness and fuzziness, European Journal of operational Research, 83, 135-147.