International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

December 2017, Volume 28, Number 2
pp 317- 329

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Modeling and Solving Resource Constraints Project Scheduling Problem and Material Ordering for Buying or Producing

Vahid Sabbagh & Mojtaba Salehi*

Vahid Sabbagh, *Department of Industrial Engineering, K.N.Toosi University of Technology*
Mojtaba salehi, *Assistant Professor of Industrial Engineering, Department of Industrial Engineer, Payame Noor University*

Keywords

Project scheduling, Material ordering, Self-adaptive genetic algorithm, Taguchi approach.

ABSTRACT

Resource constrained project scheduling problem (RCPSP) is mainly designed with the purpose of minimizing the makespan or maximizing the net present value. Although the application of RCPSP in material planning has a key role in projects, the proposed models are not able to set an ordering time and minimizing material cost. In this paper, an integer mathematical model is proposed to integrate project scheduling and ordering material. The model determines the ordering time and quantity of buying or producing any kind of material by calculating start time of activities. A self-adaptive genetic algorithm is proposed to solve the model. The efficiency of proposed algorithm is studied by solving small and medium problems, produced by RanGen1, and the results of the algorithm are compared to GAMS. The results show that the proposed algorithm is able to find solutions with minimum material costs.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 2, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۲، جلـــد ۲۸، تابستان ۱۳۹۶

صفحـــه ۳۱۸.-۳۲۹.

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

مدلسازی و حل مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع در دو حالت سفارش‌دهی برای خرید و تولید مواد مصرفی

وحید صباغ و مجتبی صالحی*

کلمات کلیدی

زمان‌بندی پروژه، سفارش‌دهی منابع مصرفی، الگوریتم ژنتیک خود تطبیقی، رویکرد تاگوچی.

چکیده:

مسئله زمان بندی پروژه با منابع محدود، عمدتاً با اهداف کمینه کردن زمان اتمام پروژه و یا بیشینه کردن ارزش خالص فعلی مدل سازی می شود. اگرچه به کارگیری مسئله زمان بندی پروژه با منابع محدود در برنامه ریزی مواد مصرفی نقش کلیدی در پروژه ها دارد، ولی مدل های پیشنهاد شده نمی توانند به تعیین زمان سفارش دهی و کمینه کردن هزینه های مواد مصرفی کمک کنند. در این پژوهش یک مدل ریاضی عدد صحیح جهت یکپارچه سازی زمان بندی پروژه و سفارش‌دهی مواد مصرفی ارائه شده است. این مدل با مشخص کردن زمان شروع هر یک از فعالیت های پروژه، میزان و دوره زمانی سفارش برای خرید یا تولید هر نوع مواد مصرفی را تعیین می کند.جهت حل مدل ارائه شده یک الگوریتم فراابتکاری ژنتیک خود تطبیقی پیشنهاد شده است. در ادامه با آزمایش مسائل تولید شده توسط RenGen1 عملکرد الگوریتم پیشنهاد شده را بر روی مسائل با اندازه های کوچک و متوسط مورد بررسی قرار داده و نتایج حاصل از آن با نرم‌افزار GAMS مقایسه و مشاهده شد، که الگوریتم پیشنهادی عملکرد مطلوبی در رسیدن به جواب مناسب برای زمانبندی فعالیت ها با کمترین هزینه‌های مواد مصرفی را دارد.

۱. مقدمه

مسئله زمانبندی پروژه با منابع محدود به دنبال کمینه کردن زمان اتمام پروژه و یا بیشینه کردن ارزش خالص فعلی است. [۲,۱]. این مسئله هم‌زمان با سفارش‌دهی مواد، حالت خاصی می‌باشد که در آن، جهت کاهش هزینه‌های پروژه به بررسی سیاست‌های سفارش‌دهی، زمان و میزان سفارش و مدیریت موجودی در هر دوره زمانی در طول افق برنامه‌ریزی می‌پردازد. به دلیل کنترل سطوح منابع مصرفی که در بیشتر دوره‌های زمانی متغیر و گاهی نیز در بعضی دوره‌ها ثابت می‌باشد، برنامه‌ریزی مواد و زمان‌بندی پروژه هم‌زمان انجام شده و کل هزینه‌های پروژه تحت کنترل قرار می‌گیرد [۳].

ادغام مسئله زمان‌بندی پروژه هم‌زمان با سفارش‌دهی مواد مصرفی، نخستین بار توسط آکوئیلانو و اسمیت[۴]معرفی شد. آن‌ها یک مدل ادغامی شامل برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد (MRP) مانند لیست مواد، زمان انتظار مواد در راه، زمان‌بندی سطوح موجودی و روش مسیر بحرانی (CPM) بود را توسعه داده و نام این روش را CPM-MRP گذاشتند. سپس آن‌ها [۵]، توانستند مدل پیشنهادی خود را با فرض هر دو محدودیت منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر توسعه داده و یک روش ابتکاری برای حل و زمان‌بندی مسائل بزرگ پیشنهاد دادند. رویکردشان متغیر بودن زمان فعالیت‌ها و همچنین محدودیت‌های پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها را رعایت می‌کرد.

استینبرگ و همکاران[۶]، با استفاده از سیستم برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد، یک زمان‌بندی برای پروژه‌های بزرگ مانند ساخت سفینه فضایی در صنایع فضایی آمریکا طراحی نمودند. آن‌ها تکنیکی را بر پایه لیست مواد پروژه برای زمان‌بندی پروژه

تاریخ وصول: ۹۴/۱۲/۲۵

تاریخ تصویب: ۹۵/۰۹/۰۲

وحید صباغ ، کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی؛vsabbagh@mail.kntu.ac.ir

***نویسنده مسئول مقاله: مجتبی صالحی** ، استادیار مهندسی صنایع، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور؛m_salehi61@yahoo.com

چندین پروژه با توجه به محدودیت منابع مصرفی به کار گرفتند که در این مدل کنترل سطوح موجودی در دوره‌های زمانی مختلف به چشم نمی‌خورد.

اسمیت دنیل و اسمیت دنیل[۷،۸]، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را برای مسئله زمان‌بندی پروژه هم‌زمان با سفارش‌دهی مواد ارائه دادند که با حل این مدل، زمان‌بندی بهینه‌ای برای فعالیت‌های پروژه و همچنین سفارش‌دهی مواد به صورت هم‌زمان به دست آید. آن‌ها با استفاده از الگوریتم واگنر-ویتین[۹]موفق شدند تا برنامه سفارش بهینه را برای یک زمان‌بندی پروژه مشخص محاسبه کنند. همچنین آن‌ها نشان دادند که دیرترین زمان شروع، یک زمان‌بندی بهینه را فراهم می‌آورد. این موضوع نشان داد که اگر این مسئله به مشتقات زمان‌بندی پروژه و برنامه سفارش‌دهی مواد تجزیه شود می‌تواند جواب بهینه را به دست آورد.

ارپسی و سپیل[۱۰]، یک رویکرد ابتکاری را برای موازنه بین سفارش‌دهی مواد مورد نیاز و تأخیر در پروژه ارائه دادند که در آن فاکتورهایی همچون زمان متغیر برای فعالیت‌ها، پاداش و جریمه برای زمان اتمام پروژه و مقدار تخفیف مواد را در نظر نگرفتند. بنابراین دودین و الیمام[۱۱] رویکرد اِرپسی و سپیل را گسترش داده و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط که شامل فرضیات زمان متغیر برای فعالیت‌ها، ارزش متغیر برای پروژه، تشویق برای به پایان رساندن پروژه قبل از موعد و همچنین مقدار تخفیف برای خریداری مواد بود را معرفی کردند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که با افزایش ابعاد و اندازه مسئله زمان حل آن به صورت تابع نمایی رشد می‌نماید. بنابراین نتایج عددی حاصله از این رویکرد نهایتاً برای مسائل زمان‌بندی پروژه با ۳۰ فعالیت مورد آزمایش قرار گرفته است.

سجادیه و همکاران[۱۲]، مدل زمان‌بندی پروژه هم‌زمان با سفارش‌دهی مواد مصرفی را که توسط دودین و الیمام[۸] معرفی شده بود را به صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط جدید توسعه دادند. اما در تحقیق آنها، منابع تجدید پذیر و محدودیت اتمام به موقع پروژه در نظر گرفته نشده و همچنین در تحقیق ایشان اشاره ای به نوع سفارش‌دهی (خرید یا تولید) نشده است. علاوه بر آن سفارش دهی به صورت زمان به زمان بوده ولی در تحقیق حاضر سفارش دهی مواد مصرفی به صورت افق برنامه ریزی در نظر گرفته شده که باعث شده حالتهای بیشتری در نظر گرفته شود و جواب نزدیکتر به بهینه پیدا کند.

زورقی و همکاران[۱۳]، مدل زمان‌بندی پروژه هم‌زمان با سفارش‌دهی مواد که توسط دودین و الیمام [۱۱]معرفی شده بود را با در نظر گرفتن فرضیات محدودیت منابع تجدید پذیر و محدودیت اتمام به موقع پروژه مدلی توسعه‌یافته را معرفی کردند. به همین منظور دو الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید شده را جهت حل مدل ارائه شده استفاده کردند. نتایج به دست آمده نشان می‌داد که در اکثر موارد، الگوریتم ترکیبی ژنتیک با عملکرد بالاتری نسبت به الگوریتم ترکیبی شبیه‌سازی تبرید به یافتن جواب مناسب می‌پردازد.

نجفی فراشاه و شادرخ [۱۴]، به مطالعه زمان‌بندی پروژه با در نظر گرفتن منابع تجدید ناپذیر فاسدشدنی پرداختند که در آن هر منبع فاسدشدنی پس از طی یک زمان مشخص فاسد می‌شود و باید دوباره تأمین گردد. برای حل این مسئله از الگوریتم ژنتیک استفاده کرده‌اند. نتایج نشان می‌داد که الگوریتم پیشنهادی دارای همگرایی و پایداری قابل قبولی است.

در این تحقیق به دنبال توسعه مدل مسئله زمان‌بندی پروژه هم‌زمان با سفارش‌دهی مواد که توسط زورقی و همکاران معرفی شد می‌پردازیم. در این راستا با در نظر گرفتن محدودیت اتمام به موقع پروژه، محدودیت منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر و با این فرض که مواد مصرفی مورد نیاز را می‌توان تولید کرد و یا از تأمین کننده خرید کرد، مدلی توسعه‌یافته و نزدیک‌تر به مسائل زمان‌بندی پروژه در دنیای واقعی معرفی می‌نماییم که در تحقیقات پیشین به آن پرداخته نشده است. جهت حل مدل ارائه شده، الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک خود تطبیقی را پیشنهاد می‌دهیم. که در آن به صورت خود تطبیق دو رویکرد سری و موازی را در ساخت برنامه زمانبندی استفاده می‌کند و همچنین برای اولین بار روشی جدید در ساخت کروموزوم مربوط به مقادیر سفارش دهی استفاده شد که نسبت به کارهای انجام شده، جواب‌های متنوع‌تری تولید می‌کند. در نهایت با آزمایش مسائل تولید شده توسط رنجن۱، عملکرد الگوریتم پیشنهادی را بر روی مسائل با اندازه‌های کوچک و متوسط محک می‌زنیم و آن را با نتایج حاصله از نرم‌افزار گمز مقایسه می‌کنیم.

۲. تعریف مسئله

در مسئله مورد بررسی فرض می‌شود که منابع پروژه از نوع تجدید پذیر و هم تجدید ناپذیر هستند. روابط بین فعالیت‌ها از نوع پیش‌نیازی بوده و با اتمام یک فعالیت، فعالیت پس از آن شروع خواهد شد و هر یک از این فعالیت‌ها بدون هیچ‌گونه توقفی در پروژه اجرا می‌شوند. فعالیت‌های پروژه در غالب یک شبکه گره‌ای (AON) و به صورت یک گراف $G=(V,E)$ نمایش داده می‌شوند. در این گراف، گره‌ها نشان دهنده فعالیت‌ها و کمان‌ها نمایانگر روابط پیش‌نیازی هستند. همچنین باید توجه داشت که این شبکه‌ها دچار حلقه و دور نمی‌شوند.

در مدل پیشنهادی، پروژه از $n+2$ فعالیت تشکیل شده است که در آن فعالیت‌های ابتدایی (۰) و انتهایی $(n+1)$ فعالیت‌های مجازی هستند که به ترتیب شروع و پایان پروژه را نشان می‌دهند. برای هر یک از فعالیت‌ها یک مدت زمان ثابت d_i برای اجرا در نظر گرفته

شده است که در آن تا پایان زمان انجام فعالیت مجاز به قطع شدن نمی‌باشد. فعالیت‌ها برای اجرا نیاز به L منبع تجدید پذیر و همچنین F منبع تجدید ناپذیر دارند که با توجه به مدت زمان فعالیت، در طول اجرای فعالیت در هر دوره زمانی باید در دسترس باشند. بدین منظور لازم است که سطوح مورد نیاز از منابع در زمان اجرای فعالیت‌ها را مشخص کرده و منابع مورد نیاز برای اجرای فعالیت‌ها در یک دوره خاص فراهم گردد. از این رو مصرف منابع برای هر فعالیت در طول زمان اجرا به صورت یکنواخت در نظر گرفته می‌شود.

در مدل پیشنهادی مقاطع مختلف زمانی با tنمایش داده می‌شود که می‌تواند از ۱ تا زمان موعد پروژه (DD) مقدار بگیرد. فرض می‌شود که از منبع تجدید پذیر L در هر یک از دوره‌های t به میزان R_l واحد موجود است. برای انجام فعالیت i ام نیاز به r_{il}واحد از منبع تجدید پذیر Lام و همچنین به μ_{if} واحد از منبع تجدید ناپذیر F در هر یک از دوره‌های tمی‌باشد.

در مدل پیشنهادی دو نوع سیاست برای تأمین مواد مصرفی وجود دارد. به این صورت که مواد مصرفی را از خارج از سازمان خریداری کنیم (k=1) و یا این که در داخل سازمان آن را تولید کنیم(k=2). مدل در طول دوره برنامه‌ریزیتواماً با بررسی این دو سیاست، سعی در کمینه کردن هزینه تأمین مواد مصرفی دارد.

در شروع هر دوره زمانی t، مدل ارائه شده باید مقدار سفارش مورد نیاز برای هر واحد از مواد مصرفی را تعیین نماید و نیز مشخص کند که این مقدار تعیین شده از خارج از سازمان خریداری شود (Q_{1ft}) یا اینکه در داخل سازمان تولید شود (Q_{2ft}). ممکن است در هر دوره بعد از برآورده ساختن نیاز فعالیت‌ها به مواد مصرفی، مقداری موجودی در انتهای دوره باقی بماند (I_{ft}) که نگه‌داری آن هزینه زا است. بنابراین هزینه نگه‌داری منبع تجدید ناپذیر Fام در انتهای هر دوره را با H_f نشان می‌دهند.

در این تحقیق فرض بر این است که ظرفیت موجودی انبار نامحدود بوده و همچنین در هر دوره زمانی، مدت زمان انتظار برای دریافت مقدار سفارش مواد مصرفی در هر دو حالت خرید و تولید ثابت است.

سیاست‌های گوناگونی برای سفارش‌دهی مواد مصرفی در طول برنامه زمانی پروژه در هر دو حالت خرید و تولید وجود دارند که با توجه به هر سیاست سفارش‌دهی هزینه‌ای تحت عنوان سفارش‌دهی مواد (A_{kf}) باید پرداخت گردد. شایان ذکر است که هزینه سفارش‌دهی مواد مصرفی در هر دو حالت خرید و تولید در ابتدای هر دوره مستقل از مقدار سفارش می‌باشد.

فعالیت‌های پروژه باید به گونه‌ای زمان‌بندی و اجرا شوند که زمان واقعی اتمام پروژه از زمان موعد اتمام پروژه (DD) تجاوز نکند به همین دلیل به عنوان یک محدودیت در مدل مسئلهمد نظر قرار گرفته است. تأثیر پارامتر DD بر پروژه، فقط به صورت این است که مسئله را موجه یا غیرموجه کند و تأثیری در جواب بهینه ندارد. به منظور در نظر گرفتن همزمان سفارش‌دهی و زمان‌بندی، کمینه کردن کل هزینه پروژه را در تابع هدف و کل زمان پروژه را در محدودیت‌های مدل مسئله آورده‌ایم.

به طور کلی مدل مسئله در ابتدا سعی در یافتن زمان‌های شروع فعالیت‌های پروژه (X_{it}) با توجه به محدودیت منابع تجدید پذیر و همچنین روابط پیش‌نیازی دارد. سپس زمان و مقدار سفارش بهینه برای تولید و خرید مواد مصرفی با توجه به زمان شروع فعالیت‌ها محاسبه می‌گردد. حال با توجه به سیاست انتخاب شده برای سفارش‌دهی مواد مصرفی، هزینه‌های خرید و تولید، نگه‌داری و سفارش‌دهی مواد به دست می‌آیند. همان‌طور که قبلاً گفته شد هدف مسئله پیشنهادی، کمینه کردن هزینه‌هابا توجه به محدودیت‌های مدل می‌باشد.

۲-۱. پارامترها و متغیرهای مدل

قبل از شرح مدل، مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم به کار رفته برای مدل‌سازی را به قرار زیر معرفی می‌نماییم.

i,j: تعداد فعالیت‌های پروژه (i=0,1,...,n+1).

f : تعداد منابع تجدید ناپذیر (f=1,2,...,F).

l : تعداد منابع تجدید پذیر (l=1,2,...,L).

k : مربوط به تولید یا خرید (k=1,2).

t : دوره یا واحد زمانی (t=0,1,2,...,DD-1).

G : گراف غیر مدور نمایش‌دهنده پروژه.

P_i : مجموعه فعالیت‌های پیش‌نیازی فعالیت i ام.

d_i : مدت زمان اجرای فعالیت i ام.

ES_i: زودترین زمان شروع فعالیت i ام.

LS_i : دیرترین زمان شروع فعالیت i ام.

L : تعداد منابع تجدید پذیر.

R_l : تعداد واحدهای در دسترس از منبع تجدید پذیر l ام.

r_{il} :تعداد واحدهای مورد نیاز از منبع تجدید پذیر l برای انجام فعالیت i ام.

F : تعداد منابع تجدید ناپذیر (مصرفی).

μ_{if} : تعداد واحدهای مورد نیاز از منبع تجدید ناپذیر f برای انجام فعالیت i ام.

A_f : هزینه سفارش‌دهی برای سفارش منبع تجدید ناپذیر f ام.

H_f : هزینه نگه‌داری موجودی برای منبع تجدید ناپذیر f ام.

DD : زمان موعد اتمام پروژه.

C_{kf} :قیمت خرید یا تولید هر واحد از منبع مصرفی f ام.

X_{it} : به صورت یک متغیر صفر و یک نمایش داده می‌شود که اگر و تنها اگر فعالیت i در دوره زمانیt شروع شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.

Q_{kft} : به صورت یک متغیر عدد صحیح نمایش داده می‌شود که بیانگر مقدار سفارش مواد مصرفی fدر دوره زمانی t در حالت تولید

و خرید می‌باشد.

I_{ft}: به صورت یک متغیر عدد صحیح نمایش داده می‌شود که بیانگر سطح موجودی مواد مصرفی f در دوره زمانی t ام می‌باشد.

λ_{kft}: به صورت یک متغیر صفر و یک نمایش داده می‌شود که اگر و تنها اگر مواد مصرفی f در دوره زمانی t در حالت تولید و خرید سفارش داده شود برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر است.

از موارد ذکر شده در بالا، متغیرهای صفر و یک و متغیرهای میزان سفارش و سطح موجودی هر منبع در هر واحد زمانی، متغیرهای تصمیم مسئله را تشکیل می‌دهند و بقیه جزو پارامترهای مسئله هستند و مقادیر آن‌ها مسئله را مشخص می‌کند و تغییر هر کدام از آن‌ها مسئله متفاوتی را ایجاد خواهد نمود.

۲-۲. مدل ریاضی مسئله

با استفاده از علائم اختصاری تعریف شده، مسئله به صورت یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به قرار زیر ارائه شده است:

$$Min\ Z = \sum_{k=1}^{2}\sum_{f=1}^{F}\sum_{t=0}^{DD-1}(A_{kf}.\lambda_{kft} + C_{kf}.Q_{kft}) + \sum_{f=1}^{F}\sum_{t=0}^{DD-1} H_f.I_{ft} \quad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_{t=ES_i}^{LS_i} X_{it} = 1 \qquad \forall i \quad (۲)$$

$$\sum_{t=ES_i}^{LS_i}(t+d_i).X_{it} \le \sum_{t=ES_j}^{LS_j} t.X_{jt} \qquad \forall i,j \in P_j \quad (۳)$$

$$\sum_{t=ES_{n+1}}^{LS_{n+1}}(t+d_{n+1}).X_{i(n+1)} \le DD-1 \quad (۴)$$

$$\sum_{i=0}^{n+1}\sum_{w=\max\{t-d_i+1,ES_i\}}^{\min(t,LS_i)} r_{il}.X_{iw} \le R_l \qquad \forall l,t \quad (۵)$$

$$Q_{kft} \le \lambda_{kft}.M \qquad \forall k,f,t \quad (۶)$$

$$I_{f0} = \sum_{k=1}^{2} Q_{kft} - \sum_{i=0}^{n+1}\mu_{if}.X_{i0} \qquad \forall f$$

$$I_{ft} = I_{f(t-1)} + \sum_{k=1}^{2} Q_{kft} - \sum_{i=0}^{n+1}\sum_{w=\max\{t-d_i+1,ES_i\}}^{\min(t,LS_i)} \mu_{if}.X_{iw} \qquad \forall f,t \quad (۷)$$

$$X_{it} \in \{0,1\} \qquad \forall i,t \quad (۸)$$

$$\lambda_{kft} \in \{0,1\} \qquad \forall k,f,t \quad (۹)$$

$$Q_{kft} \ge 0 \qquad \forall k,f,t \quad (۱۰)$$

$$I_{ft} \ge 0 \qquad \forall k,f,t \quad (۱۱)$$

۲-۳. تشریح روابط مدل

(۱) تابع هدف مدل است که عبارت است از مجموع هزینه‌های خرید و تولید، سفارش‌دهی و نگه‌داری موجودی است. هدف مسئله کمینه‌سازی هزینه‌های کل پروژه است که از مشخص شدن زمان‌های شروع هر یک از فعالیت‌ها و مقدار سفارش مواد مصرفی برای خرید و تولید در هر دوره زمانی می‌باشد که با توجه به محدودیت‌های مدل به دست می‌آید.

(۲) این رابطه نشان می‌دهد که هر فعالیت دقیقاً یک زمان شروع دارد.

(۳) این محدودیت برای رعایت پیش‌نیازی و پس‌نیازی فعالیت‌ها طبق شبکه فعالیت‌های پروژه است.

(۴) با وجود این محدودیت در مدل مسئله، زمان کل انجام پروژه نیز در نظر گرفته شده و با اینکه هدف کمینه‌سازی زمان انجام پروژه نیست، اما اجازه نخواهیم داد تا زمان اتمام پروژه از حد مورد نظر فراتر رود.

(۵) این رابطه نشان می‌دهد که میزان منابع تجدید پذیر تخصیص داده شده به فعالیت‌ها می‌بایست در هر زمان از سطح دسترسی تعیین شده برای منابع مذکور بیشتر نباشد.

(۶) ارتباط بین λ و Q را نشان می‌دهد که اگر سفارشی برای تولید یا خرید داده شود λ مقدار ۱ و در غیر اینصورت مقدار صفر می‌گیرد.

(۷) این رابطه موازنه سطح موجودی مواد مصرفی را نشان می‌دهد.

(۸) تا (۱۱) نمایانگر محدودیت‌های متغیرهای مسئله می‌باشند.

سجادیه و همکاران[۹] اثبات کردند که مسئله زمان‌بندی پروژه هم‌زمان با سفارش‌دهی مواد متعلق به مسائل NP-hard می‌باشد. و از آنجایی که مسئله پیشنهادی، حالت توسعه‌یافته مسئله آن‌ها بوده؛ پس این مسئله هم جزء مسائل NP-hard در نظر گرفته می‌شود.

۳. روش حل مسئله

با مرور کارهای گذشته در این زمینه مشخص می‌شود که برای حل این نوع مسائل، الگوریتم ژنتیک کارایی بالاتری نسبت به الگوریتم‌های دیگر نشان داده است. همچنین قابل ذکر است که در ادبیات موضوع، در ساخت برنامه زمانبندی از رویکرد سری و یا موازی استفاده کرده‌اند و هیچکدام به صورت همزمان از این دو رویکرد استفاده نکرده‌اند. در این پژوهش، برای ساخت برنامه

زمانبندی فعالیت‌ها از هر دو رویکرد سری و موازی استفاده می‌شود.

به همین خاطر، در این پژوهش از الگوریتم ژنتیک خود تطبیقی جهت حل مدل استفاده نموده تا به صورت خود تطبیق و همزمان از دو رویکرد سری و موازی در جهت ساخت برنامه زمانبندی مناسب‌تر استفاده شود.

۳-۱. طرح کلی الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم ابتدا جمعیت اولیه را به صورت تصادفی ایجاد می‌نماید که در این مرحله لیست اولویت فعالیت‌ها به صورت تصادفی تعیین می‌شوند. همچنین در ابتدای الگوریتم هر یک از دو رویکرد سری و موازی دارای شانس یکسان برای انتخاب شدن هستند به گونه‌ای که برای هر یک از اعضای جمعیت یکی از دو رویکرد به صورت تصادفی انتخاب و برنامه زمان‌بندی ساخته می‌شود. در گام بعدی الگوریتم با توجه به برنامه زمانبندی ساخته شده شروع به تعیین زمان و میزان سفارشات مواد مصرفی برای خرید یا تولید آن می‌نماید و میزان برازش هر یک از اعضا محاسبه می‌شود. پس از آن، میزان برازش اعضای جمعیت اولیه مرتب شده و اعضای برتر جامعه شناسایی می‌شوند. در پایان این مرحله جمعیت اولیه به طور کامل ساخته و ارزیابی می‌شوند و الگوریتم برای ورود به مرحله تولید فرزندان و ساخت نسل‌های بعد آماده است.

در ادامه کار در هر نسل، نخست با استفاده از رویکرد خود تطبیقی، احتمالات مربوط به انتخاب رویکردهای سری و موازی برای ساخت برنامه زمان‌بندی هر یک از اعضای جامعه نسل جدید بازنگری می‌شود و پس از محاسبه مقادیر بازنگری شده برای احتمالات استفاده از آن‌ها، نخست اعضای برتر هر نسل قبل مستقیماً به نسل جدید انتقال داده می‌شوند. پس از آن با استفاده از رویکرد چرخ رولت و بر اساس مقادیر برازش جفت‌های والدین از نسل قبل برای عملیات تقاطع و جهش انتخاب می‌شوند.

بر روی والدین انتخاب شده، عملگر تقاطع با احتمال P_{cr}اعمال می‌شود که در صورت وقوع تقاطع فرزندان ساخته می‌شوند. سپس خروجی این مرحله که در صورت اعمال تقاطع، فرزندان بوده و در غیر اینصورت والدین هستند، با احتمال P_{mu}جهش خواهند یافت و به نسل جدید انتقال داده می‌شوند. خروجی‌های این مرحله یکی از چهار حالت زیر خواهند بود:

۱- فرزندان حاصل از تقاطع که جهش یافته‌اند.
۲- فرزندان حاصل از تقاطع که جهش نیافته‌اند.
۳- والدین جهش یافته‌اند.
۴- والدینی که بر روی آن‌ها هیچ یک از عملگرهای اپراتور و جهش اعمال نشده است.

بدین ترتیب نسل جدید که متشکل از اعضای برتر نسل قبلی و خروجی‌های حاصل از مرحله تقاطع و جهش است به دست می‌آید. در ادامه، اعضای جمعیت نسل جدید را بر اساس میزان برازش آن‌ها مرتب کرده و اعضای برتر شناسایی می‌شوند. این فرایند تا زمان ارضا شدن شرط توقف الگوریتم ادامه می‌یابد. لازم به ذکر است که الگوریتم تحت یکی از دو شرایط زیر متوقف می‌شود:

۱- اگر با پیشروی الگوریتم هیچ نوع بهبودی مشاهده نشد خواه الگوریتم جواب دلخواه پیدا کرده باشد و یا نکرده باشد.
۲- الگوریتم به تعداد ثابتی از نسل‌ها رسیده باشد.

۳-۲. ساختار کروموزوم

در این الگوریتم کروموزوم از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت اول کروموزوم مربوط به ماتریس فعالیت‌ها است که شامل تعیین زمان شروع فعالیت‌ها می‌باشد. قسمت دوم کروموزوم نیز مربوط به ماتریس مقادیر سفارش‌دهی مواد مصرفی و تابع هدف مسئله است. در الگوریتم حل مسئله، تعداد ژن‌های یک کروموزوم از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$N = Act + 2(F \times DD) \qquad (۱)$$

به عبارت دیگر تعداد ژن‌های یک کروموزوم، برابرِ تعداد فعالیت‌های غیرمجازی به علاوه دو برابر حاصل‌ضرب تعداد منابع فاسدشدنی در زمان موعد پروژه می‌باشد.

قسمت اول کروموزوم

قسمت اول کروموزوم مربوط به ساخت برنامه زمان‌بندی فعالیت‌ها می‌باشد. در جدول زیر قسمت اول کروموزوم الگوریتم پیشنهادی ارائه شده است.

جدول ۱. نمایش قسمت اول کروموزوم الگوریتم ژنتیک خود تطبیقی

Scheduling =	S_1	S_2	⋯	S_i	⋯	S_n

موقعیت هر کدام از S_iها، نمایانگر شماره فعالیت‌های غیرمجازی iام است و همچنین ارزش هر یک از S_iها نشان دهنده زمان شروع فعالیتiام می‌باشد. جهت تولید بردار Scheduling در قدم اول، یک بردار تصادفی با استفاده از توزیع یکنواخت پیوسته در فاصله [۰,۱] تولید می‌شوند که حاصل آن یک بردار تصادفی X می‌باشد که تحت عنوان جواب‌های شدنی اولیه برای برنامه زمان‌بندی فعالیت‌ها به الگوریتم معرفی می‌شوند.

بعد از تولید تصادفی بردار، باید آن را به یک جایگشت از فعالیت‌ها تبدیل کنیم. الگوریتم با استفاده از ارزش هر یک از X_iها، ماتریس X را به یک ماتریس لیست شدنی از توالی فعالیت‌ها که از لحاظ روابط پیش‌نیازی شدنی هستند تبدیل می‌کنند که به اختصار به آن " لیست فعالیت (AL)" اطلاق می‌شود که اولین بار توسط هارتمن[۱۲]پیشنهاد شده است.برای تبدیل کردن لیست فعالیت‌ها به یک زمان‌بندی پروژه، از دو رویکرد سری و موازی به صورت خود تطبیقی در الگوریتم پیشنهادی استفاده می‌کنیم و به این ترتیب

بردار Scheduling ایجاد می‌شود.

در گام بعدی، برای ارزیابی و محاسبه تابع هدف مسئله، می‌بایست برنامه زمانی سفارش‌دهی برای خرید یا تولید مواد مصرفی، برای هر زمان‌بندی به دست آورد. در حقیقت با یافتن زمان‌های شروع فعالیت‌ها می‌توان یک زمان‌بندی شدنی و موجه با توجه به محدودیت منابع تجدید پذیر و همچنین روابط پیش‌نیازی فعالیت‌ها به دست آورد. سپس با در نظر گرفتن زمان‌بندی موجود، سفارش‌دهی مواد مصرفی مورد نیاز برای هر دوره زمانی مشخص می‌گردد.

قسمت دوم کروموزوم

قسمت اول کروموزوم یک زمان‌بندی موجه از لحاظ روابط پیش‌نیازی و محدودیت منابع تولید می‌کند که با داشتن این زمان‌بندی موجه، نیازمندی فعالیت‌های هر دوره زمانی از منابع مصرفی مشخص می‌گردد. در قسمت دوم کروموزوم تلاش می‌کنیم تا نیاز فعالیت‌ها به منابع مصرفی را به صورتی برآورده کنیم تا کمترین هزینه را برای پروژه داشته باشد. قسمت دوم کروموزوم شامل دو ماتریس خرید و تولید مواد مصرفی است.

ژن‌های ماتریس اول نشان دهنده مقادیر سفارش برای خرید و ژن‌های ماتریس اول نشان دهنده مقادیر سفارش برای تولید هر منبع مصرفی در هر دوره زمانی است. هر عضو ماتریس خرید با Q_{1ft} و هر عضو ماتریس تولید با Q_{2ft}نشان داده می‌شود.

$$Ordering = \begin{bmatrix} Q_{110} & \cdots & Q_{1,1,DD-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{1F0} & \cdots & Q_{1,F,DD-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_{210} & \cdots & Q_{2,1,DD-1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Q_{2F0} & \cdots & Q_{2,1,DD-1} \end{bmatrix}$$

شکل ۱. نمایش ماتریسی قسمت دوم کروموزوم

برای تولید قسمت دوم کروموزوم، ابتدا ماتریس تصادفی (RM) از اعداد ۰ و ۱ به ابعاد تعداد منابع مصرفی در تعداد دوره‌های زمانی موجود در پروژه تولید می‌کنیم که در آن ۰ به معنی عدم سفارش و ۱ به معنای مجاز بودن برای سفارش مواد مصرفی می‌باشد. برای اینکه ماتریس تصادفی تولید شده، شدنی باشد از عملگر اصلاح‌کننده استفاده می‌کنیم. عملگر اصلاح‌کننده با توجه به قسمت اول کروموزوم ماتریس RM را به یک ماتریس اصلاح شده (RMI) تبدیل می‌کند.

عملگر اصلاح‌کننده به این صورت کار می‌کند که در هر سطر (f) ماتریس RM، کمترین زمان شروع فعالیت‌هایی که به منبع مصرفی f نیاز دارد را از قسمت اول کروموزوم مشخص می‌کنیم. سپس، در همان سطر ماتریس RM ژن مربوط به عدد تعیین شده را مشخص می‌کنیم و اگر مقدار آن ۰ بود عدد ۱ را جایگزین آن می‌کنیم و تمام ژن‌های قبل از ژن انتخاب شده را برابر ۰ قرار می‌دهیم و این کار برای تمام سطرها انجام می‌شود. با این کار پروژه با کمبود منابع مصرفی و تأخیر در شروع پروژه مواجه نمی‌شود و نیز از هزینه مازاد نگه‌داری مواد مصرفی جلوگیری می‌شود.

بعد از اینکه ماتریس اصلاح شده RMI تولید شد، باید آن را به ماتریس سفارش‌دهی تبدیل کنیم تا برنامه زمانی و میزان سفارش مواد مصرفی تعیین و همچنین تابع هدف مسئله محاسبه شود. نحوه تبدیل به این صورت است که ابتدا در هر سطر (منبع مصرفی f) ماتریس اصلاح شده، اولین و دومین ژنی که مقدار آن عدد ۱ است را مشخص می‌کنیم. سپس نیاز فعالیت‌های در حال اجرا به منبع مصرفی (f) در فاصله (بازه) زمانی بین این دو ژنرا محاسبه و با هم جمع می‌کنیم و مجموع آن را در اولین ژنی که عدد ۱ دارد قرار می‌دهیم. در گام بعدی، نیاز فعالیت‌های در حال اجرا به منبع مصرفی در فاصله زمانی بین دومین و سومین ژنی که عدد ۱ دارد را با هم جمع می‌کنیم و مجموع آن را در دومین ژنی که عدد ۱ دارد قرار می‌دهیم. این عمل تا آخرین ژنی که مقدار ۱ دارد ادامه پیدا می‌کند. لازم به ذکر است وقتی به آخرین ژن با مقدار ۱رسید، نیاز فعالیت‌های در حال اجرا به منبع مصرفی f در فاصله زمانی بین آخرین ژن تا زمان موعد پروژه با هم جمع شده و مجموع آن در آخرین ژن با مقدار ۱ قرار می‌گیرد. به این ترتیب ماتریس سفارش‌دهی (OM) تولید می‌شود.

الگوریتم بعد از تعیین ماتریس سفارش‌دهی (OM)، به بررسی اینکه آیا مقادیر سفارش را در داخل سازمان تولید کند و یا از خارج از سازمان خرید نماید، می‌پردازد. برای هر مقدار سفارش‌دهی مشخص شده هزینه‌های تولید و خرید را محاسبه می‌کند. اگرهزینه‌های خرید نسبت به هزینه‌های تولید کمتر بود، مقدار سفارش تعین شده را خرید می‌نماید و در ماتریس Q_{1ft} جایگذاری می‌کند و اگر هزینه‌های تولید نسبت به هزینه‌های خرید کمتر بود، مقدار سفارش تعین شده را تولید می‌نماید و در ماتریس Q_{2ft} جایگذاری می‌کند. این روند تا بررسی همه مقادیر سفارش تعین شده ادامه می‌یابد و بدین ترتیب ماتریس Orderingتولید می‌شود.

۳-۳. رویکردهای ساخت برنامه زمان‌بندی

در این بخش با توجه به عملکرد متفاوت رویکردهای موازی و سری در ساخت برنامه زمان‌بندی و به منظور جست‌وجوی بهتر و کامل‌تر فضای جواب رویکرد خود تطبیقی برای حل مسئله ارائه شده است.برای مطالعه بیشتر در خصوص رویکردهای موازی و سری برای ساخت برنامه زمان‌بندی می‌توان به مقاله کولیش [۱۳] اشاره نمود.

همانطور که در بخش‌های قبل نیز اشاره شد در زمان ساخت جمعیت اولیه الگوریتم ژنتیک، رویکردهای سری و موازی دارای شانس برابر برای انتخاب شدن و ساخت برنامه زمان‌بندی هر یک از اعضای جامعه هستند. در این بین، وظیفه رویکرد خود تطبیقی تغیر و تنظیم احتمالات مربوط به انتخاب این رویکردها در طول گذر نسل‌ها می‌باشد. این کار می‌بایست به گونه‌ای صورت گیرد که

رویکرد موثرتر در هر نسل، شانس بیشتری برای انتخاب شدن و اعمال بر اعضای نسل بعدی داشته باشد. معیار مناسب برای ارزیابی عملکرد این دو رویکرد میزان برازش عناصر جامعه می‌باشد.

برای این کار، در ابتدای فرایند ساخت هر نسل جمعیت نسل قبلی بررسی و بر اساس طرح ساخت برنامه زمان‌بندی به دو دسته تقسیم می‌گردند:

- ✓ اعضای جامعه که از رویکرد سری برای ساخت برنامه زمان‌بندی آن‌ها استفاده شده است.
- ✓ اعضای جامعه که از رویکرد موازی برای ساخت برنامه زمان‌بندی آن‌ها استفاده شده است

در ادامه مجموع مقادیر تابع هدف برای اعضای هر یک از دو دسته محاسبه می‌شود و الگوریتم به طرحی که مجموع هزینه‌های کمتری داشته باشد شانس بیشتری برای انتخاب و اعمال بر اعضای نسل جدید را می‌دهد. در نتیجه این کار هم‌زمان با جست‌وجوی کامل و گسترده فضای جواب این امکان به الگوریتم داده می‌شود که در هر نسل با انتخاب رویکرد مناسب از بهترین کارایی ممکن برخوردار باشد.

۳-۴. ترکیب

این عمل به معنی ترکیب ژن‌های والدین و تولید فرزند است. در این مسئله، عمل ترکیب در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی بر روی کروموزوم به یکی از سه حالت تک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای و چهار نقطه‌ای اعمال می‌شود که احتمال انتخاب هر کدام از آن‌ها با روش چرخه رولت تعیین می‌شود. کروموزوم فرزند از عمل ترکیب بر روی هر دو قسمت کروموزوم‌های والدین به وجود می‌آید.

۳-۵. جهش

به تغییرات غیرقابل پیش‌بینی در ژن‌های یک کروموزوم که به صورت ارثی نبوده و از والدین به فرزند منتقل نشده باشد جهش می‌گویند. روش‌های مختلفی برای اعمال جهش در ادبیات الگوریتم ژنتیک وجود دارد که در این تحقیق سعی شده است علاوه بر چند روش موجود از چند روش ابتکاری که بر اساس ساختار مسئله طراحی شده است، به جواب‌های بهتری برسد و از نقاط بهینه محلی فرار کند. با توجه به ساختار دو قسمتی کروموزوم، جهش را نیز به دو قسمت تقسیم کرده‌ایم.

جهش قسمت اول

در هر تکرار عملگر جهش، برای اعمال جهش بر ژن‌های قسمت اول کروموزوم انتخابی، یکی از روش‌های زیر با روش چرخه رولت انتخاب و اعمال می‌شود.

روش۱: جابجایی تصادفی دودویی

ابتدا دو ژن از ژن‌های قسمت اول کروموزوم را به تصادفانتخاب نموده و با این فرض که یکی از این دو ژن انتخابی اکیداً بزرگ‌تر از ژن دیگر است. سپس ارزش بین این دو عضو را جابجا می‌کنیم.

روش ۲: حذف کردن و انتقال دادن

ابتدا دو ژن از ژن‌های قسمت اول کروموزوم را به تصادفانتخاب نموده و با این فرض که یکی از این دو ژن انتخابی اکیداً بزرگ‌تر از ژن دیگر است. سپس ارزش مکانی ژن اول انتخاب شده حذف و تمامی ارزش‌های بین دو عدد تصادفی یک خانه به عقب منتقل می‌شوند. در انتها، مقدار ژن اول با مقدار ژن دوم که توسط اعداد تصادفی انتخاب شده‌اند جابجا می‌گردند.

روش ۳: یک ژن از ژن‌های بخش زمان شروع فعالیت‌ها را به تصادفانتخاب نموده و سپس مقدار ژن انتخاب شده را از عدد ۱ کم می‌کنیم و تفاضل آن را در ژن انتخاب شده جایگزین می‌کنیم.

روش ۴: دو ژن از ژن‌های بخش زمان شروع فعالیت‌ها را به تصادفانتخاب نموده و اگر ژن اول جزو فعالیت‌های پیش‌نیازی ژن دوم بود. بیشترین مقدار این دو ژن را برابر ژن دوم و مقدار اختلاف دو ژن را برابر با ژن اول قرار می‌دهیم.

روش ۵: دو ژن از ژن‌های بخش زمان شروع فعالیت‌ها را به تصادفانتخاب نموده و اگر ژن اول جزو فعالیت‌های پیش‌نیازی ژن دوم نبود. میانگین مقدار این دو ژن را برابر ژن دوم و یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ را برابر ژن اول قرار می‌دهیم.

لازم به ذکر است که احتمال انتخاب هر یک از روش‌های بالا با هم برابر نیست و احتمال رخداد روش‌های ۱، ۲ و ۳ نسبت به دیگر روش‌ها بیشتر است.

جهش قسمت دوم

در هر تکرار، برای اعمال جهش بر ژن‌های قسمت دوم کروموزوم انتخابی، از یکی از روش‌های زیر استفاده می‌شود.

روش۱: جابجایی تصادفی دودویی

ابتدا از هر منبع مصرفی دو ژن را به تصادف انتخاب نموده و با این فرض که یکی از این دو ژن انتخابی اکیداً بزرگ‌تر از ژن دیگر است. در هر منبع مصرفی دو ژن تصادفی تولید شده نشان دهنده مجاز به سفارش دادن یا ندادن مواد مصرفی هستند که باید با یکدیگر به صورت جفتی جابجا شوند. سپس ارزش بین این دو عضو را جابجا می‌کنیم.

روش ۲: حذف کردن و انتقال دادن

ابتدا از هر منبع مصرفی دو ژن را به تصادف انتخاب نموده و با این فرض که یکی از این دو ژن انتخابی اکیداً بزرگ‌تر از ژن دیگر است. سپس ارزش مکانی که ژن اول انتخاب شده است حذف و تمامی ارزش‌های بین دو عدد تصادفی یک خانه به عقب منتقل می‌شوند. در انتها، مقدار ژن اول با مقدار ژن دوم که توسط اعداد تصادفی انتخاب شده‌اند جابجا می‌گردند.

روش ۳: از هر منبع مصرفی یک ژن را به تصادف انتخاب نموده و اگر دارای مقدار ۱ بود، مقدار ۰ را در ژن انتخابی قرار می‌دهیم و اگر دارای مقدار ۰ بود، مقدار ۱ را در ژن انتخابی قرار می‌دهیم

لازم به ذکر است که احتمال انتخاب هر یک از روش‌های بالا با هم برابر نیست و نحوه انتخاب آن‌ها نیز توسط روش چرخه رولت

انجاممی‌گیرد.

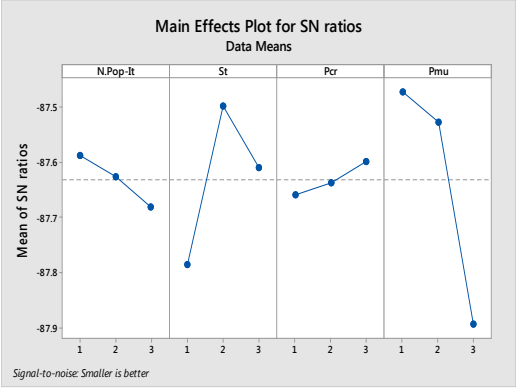
۴. تنظیم پارامترهای الگوریتم ژنتیک خود تطبیقی

در ادبیات موضوع، کارایی الگوریتم‌های حل مبتنی بر جستجوی تصادفی به طور قابل ملاحظه‌ای تحت تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد. یکی از این عوامل، مقادیر پارامترهای این الگوریتم‌هاست. از این رو، تلاش می‌کنیم تا مناسب‌ترین مقادیر از پارامترهای الگوریتم پیشنهادی را در راستای دستیابی به جواب‌های مطلوب به دست آوریم. برای این کار از رویکرد تاگوچی[۱۴] استفاده می‌کنیم. روش تاگوچی از طرح‌های آرایه‌ای متعامد برای طرح پارامترها استفاده می‌کند. از بارزترین خصوصیات آرایه‌های متعامد این است که می‌توان با تعداد آزمایش کمتر نتایج مورد نیاز را به دست می‌آورد. از طرف دیگر هم نیازی نیست که از لحاظ آماری همه ترکیبات سطوح عوامل را مورد آزمایش قرار دهیم. به همین جهت از طرح‌های آرایه‌های متعامد کمک می‌گیریم.

برای انتخاب آرایه‌های متعامد مناسب می‌بایست تعداد درجات آزادی مورد نیاز محاسبه شوند. برای مسائل مختلف یک درجه آزادی برای میانگین کل، یک درجه آزادی برای هر عامل دو سطحی، دو درجه آزادی برای هر عامل سه سطحی و غیره را در نظر می‌گیرد. سپس مجموع درجات آزادی مورد نیاز را محاسبه کرده و آرایه‌ای که حداقل به تعداد مجموع درجات آزادی، دارای سطر می‌باشد را برای آزمایش مورد نظر انتخاب می‌کند. در جدول(۲) پارامترها همراه با سطوح آن‌ها برایتعیین مقدار بهینه با رویکرد تاگوچی آورده شده است.

در این مسئله یک درجه آزادی برای میانگین کل و دو درجه آزادی برای هر یک از عوامل سه سطحی مورد نیاز است. بنابراین مجموع درجات آزادی مورد نیاز برابر است با ۹ درجه آزادی. با مراجعه به آرایه‌های متعامد استاندارد مشخص می‌شود که آرایه متعامد($L_9(3^4)$) با این شرایط برقرار است.

برای جمع‌آوری داده‌های مربوط به آرایه متعامد پیشنهاد شده، ۳ مسئله ۲۰ فعالیته برای هر آزمایش طراحی می‌کنیم و برای هر ترکیب از سطوح عوامل، الگوریتم ۵ بار برای هر مسئله اجرا می‌شود. در نهایت برای هر ترکیب از سطوح عوامل، ۱۵ داده جمع‌آوری می‌شود. از داده‌های جمع‌آوری شده ترکیب بهینه را به دست می‌آوریم. برای مشاهده میزان تأثیر سطوح عوامل مختلف بر روی نسبت (S/N) از نمودار اثرات عوامل استفاده می‌شود که نتایج آن در شکل زیر آمده است.



شکل ۲. نمودار اثرات عوامل مختلف بر روی نسبت (S/ N) برای مشخصه کیفی (S/ N)

در جدول زیر، سطح بهینه هر کدام از پارامترها نشان داده شده است. این سطوح بهینه، از روی نمودار اثرات عوامل بر روی نسبت (S/N) به دست آمده است. بدین ترتیب که برای عوامل کنترل، سطحی که نسبت (S/N) برای آن بیشترین مقدار را داراست به عنوان سطح بهینه آن عامل انتخاب می‌شود.

جدول ۲. عوامل و سطوح مربوط به آن‌ها

	عوامل	سطوح		
		۱	۲	۳
N.Pop- It	اندازه جمعیت و تعداد نسل‌های الگوریتم پیشنهادی	۴۰-۷۵	۳۰-۱۰۰	۲۰-۱۵۰
St	تعداد نسل‌هایی که هیچ بهبودی در تابع هدف حاصل نشده	۳۰	۴۰	۵۰
P_{cr}	احتمال انتخاب کروموزوم‌ها جهت عمل تقاطع	۰/۵	۰/۶۵	۰/۸
P_{mu}	احتمال انتخاب کروموزوم‌ها جهت عمل جهش	۰/۲	۰/۳۵	۰/۵

جدول ۳. سطوح بهینه پارامترهای الگوریتم ژنتیک تطبیقی

سطوح	N.Pop – It	St	P_{cr}	P_{mu}
۱	✓			✓
۲		✓		
۳			✓	
مقدار بهینه	۴۰ -۷۵	۴۰	۰/۸	۰/۲

بدین ترتیب برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک خود تطبیقی، سطوح بهینه به دست می‌آید. با قرار دادن این سطوح در پارامترهای الگوریتم، الگوریتم پیشنهادی با عملکرد بالاتری به جست‌وجوی جواب بهینه می‌پردازد.

۵. نتایج محاسباتی

در این قسمت به طراحی مسائل نمونه به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی پرداخته می‌شود که برای این کار از نرم‌افزار ساخت شبکه رنجن ۱ که توسط دمئولمیستر [۱۴] ارائه گردیده، استفاده شده است. با استفاده از این نرم‌افزار تعداد ۱۰۰ مسئله نمونه ساخته شد که بر اساس تعداد فعالیت‌ها و تعداد منابع تجدید پذیر و منابع تجدید ناپذیر (مصرفی) قابل تقسیم به ۲۰ دسته است به طوری که برای تعداد فعالیت‌ها ۵ حالت، تعداد منابع تجدید پذیر ۲ حالت و تعداد منابع تجدید ناپذیر نیز ۲ حالت در نظر گرفته شده است. حالات در نظر گرفته شده برای تعداد فعالیت‌ها عبارت است از: زیر ۱۰ فعالیت، ۱۰ فعالیت، ۲۰ فعالیت، ۲۵ فعالیت و ۳۰ فعالیت غیرمجازی؛ و تعداد حالات در نظر گرفته شده برای منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر عبارت است از ۱ منبع و ۲ منبع می‌باشند. بدین ترتیب برای هر ترکیب تعداد فعالیت‌ها و تعداد منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر، ۵ مسئله نمونه ساخته شده است. به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، نخست مسائل نمونه معرفی شده در بخش قبل با استفاده از نرم‌افزار گمز مدل‌سازی و حل گردید و جواب آن شناسایی شد.

برای کد نویسی مدل مسئله در نرم‌افزار گمز از نسخه GAMS 23.6 استفاده شده و نیز الگوریتم پیشنهادی توسط نرم‌افزار برنامه‌نویسی MATLAB 2013a کد گزاری شده است. حل مسائل با نرم‌افزار گمز و الگوریتم پیشنهادی با استفاده از کامپیوتری با پردازنده i7 2.10 GHz و ۸ گیگابایت رم انجام شده است.

ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک پیشنهادی بر اساس درصد انحراف از جواب بهینه نرم‌افزار گمز و همچنین از مقایسه مدت زمان حل توسط نرم‌افزارهای متلب و گمز انجام شده است. در ابتدا می‌بایست برای هر سایز مسئله به تفکیک هر یک از منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر، بهترین جواب به دست آمده از اجرای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی و گمز را مشخص کنیم. سپس با استفاده از شاخص‌های زیر به تحلیل عملکرد الگوریتم پیشنهادی برای مسائل تولید شده بپردازیم.

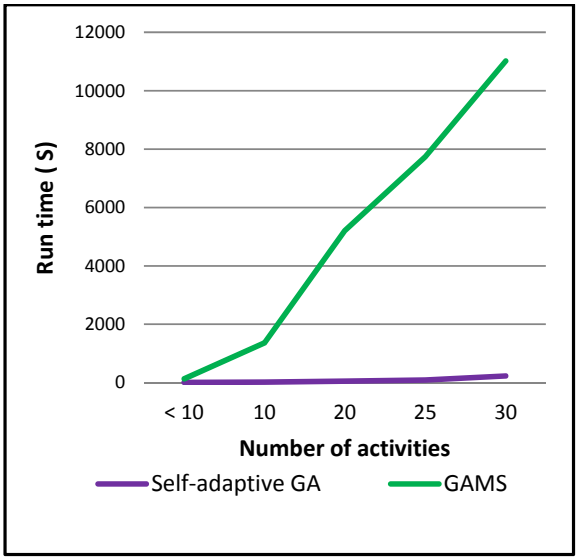
: تعداد مسائلی که جواب الگوریتم ژنتیک دارای انحراف زیر ۳ درصد از جواب بهینه جهانی را نشان می‌دهد.

A : انحرافات نسبی از بهترین حل به دست آمده از نرم‌افزار گمز را نشان می‌دهد. (درصد)

B : میانگین و حداکثر زمان‌های حل توسط نرم‌افزار گمز و متلب را نشان می‌دهد. (زمان‌ها برحسب ثانیه می‌باشند)

C : متوسط احتمالات انتخاب رویکردهای سری و موازی(درصد)

نتایج مربوط به مسائل نمونه در جدول (۴) ارائه شده است. ستون اول بیانگر تعداد فعالیت‌های غیرمجازی می‌باشد. ستون دوم تعداد مسائل تولید شده در هر حالت را نشان می‌دهد. فعالیت‌های پروژه جهت اجرا نیازمند دو منبع تجدید پذیر و منبع تجدید ناپذیر می‌باشند. ستون سوم جدول تعداد منابع تجدید پذیر مورد نیاز برای اجرای هر فعالیت را نشان می‌دهد. تعداد منابع تجدید ناپذیر مورد نیاز برای اجرای هر فعالیت در ستون چهارم جدول نمایش داده شده است. با توجه به جدول (۴) مشاهده می‌شود که در ۸۷ بار الگوریتم به جوابی کم‌تر از ۳ درصد انحراف از جواب گمز دست یافته است؛ به عبارت دیگر در ۸۷ ٪ از مشاهدات الگوریتم جوابی کم‌تر از ۳ درصد انحراف دارند. همچنین شایان ذکر است که در بین همه مشاهدات انجام شده، بیشترین انحراف مشاهده شده از جواب نرم‌افزار گمز کمتر از ۵ درصد می‌باشد. همان‌طور که در جدول (۴) نیز مشاهده می‌شود با افزایش سایز مسئله زمان لازم برای پیدا کردن جواب بهینه در نرم‌افزار گمز به صورت نمایی افزایش پیدا کرده است. شکل (۳) در زیر به خوبی تأثیرتعداد فعالیت‌ها برزمان محاسباتی گمز نشان می‌دهد و این در حالی است که این اثر بر روی زمان محاسباتی متلب الگوریتم پیشنهادی بسیار کمتر است.



شکل ۳. تأثیر تعداد فعالیت‌ها بر زمان محاسباتی گمز و متلب

جدول ۴. نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی و گمز بر روی مسائل تولید شده بر اساس تعداد فعالیت‌ها

ACT	n	R	N-R	#	A [%]		B				C [%]	
					Self-adaptive GA				GAMS			
					Average	Max	Average	Max	Average	Max	PSGS	SSGS
<۱۰	۵	۱	۱	۵	۰/۱۲	۰/۳۱	۶/۰۴	۹/۷۰	۷/۳۴	۱۶/۰۸	۵۱/۱	۴۸/۹
	۵	۱	۲	۵	۰/۱۶	۰/۳۸	۹/۷۰	۱۰/۸۰	۱۴۰/۰۷	۳۰۵/۰۲	۴۷/۲	۵۲/۸
	۵	۲	۱	۵	۰/۰۸	۰/۲۴	۷/۹۱	۹/۲۲	۴۹/۶۰	۱۱۲/۲۱	۵۱/۹	۴۸/۱
	۵	۲	۲	۵	۰/۰۹	۰/۴۴	۱۰/۶۰	۱۲/۶۸	۳۲۱/۷۴	۵۵۰/۲۲	۴۳/۸	۵۶/۲
Total	۲۰	-	-	۲۰	۰/۱۱	۰/۴۴	۸/۵۶	۱۲/۶۸	۱۲۹/۷	۵۵۰/۲۲	۴۸/۵	۵۱/۵
۱۰	۵	۱	۱	۵	۰/۶۵	۱/۳۸	۱۰/۴۵	۱۴/۲۱	۸۰۱/۴۸	۱۳۷۵/۲۶	۴۸/۸	۵۱/۲
	۵	۱	۲	۵	۰/۸۹	۲/۰۸	۱۷/۴۱	۲۱/۵۶	۱۲۸۲/۰۴	۲۵۴۸/۱۱	۵۴/۵	۴۵/۵
	۵	۲	۱	۵	۰/۴۹	۱/۳۲	۱۱/۲۲	۱۵/۶۷	۱۰۳۶/۷۵	۱۸۵۷/۲۹	۵۳/۷	۴۶/۳
	۵	۲	۲	۴	۱/۸۲	۳/۲۹	۱۸/۱۳	۲۳/۴۵	۲۳۳۷/۸۱	۳۰۷۸/۳۳	۵۲/۲	۴۷/۸
Total	۲۰	-	-	۱۹	۰/۹۶	۳/۲۹	۱۴/۳۰	۲۳/۴۵	۱۳۶۴/۵۲	۳۰۷۸/۳۳	۵۲/۳	۴۷/۷
۲۰	۵	۱	۱	۵	۰/۸۸	۲/۰۸	۳۷/۳۱	۴۹/۶۲	۴۰۴۵/۸۱	۵۱۱۷/۹۴	۴۳/۴	۵۶/۶
	۵	۱	۲	۳	۲/۱۱	۴/۱۶	۵۱/۲۱	۶۵/۲۰	۵۲۲۳/۴۴	۶۰۵۷/۲۷	۴۹/۸	۵۰/۲
	۵	۲	۱	۵	۱/۱۹	۲/۳۱	۴۱/۸۴	۵۲/۴۱	۴۹۰۹/۵۶	۶۱۲۰/۵۱	۴۷/۲	۵۲/۸
	۵	۲	۲	۴	۱/۴۹	۳/۱۷	۵۰/۶۷	۶۰/۵	۶۶۵۱/۳	۷۸۱۵/۸	۵۴/۶	۴۵/۴
Total	۲۰	-	-	۱۷	۱/۴۲	۴/۱۶	۴۵/۲۶	۶۵/۲۰	۵۲۰۷/۵۳	۷۸۱۵/۸	۴۸/۷۵	۵۱/۲۵
۲۵	۵	۱	۱	۴	۲/۰۵	۳/۴۲	۷۹/۴۵	۹۵/۸۶	۶۸۳۱/۵۲	۸۷۲۳/۱۱	۵۱/۹	۴۸/۱
	۵	۱	۲	۵	۱/۷۴	۲/۹۲	۹۰/۱۴	۱۱۴/۱۲	۷۹۵۲/۱۶	۹۹۲۱/۲۵	۵۳/۴	۴۶/۶
	۵	۲	۱	۴	۱/۸۷	۳/۰۶	۸۴/۰۱	۱۰۲/۱۹	۷۱۲۴/۶۹	۹۴۶۸/۷۴	۴۵/۵	۵۴/۵
	۵	۲	۲	۳	۲/۵۲	۳/۸۷	۹۷/۵۹	۱۲۷/۶۶	۹۰۳۱/۵۶	۱۱۵۱۴/۱۳	۵۵/۲	۴۴/۸
Total	۲۰	-	-	۱۶	۲/۰۴	۳/۸۷	۸۷/۸	۱۲۷/۶۶	۷۷۳۴/۹۸	۱۱۵۱۴/۱۳	۵۱/۵	۴۸/۵
۳۰	۵	۱	۱	۵	۱/۸۵	۲/۸۷	۱۸۴/۰۵	۲۵۸/۹۸	۸۸۵۷/۸۸	۱۱۳۵۶/۱۰	۴۵/۲	۵۴/۸
	۵	۱	۲	۳	۲/۵۶	۴/۱۴	۲۵۲/۲۳	۳۲۰/۳۱	۱۱۳۲۷/۰۱	۱۳۹۲۱/۲۴	۵۱/۶	۴۸/۴
	۵	۲	۱	۴	۲/۳۲	۳/۵۵	۱۹۵/۲۶	۲۸۹/۰۵	۹۲۸۱/۳۷	۱۱۶۸۲/۳۳	۴۵/۸	۵۴/۲
	۵	۲	۲	۳	۳/۳۷	۴/۸۷	۲۷۱/۳۷	۳۳۴/۴۶	۱۴۵۹۴/۹۱	۱۷۸۴۵/۶۲	۵۳/۶	۴۶/۴
Total	۲۰	-	-	۱۵	۲/۵۳	۴/۸۷	۲۲۵/۷۳	۳۳۴/۴۶	۱۱۰۱۵/۲۹	۱۷۸۴۵/۶۲	۴۹/۰۵	۵۰/۹۵

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آتی

در این تحقیق تلاش شد تا مسائل زمان‌بندی پروژه با محدودیت‌های منابع توسعه داده شود و به دنیای واقعی نزدیکتر گردد؛ به همین خاطر مسائل زمان‌بندی فعالیت‌های پروژه و سفارش‌دهی منابع مصرفی به صورت هم‌زمان و یکپارچه و در دو حالت تولید و خرید در نظر گرفته شد. این مسئله در جهت کاهش هزینه‌های پروژه، به بررسی سیاست‌های سفارش‌دهی، برنامه زمانی و میزان سفارش و مدیریت موجودی در تمام دوره‌های زمانی افق برنامه‌ریزی پرداخته است. در این نوع زمان‌بندی به دلیل کنترل سطوح منابع مصرفی که در بیشتر دوره‌های زمانی متغیر و گاهی نیز در بعضی دوره‌ها ثابت می‌باشد، برنامه‌ریزی منابع مصرفی و زمان‌بندی پروژه هم‌زمان انجام شده و کل هزینه‌های پروژه تحت کنترل قرار می‌گیرد.

با توجه به NP-hard بودن مسئله، دستیابی به جوابی مناسب در زمان معقول برای مسائل با ابعاد بزرگ امکان‌پذیر نمی‌باشد. بنابراین به منظور حل این مشکل، یک الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک خود تطبیقی پیشنهاد گردید که در آن ساخت برنامه زمان‌بندی فعالیت‌ها به منظور جست‌وجوی بهتر و کامل‌تر فضای جواب، به صورت خود تطبیقی از یکی از دو برنامه زمان‌بندی سری و یا موازی استفاده می‌کند. همچنین مقدار پارامترهای الگوریتم پیشنهادی با طراحی آزمایش‌ها و رویکرد تاگوچی تعیین شد. در ادامه نتایج محاسباتی برای مجموعه‌ای از مسائل نمونه تولید شده توسط نرم‌افزار رنجن ۱، ارائه و عملکرد مدل ارزیابی و آنالیز گردید.

برای مطالعه آتی مربوط به این تحقیق، می‌توان ارزش زمانی پول را در تابع هدف مدل در نظر گرفته شود. تأثیر پارامتر زمان موعد پروژه، فقط به صورت این است که مسئله را موجه یا غیرموجه کند و تأثیری در جواب بهینه ندارد. به منظور در نظر گرفتن تأثیر زمان موعد پروژه و نزدیک‌تر شدن مدل مسئله به دنیای واقعی، می‌توان ارزش زمانی پول و نرخ بهره را در نظر گرفته و آن را به مدل‌سازی مسئله اضافه کنیم.

مراجع

[۱] مهدی‌زاده ا.، معلمیان ع.، حاجی‌پور و. (۱۳۹۳). مساله زمان‌بندی پروژه با منابع محدود با هدف حداکثر نمودن ارزش خالص فعلی، مجله بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید انشگاه علم و صنعت ایران، ۲۵(۴)، ص. ۳۸۹-۴۰۱.

[۲] نورنگ ا.، دانش پایه ح.، حسن پور ح.، (۱۳۹۴). رویکرد عدم قطعیت مدت فعالیت ها در زمانبندی پروژه، مجله بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید انشگاه علم و صنعت ایران، ۲۶(۳)، ص. ۲۸۱-۲۶۷.

[۳] سیفی م.، توکلی مقدم ر.، جولای ف.، (۱۳۸۷) بکارگیری الگوریتم‌های ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید برای حل مساله زمابندی پروژه با محدودیت منابع در حالت چند مد و با جریان‌های نقدی تنزیل یافته، مجله بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید انشگاه علم و صنعت ایران، ۱۹(۴)، ص. ۸۵-۹۱.

[4] Aquilano, N. & Smith, D. (1980). A formal set of algorithms for project scheduling with critical path scheduling/material requirements planning. Journal of Operations Management, 1 (2), pp. 57-67.

[5] Smith-Daniels, D. & Aquilano, N., (1984). Constrained resource project scheduling subject to material constraints. Journal of Operations Management, 4(4), pp. 369-388.

[6] Steinberg, E., Lee, W. & Khumawala, B. (1980). A requirements planning system for the space shuttle operations schedule. Journal of Operations Management, 1(2), pp. 69-76.

[7] Smith-Daniels, D. & Smith-Daniels, V. (1987a). Optimal project scheduling with materials ordering. IIE transactions, 19 (4), pp. 122-129.

[8] Smith-Daniels, D. & Smith-Daniels, V. (1987b). Maximizing the Net Present Value of a Project Subject to Material and Capital Constraint. Journal of Operation Management, 7(1-2), pp. 33-44.

[9] Wagner, H.M., & Whitin,T.M. (1958). Dynamic version of the economic lot size model. Management Science, 5(1), pp. 89-96.

[10] Erabsi, A. & Sepil, C. (1999). A modi_ed heuristic procedure for material management in project networks. International Journal of Industrial Engineering- Theory , 6(2), pp. 132-140.

[11] Dodin, B. & Elimam, A. (2001). Integrated project scheduling and material planning with variable activity duration and rewards. IIE Transactions, 33(11), pp. 1005-1018.

[12] Sajadieh, M., Shadrokh, S. & Hassanzadeh, F. (2009). Concurrent project scheduling and material planning: A genetic algorithm

approach. ScientiaIranica. 16(1), pp. 93-107.

[۱۳]نجفی فراشاه ، م .، ۱۳۹۲. زمانبندی پروژه با در نظر گرفتن منابع تجدید ناپذیر فاسد شدنی :پایان نامه کارشناسی ارشد؛ دانشگاه صنعتی شریف.

[14] Zoraghi, N., Najafi, A.A. & Niaki, S.T.A., (2012). An Integrated Model of Project Scheduling and Material Ordering: A Hybrid Simulated Annealing and Genetic Algorithm. Journal of Optimization in Industrial Engineering, 5(10), pp.19–27.

[15] Hartmann, S. (1998). A competitive genetic algorithm for resource□constrained project scheduling. Naval Research Logistics (NRL), 45(7), pp. 733-750.

[16] Kolisch, R.(1996). Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation. European Journal of Operational Research, 90(2), pp. 320-333.

[17] Demeulemeester, E., Vanhoucke, M. & Herroelen, W., (2003). RanGen: A random network generator for activity-on-the-node networks. Journal of Scheduling, 6(1), pp. 17-38.