

روشی جدید برای حل مسئله موازنه زمان، هزینه و کیفیت پروژه با محدودیت منابع

آرش پژوهنده

دانشجوی کارشناسی مهندسی صنایع دانشگاه میبد

Arash.pzh@gmail.com

ایران

کلید واژه: مدیریت پروژه، مدیریت کیفیت پروژه، بهینه سازی زمانبندی پروژه، الگوریتم ژنتیک

چکیده

یکی از مسائل مشهور در زمینه کنترل پروژه، زمانبندی پروژه با محدودیت منابع و سایر محدودیتها می باشد که زمانبندی پروژه با در نظر گرفتن محدودیت منابع، کمینه هزینه و بیشینه کیفیت از جمله تحقیقات غنی است. مساله زمانبندی پروژه با منابع محدود در واقع کلی ترین مساله زمانبندی است. زمانبندی پروژه یکی از وظایف اصلی و فعالیت های اصلی در مدیریت پروژه است. در مسائل زمانبندی پروژه و در فاز زمانبندی، زمان بهینه محدود به منابع باشد یا نباشد کیفیت و هزینه چندان مورد توجه قرار نمیگیرد به عبارتی هزینه، کیفیت و زمان همزمان با هم در زمانبندی پروژه تاثیر ندارند لذا هدف از ارائه این مقاله ارائه روشی برای زمانبندی بهینه با در نظر گرفتن بهترین کیفیت، کمترین هزینه و کمترین زمان اجرای ممکن برای هر فعالیت پروژه می باشد. در این راستا پروژه ای بعنوان نمونه تشریح گردیده که در مرحله اول منابع محدود از جمله نیروی انسانی، تجهیزات و نوعی از مصالح مشخص گردید و سپس کیفیت منابع در سه سطح امتیاز بندی شد، هزینه هر سه سطح منابع مشخص شد و در نهایت مدل حل مشخص گردید و برای هر فعالیت بهترین حالت اجرا مشخص شد در نهایت با الگوریتم ژنتیک بهینه زمان، محدود به پیش نیازی مشخص شد.

مقدمه

مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع (RCPSP) یکی از مسائل بسیار معروف و مطرح در زمینه تحقیق در عملیات و مدیریت پروژه است. مسئله مطرح شده در این تحقیق از جمله مسائل زمانبندی پروژه با محدودیت منبع است که پایان فعالیت ها دارای سررسید مشخصی هستند و انحراف از سررسید پرداخت جریمه به همراه خواهد، علاوه بر جریمه تاخیر ها موجب افزایش هزینه کل پروژه خواهند شد. تاخیر یعنی استفاده از منابع برای روز های بیشتر و این یعنی هزینه اضافه تر. داشتن این دسته از مسائل به دو دلیل مورد توجه قرار گرفته اند: اول اینکه با توجه به شرایط متفاوت کاربردی و صنعتی از نظر تابع هدف، خصوصیات فعالیت ها، منابع و نوع روابط پیش نیازی بسیار متنوع اند و دوم اینکه با توجه به $Np\text{-hard}$ بودن این مسائل، محققین همواره به دنبال ارائه راه حل های کار آتری برای حل این دسته از مسائل بوده اند [1]. در این مقاله هزینه و کیفیت نیز در تابع هدف اضافه گردید تا دید جدیدی از زمانبندی پروژه با منابع محدود در علم مدیریت پروژه ایجاد کند و بطور واقع بینانه تری بتوان مسائل دنیای واقعی را حل نمود.

روش های ابتکاری برای حل این مسائل را می توان به 2 دسته تقسیم کرد: دسته اول روش هایی هستند که فعالیت ها را طبق یک قاعده اولویت دهی 1 مرتب می کنند و سپس در هر مقطع زمانی از بین فعالیت های باقیمانده با رعایت محدودیت های پیش نیازی و ظرفیت منابع، فعالیت ها را طبق فهرست مرتب شده برای تخصیص منابع در آن مقطع زمانی انتخاب می کنند. عیب اصلی این روش ها در این است که نمی توان یک قاعده کلی برای مرتب کردن فعالیت ها ارائه نمود و مطلوبیت جواب حاصل از قواعد اولویت دهی مختلف به شبکه فعالیت های پروژه بستگی دارد و بدین معنی که چنانچه قاعده ای که برای یک مسئله خاص جواب بهینه را به دست دهد لزوما همیشه موفق نخواهد بود. دسته دوم روش های فرا ابتکاری از یک یا چند جواب اولیه شروع می کند و بر اساس جواب های موجود در هر روش به بهبود آن جواب ها و نزدیک شدن به جواب بهینه اقدام می کند. همچنین با وجود مطالعات گسترده صورت گرفته در زمینه زمان بندی پروژه بر اساس نظر محققان خبره در این زمینه هنوز کمبود هایی بسیار زیادی وجود دارد که این کمبود ها از دو جنبه مطرح هستند [2]:

1) توسعه مدل هایی نزدیک تر به مسائل واقعی

2) بهبود روش های حل مساله زمان بندی

این پژوهش بر روی هر دو جنبه متمرکز خواهد شد.

برای زمان بندی پروژه ها بدون در نظر گرفتن محدودیت منابع از متدهایی همچون روش مسیر بحرانی 2 (برای زمان بندی پروژه هایی که زمان فعالیت ها در آن معین است) و تکنیک ارزیابی و بازبینی پروژه 3 (برای زمان بندی پروژه هایی که زمان فعالیت ها در آن قطعی نیست) استفاده می شود، خصوصا روش مسیر بحرانی دارای کارایی بسیار خوبی است. لیکن امروزه با توجه به اینکه در تمام سطوح پروژه با محدودیت منابع مواجه هستیم، مسئله ای به نام زمان بندی پروژه تحت شرایط محدودیت منابع مطرح شده است که به علت اینکه در دو روش فوق الذکر محدودیت منابع در نظر گرفته نمی شود نمی توان برای حل این مسئله از آنها استفاده کرد. لذا لزوم ایجاد و بکارگیری روش هایی که انواع محدودیت های منابع را در نظر بگیرند آشکار است [3].

در این پژوهش، مسئله زمانبندی پروژه با محدودیت منابع از طریق ایجاد مدلی با در نظر گرفتن اهداف مهمی از قبیل کمینه کردن زمان اتمام پروژه و کمینه کردن هزینه فعالیت ها و به تبع آن کمینه کردن هزینه کل پروژه و بیشینه کردن کیفیت انجام فعالیت ها و در نهایت پروژه که از مهمترین اهداف در دنیای واقعی است و همواره مدیران پروژه در جستجوی بهترین نقطه درخصوص زمان، هزینه و کیفیت

¹ Priority Rule

² Critical Path Method (CPM)

³ Program Evaluation and Review Technique (PERT)

میباشند، در نظر گرفته شده است. همچنین برای جامعتر کردن مدل تمامی روابط پیشنهادی ممکن بین فعالیتهای یک پروژه نیز مورد توجه قرار گرفته است و مسئله به نحوی گسترش یافته تا در دنیای واقعی قابل به کارگیری باشد.

1- مساله زمانبندی پروژه با منابع محدود

مساله زمانبندی پروژه با منابع محدود در واقع کلی‌ترین مساله زمانبندی است. مسائل زمانبندی کارگاهی⁴، جریان کارگاهی⁵، زمانبندی و سایر مسائل زمانبندی همگی زیر مجموعه ای از این مسئله به حساب می آیند. [1&5] زمانبندی پروژه یکی از وظایف اصلی و فعالیتهای اصلی در مدیریت پروژه است. وجود محدودیت منابع و همچنین روابط پیش نیازی بین فعالیتهای وجود احق انتخاب منابع مورد استفاده که بطور مستقیم بر کیفیت و هزینه موثرند مسئله زمانبندی پروژه را امری دشوار می‌سازد. در عمل نرم افزارهای خاصی برای فرآیند زمانبندی به کار برده می‌شود. اساس این نرم افزارها یک مدل رسمی است که اجازه می‌دهد که پروژه واقعی تنها با یک مجموعه از محدودیتهای زمانبندی و یک تابع هدف توصیف شود [6].

برای زمانبندی پروژه‌ها به طور کلی از دو حالت استفاده می‌شود:

1) در روش اول ابتدا برنامه زمانبندی فقط با در نظر گرفتن روابط پیش نیازی تعیین شده (با روش CPM/PERT) ایجاد شده، سپس با وارد کردن منابع، میزان مصرف منابع در دوره‌های زمانی و نحوه توزیع آنها در طول برنامه بدست می‌آید. با توجه به این اطلاعات اقدام به تامین منابع یا برون‌سپاری کارها با هدف تحقق برنامه صورت می‌گیرد. در صورت وجود محدودیت در سطوح منابع اقدام به تسطیح منابع می‌گردد. تسطیح منابع ممکن است منجر به طولانی شدن زمان پروژه گردد. در این روش زمانبندی بهینه نیست اما قابل قبول است ولی به علت سهولت محاسباتی این روش بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و نرم افزارهای تجاری، این روش را پوشش می‌دهند.

2) در روش دوم زمانبندی، در واقع تعیین برنامه با توجه همزمان به پیش نیازها و سطح منابع صورت می‌گیرد. در واقع محاسبات شبکه بر ارضاء محدودیتهای منابع اولویت ندارد بلکه به صورت همزمان در نظر گرفته می‌شوند. در این روش هدف در اغلب اوقات حداقل کردن زمان اتمام پروژه است. تک هدفه بودن از کاستی‌های مطالعات انجام گرفته درباره این مدل‌ها می‌باشد. مدل‌هایی که برای تهیه زمانبندی به روش دوم توسعه داده شده‌اند در ادبیات به RCPSPP مشهور هستند [7]. با آنکه مدل RCPSPP بیان شده در بالا یک مدل بسیار توانا است. اما نمی‌تواند تمامی موقعیتهای را در واقعیت و عمل پوشش دهد، بنابراین خیلی از محققین مدل‌های کلی بسیاری را برای مسئله زمانبندی پروژه توسعه داده‌اند که غالباً با یک RCPSPP استاندارد به عنوان نقطه شروع کار می‌کند. از دهه اول 1990 تعداد زیادی از مقالات در این زمینه به چاپ رسیده است. محققان بر روش‌ها و انواع مسائل RCPSPP توجه کرده‌اند. برای نمونه می‌توان به هارتمن و کولیش⁶ [4] و هارتمن و کولیش [5&6] اشاره کرد.

در مثالی که برای این مقاله در نظر گرفته شده پروژه ای با 9 فعالیت که برای هر فعالیت حالت‌های بسیاری برای انجام می‌باشد که هر حالت بیانگر استفاده از منابعی محدود با کیفیت‌های متفاوت می‌باشد. در هر پروژه منابع محدود مثل نیروی انسانی تجهیزات و حتی به دلایل اقتصادی مواد و مصالح کیفیت متفاوتی دارند برای مثال نیروی انسانی میتواند در سه سطح با مهارت کافی با مهارت بالا و استادکار سطح بندی شود همچنین تجهیزات بر اساس سرعت انجام و کیفیتی که پس از اتمام کار بر جای می‌گذارد به 3 سطح متفاوت تقسیم بندی شوند. مواد و مصالح نیز می‌تواند بر اساس کیفیتشان در کیفیت پروژه بر اساس آنچه کارفرما تعیین می‌کند موثر باشند. (در این پروژه مواد و مصالح به دلایل اقتصادی فراهم کردنشان بسیار مشکل و از این لحاظ محدود در نظر گرفته شده) در جدول زیر مشخصات پروژه قرار داده شده.

⁴ Job shop

⁵ Flow shop

⁶ Hartmann and coilsch

تجهیزات بر اساس سرعت انجام و کیفیتی که پس از اتمام کار بر جای می گذارد به 3 سطح متفاوت تقسیم بندی شوند. مواد و مصالح نیز می تواند بر اساس کیفیت پروژه بر اساس آنچه کارفرما تعیین می کند موثر باشند. (در این پروژه مواد و مصالح به دلایل اقتصادی فراهم کردنشان بسیار مشکل و از این لحاظ محدود در نظر گرفته شده) در جدول زیر مشخصات پروژه قرار داده شده.

منبع سطح	Machines (تجهیزات)	Worker (نیروی انسانی)	Material (مواد و مصالح)
1	1	2	3
2	1	2	3
3	1	2	3

جدول (1): امتیاز کیفیت منابع قابل استفاده در سه سطح نمایش داده شده

منبع سطح	Machines (تجهیزات)	Worker (نیروی انسانی)	Material (مواد و مصالح)
1	10000	12000	16000
2	15000	17000	20000
3	20000	22000	30000

جدول (2): هزینه منابع قابل استفاده

از هر منبع سه نوع وجود دارد که بخاطر کیفیت متفاوتی که ارائه می دهند هزینه متفاوتی دارند.

مدت زمان قابل انجام	پیش نیاز	فعالیت
34	-	1
18	1	2
40	1	3
67	2	4
19	2,3	5
56	5	6
16	4,6	7
20	5	8
7	7	9

جدول (3): اطلاعات فعالیت ها و روابط پیش نیازی و زمان انجام (طبق نظر کارشناسان)

در ادامه مساله طی انجام محاسبات بر اساس اطلاعات جدول 1 و 2 میزان کیفیت هر حالت و هزینه آن مشخص می گردد. فرمولی که برای تابع هدف چنین مساله ای در نظر گرفته شده از قاعده خاصی پیروی می کند که به شرح زیر است:

$$Z = (\text{Duration} * 0.145) + (\text{Quality} * 25) + (\text{Cost} * 0.000000025)$$

ضرائب تابع هدف بگونه ای تنظیم می گردند که هر سه متغیر تقریباً در تعادل باشند و فقط با ضرائب تعیین شده از سوی کارفرما درصد تغییراتشان متفاوت از هم باشد. مضرب ارقام اعشار بر اساس اهمیت هر کدام از زمان، هزینه و کیفیت طبق آنچه کارفرما مشخص میکند می باشد. در واقع در ابتدا تابع برازش الگوریتم (تابع هدف) با ایجاد ضرایب اعشار به تعادل در آمد و سپس با ضرایب مربوط به خواست کارفرما وزن دهی به متغیر ها شد. در پروژه جهت دخیل کردن میزانی از ریسک و مدیریت آن فرمولی ارائه شده که با استفاده از آن بر

اساس سطح کیفیت منابع و تعداد آن ها (در صورتی بیشتر از مقدار معین شده در فرمول باشد) از زمان پایان فعالیت کسر خواهد شد و در غیر اینصورت زمان میانگینی که در نظر گرفته شده بود با درصدی اضافه مورد استفاده قرار می گیرد. فرمول های مورد استفاده در پروژه بشرح زیر است:

All Formula in Project		
Duration (Act1)	=	$\text{IF}(\text{SUM}(\text{G3:L3}) \geq 32, 34 - (\text{G3} * 0.01 + \text{H3} * 0.04 + \text{I3} * 0.07 + \text{J3} * 0.04 + \text{K3} * 0.07 + \text{L3} * 0.09), 34 + (((12 - \text{SUM}(\text{G3:I3})) * 0.04 + (21 - \text{SUM}(\text{J3:L3})) * 0.05)))$
Fitness	=	$\text{C12} * 0.145 - \text{J27} * 25 + \text{M12} * 0.000000025$
Cost(Act 1)	=	$\text{C3} * ((\text{D3} * \text{Q15} + \text{E3} * \text{Q16} + \text{F3} * \text{Q17}) + (\text{G3} * \text{O15} + \text{H3} * \text{O16} + \text{I3} * \text{O17}) + (\text{J3} * \text{P15} + \text{K3} * \text{P16} + \text{L3} * \text{P17}))$
Quality in now(Act 1)	=	$\text{D3} * 1 + \text{E3} * 2 + \text{F3} * 3 + \text{G3} * 1 + \text{H3} * 2 + \text{I3} * 3 + \text{J3} * 1 + \text{K3} * 2 + \text{L3} * 3$
Best Quality	=	$\text{SUM}(\text{D3:L3}) * 3$
% Quality	=	$\text{H18} / \text{I18}$

جدول (4): فرمول های استفاده شده در مهم ترین سلول های اکسل

البته فرمول ها بصورت توابع اکسل و با آدرس سلول های اکسل می باشد و لذا محیط کل پروژه در اکسل نیز قبل از انجام بهینه سازی در تصویر زیر قابل مشاهده می باشد (جهت درک محل سلول ها و کد ها):

1-1 توضیحات فرمول ها

1-1-1 فرمول اول: که مربوط به محاسبه زمان مورد نیاز انجام فعالیت اول می باشد ، در صورتی که مجموع منابع نیروی انسانی و تجهیزات فعالیت به میزان 17 عدد یا بیشتر رسید ، از آنجا که وجود منابع اضافه تر در این پروژه موجب تسریع در خاتمه دادن به فعالیت می گردد (البته لازم به تذکر است که منابع محدود می باشد و البته هزینه نیز بعنوان یک محدودیت در استفاده از میزان معین منابع می باشد و همچنین همیشه تعداد بیشتر منبع موجب تسریع نخواهد شد وجود گلوگاه ها در پروسه کار موجب بیکاری بقیه منابع می گردد که در چنین شرایطی موجب تسریع در اتمام نخواهد شد) فرمولی ارائه گردیده تا با استفاده از آن بتوان زمان انجام فعالیت ها را کاهش یا افزایش داد.

1-1-2 فرمول دوم: مربوط به تابع برازندگی می باشد که قبلا شرح داده شده. نکته مهم اینکه چون دو تابع زمان و هزینه باید کمینه گردد ولی کیفیت بیشینه لذا تابع کیفیت در یک منفی ضرب شد.

1-1-3 فرمول سوم: مربوط به محاسبه هزینه فعالیت اول می باشد که هر منبع در هزینه مربوط به خود ضرب شده و سپس در مدت زمانی که استفاده می شود ضرب می گردد. در واقع میزانی از منبع که برای یک روز مورد استفاده هست محاسبه و سپس در زمان کل فعالیت ضرب میگردد.

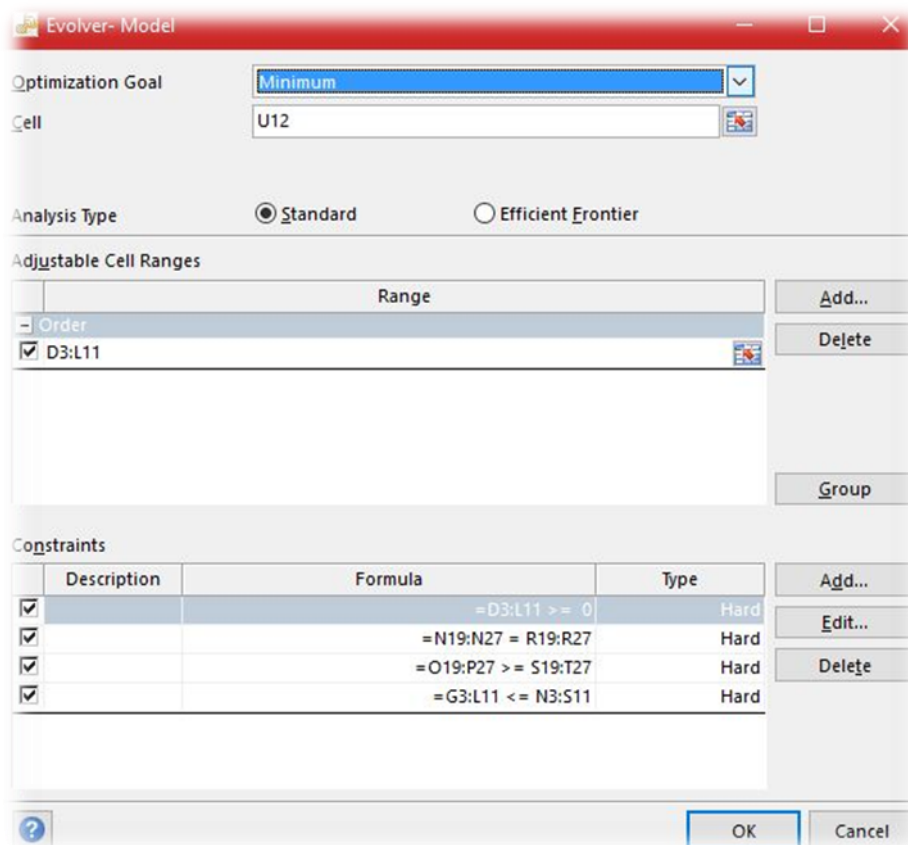
- 1-1-4 فرمول چهارم:** کیفیت انجام فعالیت مربوط به شرایط پروژه و استفاده از انواع منابع می باشد. طبیعی هست که هر چقدر منابع با کیفیت تر استفاده گردد فعالیت با کیفیت بهتری خاتمه می یابد که این مورد در پروژه لحاظ گردیده و به ازای منابع سطح یک ، امتیاز 1 به کیفیت کار منبع داده میشود و با ارتقای سطوح یک واحد نیز اضافه می گردد.
- امتیاز کیفیت منبع در میزان استفاده آن ضرب می گردد و مجموعشان ، میزان کیفیت انجام فعالیت را مشخص می نماید.
- 1-1-5 فرمول پنجم:** مربوط به کیفیت در بهترین حالت انجام فعالیت در شرایطی که با کیفیت ترین منابع مورد استفاده قرار می گیرند.
- 1-1-6 فرمول ششم:** درصد نسبی کیفیت فعالیت ها می باشد که کیفیت انجام فعالیت نسبت به بهترین کیفیت انجام می باشد و از مجموع کیفیت های نسبی هر فعالیت کیفیت پروژه بدست می آید که این نتیجه در تابع برآزش (تابع هدف) انتخاب و استفاده می گردد .

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
	Act	Pre	Duration	1	2	3	1	2	3	1	2	3	Cost	1	2	3	1	2	3			
2	1	0	32.03	0	69	1	5	6	5	7	6	7	63739700	6	6	5	7	6	7			
3	2	1	16.19	1	1	98	6	6	6	6	7	4	57069750	6	6	6	6	7	4			
4	3	1	38.34	1	182	37	5	7	6	5	5	4	202205160	7	7	6	5	5	4			
5	4	2	68.09	75	0	0	5	4	3	3	3	1	100705110	5	5	6	3	4	3			
6	5	2.3	17.22	0	0	100	7	9	6	5	4	5	59288460	9	9	6	5	4	5			
7	6	5	56.85	0	110	0	5	5	3	5	5	3	147582600	5	5	3	5	5	3			
8	7	4.6	16.35	0	0	100	4	4	4	7	5	4	56194950	4	4	4	7	5	4			
9	8	5	18.27	0	0	75	5	5	4	6	6	6	50443470	5	5	4	6	6	6			
10	9	7	6.63	0	0	120	3	3	3	5	4	4	26313360	3	3	3	5	4	4			
11	Total Dur =			271.76	77	362	531	41	50	43	46	46	40	763542860	=Total Cost			Z=C12*0.145-J27*25+M12*0.000000025=				38.8740304
12	تابع برازش													Z=C12*0.145-J27*25+M12*0.000000025=							38.8740304	
13	Type	Material	Worker	Material	کیفیت کار منابع (در پروژه استفاده)			253	Fact Quality	Sum Workers=	132	est Quality	396	Type	Machine	Worker	Cost	این جدول بیانگر هزینه هر کدام از				
14	1	1	1	1	از آن ها محدودیت دارد برای مثال			263	Fact Quality	Sum Machines=	134	est Quality	402	1	10000	12000	16000	منابع می باشد برای مثال هزینه				
15	2	2	2	2	در پروژه ما فقط 4 ماشین			2394	Fact Quality	Sum Material=	970	est Quality	2910	2	15000	17000	20000	ماشین شماره 1 (4000 واحد پولی				
16	3	3	3	3	1 (4000 واحد پولی)			Quality Quality In / Quality ZQuality			Sum of Sum of Sum of			3	20000	22000	30000	است				
17	e/Resource Machine Worker			0	درصد تأثیر			Act1	213	318	0.66981132	Formula			Material	machine	of	RHS				
18	1	0.01	0.04	1	در محاسبات			Act2	365	405	0.90123457	=SUM(D3:F3)			70	16	20	70	11	13		
19	2	0.04	0.07	2	duration			Act3	540	756	0.71428571	=SUM(D4:F4)			100	18	17	100	5	10		
20	3	0.07	0.09	3				Act4	109	282	0.38652482	=SUM(D5:F5)			220	18	14	220	9	5		
21								Act5	371	408	0.90931373	=SUM(D6:F6)			75	12	7	75	11	6		
22								Act6	268	408	0.65686275	...			100	22	14	100	15	7		
23								Act7	353	384	0.91927083	...			110	13	13	110	4	9		
24								Act8	288	321	0.89719626	...			100	12	16	100	5	11		
25								Act9	403	426	0.94600939	...			75	14	18	75	6	15		
26								Total Quality	2910	3708	0.78479	...			120	9	13	120	2	10		

شکل (1) نمای کلی برنامه جهت مکان یابی سلول ها

2-1 مراحل بهینه سازی اولیه

برای بهینه سازی مساله و پیدا کردن جواب بهینه استفاده از منابع بگونه ای که محدودیت ها رعایت شود، هزینه کمینه گردد و کیفیت بیشینه از افزونه evolver اکسل و به روش الگوریتم ژنتیک بهینه سازی صورت گرفت و به جواب بهینه رسیدیم .



شکل (2) تصویری از برنامه evolver جهت نمایش محدودیت های وارد شده به نرم افزار

ابتدا سلول مربوط به تابع هدف را انتخاب میکنیم. تابع را از نوع مینیمم سازی انتخاب می کنیم. با تغییر متغیر های سلول های مربوط به منابع تحت محدودیت هایی از جمله :

- (1) کلیه سلول های منابع باید اعدادی مثبت و در بازه اعداد صحیح قرار بگیرند.
- (2) طبق محدودیتی که در پروژه ذکر شده ، (جدول 5) مجموع نوع 1 و 2 و 3 مصالح می بایست دقیقاً برابر با میزان مورد نیاز باشد.
- (3) مجموع منابع دسته 1 و 2 و 3 تجهیزات و نیروی انسانی باید حداقل برابر میزان مذکور باشد. (جدول 5)
- (4) هیچ سطح از منابع نیروی انسانی و تجهیزات نباید از ماکسیمم مشخص شده تجاوز کند. (جدول 6).

مقدار مورد نیاز				مجموع نیروی انسانی	مجموع تجهیزات	مجموع مصالح	فرمول استفاده شده در سلول
70	11	13	≥ یا =	20	12	70	=SUM(D3:F3)
100	5	10		17	18	100	=SUM(D4:F4)
220	9	5		14	20	220	=SUM(D5:F5)
75	11	6		10	16	75	=SUM(D6:F6)
100	15	7		14	20	100	...
110	4	9		13	13	110	...
100	5	11		16	12	100	...
75	6	15		15	14	75	...
120	2	10		13	9	120	...

جدول(5): مشخصات سلول محدودیت های منابع

همانطور که ذکر شده محدودیت مربوط به مجموع مصالح می بایست دقیقاً برابر با ستون مقدار مورد نیاز سلول اول از چپ گردد.

فعالیت	تعداد بهینه ماشین آلات			تعداد بهینه کارگر			حداکثر نیاز به منبع تجهیزات برای فعالیت			حداکثر نیاز به منبع نیروی انسانی برای فعالیت		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	1	6	5	7	6	7	6	6	5	7	6	7
2	6	6	6	6	7	4	6	6	6	6	7	4
3	7	7	6	5	5	4	7	7	6	5	5	4
4	5	5	6	3	4	3	5	5	6	3	4	3
5	5	9	6	5	4	5	9	9	6	5	4	5
6	5	5	3	5	5	3	5	5	3	5	5	3
7	4	4	4	7	5	4	4	4	4	7	5	4
8	5	5	4	3	6	6	5	5	4	6	6	6
9	3	3	3	5	4	4	3	3	3	5	4	4

جدول(6): محدودیت هر کدام از سطوح منابع تجهیزات و نیروی انسانی

پس از انجام بهینه سازی اطلاعات زیر برای مساله بدست می آید:

اطلاعات کلی				مصالح			تجهیزات			نیروی انسانی			هزینه
فعالیت	پیش نیاز	مدت زمان قابل انجام	مدت زمان بهینه شده	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1		34	32.03	0	69	1	5	6	5	7	6	7	63739700

2	1	18	16.19	1	1	98	6	6	6	6	7	4	57069750
3	1	40	38.34	1	182	37	5	7	6	5	5	4	202205160
4	2	67	68.09	75	0	0	5	4	3	3	3	1	100705110
5	2,3	19	17.22	0	0	100	7	9	6	5	4	5	59288460
6	5	56	56.85	0	110	0	5	5	3	5	5	3	147582600
7	4,6	16	16.35	0	0	100	4	4	4	7	5	4	56194950
8	5	20	18.27	0	0	75	5	5	4	6	6	6	50443470
9	7	7	6.66	0	0	120	3	3	3	5	4	4	26313660
مجموع مدت زمان بدون در نظر گرفتن = پیش نیازی			271.76	77	362	531	4 1	50	43	4 6	46	40	763542860

جدول(7): اطلاعات بدست آمده پس از بهینه سازی اولیه

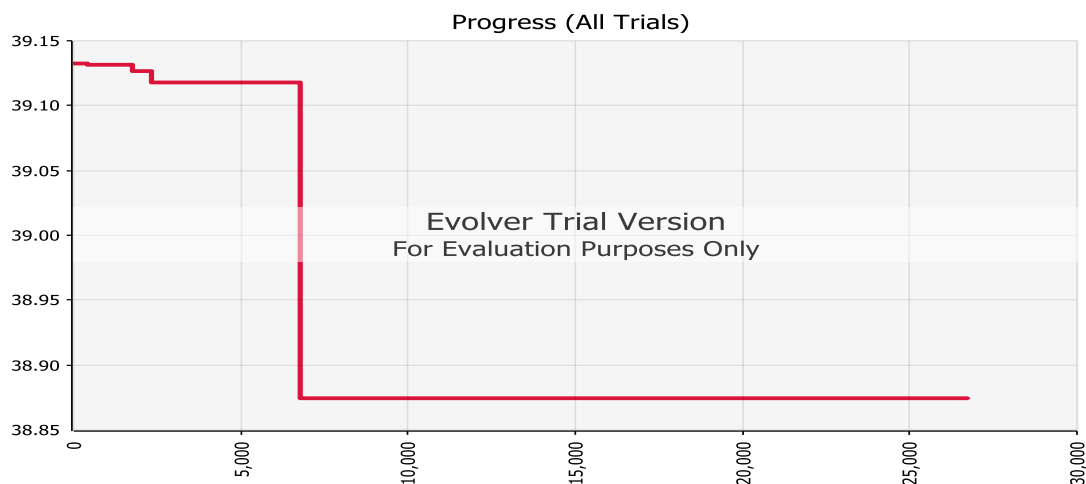
همانطور که در تصویر قابل مشاهده می باشد تعداد بهینه استفاده از منابع به گونه ای می باشد که زمان، هزینه و کیفیت در کنار هم به بهترین نحو مطابق خواسته ی کارفرما برنامه ریزی شده باشد.

کیفیتی که با اجرای پروژه با اطلاعات پس از بهینه سازی بدست می آید بصورت جدول زیر می باشد.

فعالیت ها	کیفیت استفاده از منابع مورد استفاده	کیفیت با استفاده از بهترین منابع	درصد کیفیت هر فعالیت
فعالیت 1	213	318	0.669811321
فعالیت 2	365	405	0.901234568
فعالیت 3	540	756	0.714285714
فعالیت 4	109	282	0.386524823
فعالیت 5	371	408	0.909313725
فعالیت 6	268	408	0.656862745
فعالیت 7	353	384	0.919270833
فعالیت 8	288	321	0.897196262
فعالیت 9	403	426	0.94600939
کیفیت کل پروژه	2910	3708	0.784789644

جدول(8): کیفیت بدست آمده پس از بهینه

سازی



شکل (3): نمودار تغییر نقطه بهینه

Optimization Settings	
Maximum Change	0.00%
Number of Trials	20000
Random # Generator Seed	346504228 (Chosen Randomly)
Optimization Engine	Genetic Algorithm
Population Size	100
Mutation Rate	0.05
Crossover Rate	0.5
Total Trials	28766
Best Value Found	38.8740304
Total Time	0:01:31

جدول (9): اطلاعات پارامترهای تنظیم شده الگوریتم ژنتیک مرحله اول و توسط برنامه evolver

3-1 تحلیل چه می شود اگر

پس از بدست آمدن جواب بهینه، بهینه زمان به تنهایی، بهینه هزینه و بهینه کیفیت هر کدام جداگانه بدست آمد که نتایج قابل توجهی حاصل شد:

	Project information1			MATEERIAL			MACHINE			WORKER			Cost	Quality In No	Best Quality	%Quality	count of Z
	Act	Pre	Duration	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
تابع هدف اولیه	1	0	32.03	0	69	1	5	6	5	7	6	7	63739700	213	318	0.669811	38.87403
	2	1	16.19	1	1	98	6	6	6	6	7	4	57069750	365	405	0.901235	
	3	1	38.34	1	182	37	5	7	6	5	5	4	202205160	540	756	0.714286	
	4	2	68.09	75	0	0	5	4	3	3	3	1	100705110	109	282	0.386525	
	5	2,3	17.22	0	0	100	7	9	6	5	4	5	59288460	371	408	0.909314	
	6	5	56.85	0	110	0	5	5	3	5	5	3	147582600	268	408	0.656863	
	7	4,6	16.35	0	0	100	4	4	4	7	5	4	56194950	353	384	0.919271	
	8	5	18.27	0	0	75	5	5	4	6	6	6	50443470	288	321	0.897196	
	9	7	6.66	0	0	120	3	3	3	5	4	4	26313660	403	426	0.946009	
	Total Dur =		271.76	77	362	531	41	50	43	46	46	40	763542860	2910	3708	0.78479	
بهینه هزینه	Project information1			MATEERIAL			MACHINE			WORKER			Cost	Quality In No	Best Quality	%Quality	count of Z
	Act	Pre	Duration	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
	1	0	32.2	69	1	0	6	6	5	7	6	5	53774000	138	315	0.438095	43.84548
	2	1	16.19	98	1	1	6	6	6	6	7	4	35083730	171	405	0.422222	
	3	1	38.39	182	37	1	7	7	5	5	5	4	160854100	322	759	0.424242	
	4	2	68.09	75	0	0	5	4	3	3	3	1	100705110	109	282	0.386525	
	5	2,3	17.28	100	0	0	9	7	6	5	4	5	35130240	169	408	0.414216	
	6	5	56.85	110	0	0	5	5	3	5	5	3	122568600	158	408	0.387255	
	7	4,6	16.35	100	0	0	4	4	4	7	5	4	33304950	153	384	0.398438	
	8	5	18.27	75	0	0	5	5	4	6	6	6	31259970	138	321	0.429907	
	9	7	6.66	120	0	0	3	3	3	5	4	4	15124860	163	426	0.382629	
	Total Dur =		271.76	77	362	531	41	50	43	46	46	40	587805560	1521	3708	0.410194	
بهینه زمان	Project information1			MATEERIAL			MACHINE			WORKER			Cost	Quality In No	Best Quality	%Quality	count of Z
	Act	Pre	Duration	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
	1	0	32.02	0	0	70	6	6	5	7	6	7	86133800	283	321	0.88162	41.00579
	2	1	16.19	0	0	100	6	6	6	6	7	4	57458310	368	405	0.908642	
	3	1	38.32	0	0	220	7	7	6	5	5	4	273144960	726	762	0.952756	
	4	2	67.78	0	0	75	5	5	6	3	4	3	180633700	278	303	0.917492	
	5	2,3	17.24	0	0	100	5	9	6	5	4	5	59012520	369	402	0.91791	
	6	5	56.85	0	0	110	5	5	3	5	5	3	210117600	378	408	0.926471	
	7	4,6	16.35	0	0	100	4	4	4	7	5	4	56194950	353	384	0.919271	
	8	5	18.27	0	0	75	5	5	4	6	6	6	50443470	288	321	0.897196	
	9	7	6.66	0	0	120	3	3	3	5	4	4	26313660	403	426	0.946009	
	Total Dur =		269.68	0	0	970	46	50	43	49	46	40	999452970	3446	3732	0.923365	
بهینه کیفیت	Project information1			MATEERIAL			MACHINE			WORKER			Cost	Quality In No	Best Quality	%Quality	count of Z
	Act	Pre	Duration	1	2	3	1	2	3	1	2	3					
	1	0	32.36	0	0	70	0	6	5	0	6	7	82388560	270	282	0.957447	41.63655
	2	1	19.05	0	0	100	0	0	6	0	6	4	63055500	342	348	0.982759	
	3	1	40.99	0	0	220	0	3	6	0	1	4	281601300	698	702	0.994302	
	4	2	68.18	0	0	75	0	5	6	0	3	3	174677160	268	276	0.971014	
	5	2,3	19.5	0	0	100	0	9	6	0	2	5	63940500	355	366	0.969945	
	6	5	57.41	0	0	110	0	1	3	1	5	3	203116580	361	369	0.97832	
	7	4,6	16.88	0	0	100	0	1	4	2	5	4	55568960	338	348	0.971264	
	8	5	20.62	0	0	75	0	2	4	3	6	6	54230600	274	288	0.951389	
	9	7	7.05	0	0	120	0	0	3	2	4	4	27072000	391	399	0.97995	
	Total Dur =		282.04	0	0	970	0	27	43	8	38	40	1005651160	3297	3378	0.976021	

شکل (4): بهینه توابع مختلف

4-1 تشریح تصویر بالا و نتایج کسب شده

در جدول دوم مربوط به بهینه هزینه ، نرم افزار تنها هزینه کل پروژه را بهینه کرد و از آنجا که منابع سطح یک ارزان ترین هستند بنظر میرسد که جواب بهینه جوابی است که با پر کردن منابع سطح یک (ارزان ترین نوع از هر منبع) سپس سطح دو و باقی مانده را در سطح 3 پر کند اما با توجه به اینکه در فرمول زمان هر فعالیت فرمولی قید شد که با استفاده از منابع هر سطح ، میزانی از میانگین مدت زمان اجرا کاهش می یابد و متناسب با افزایش سطوح زمان بیشتری کسر می گردد و در نتیجه کاهش کمتر زمان هزینه کمتری کسر می گردد. لذا استفاده از منابع سطوح پایین تر بهترین انتخاب نخواهد بود زیرا باعث کاهش کمتر زمان فعالیت می گردد.

در جدول سوم که مربوط به بهینه زمان فعالیت ها بدون در نظر گرفتن پیشینازی و همپوشانی فعالیت ها می باشد ، از آنجا که منابع تجهیزات و نیروی انسانی بطور مستقیم بر زمان فعالیت ها تاثیر دارند لذا همگی بهترین سطح را پر می کنند تا جایی که پا از مرز محدودیت ها فراتر نگذارند.

جدول چهارم تعیین می کند در صورتی که منابع از بهترین سطح انتخاب گردند پروژه بهترین کیفیت را نتیجه خواهد داد.

1- مدل های ریاضی مسائل RCPSP

در ابتدا مدل های ریاضی که از ابتدا تاکنون برای این دسته از مسائل بوجود آمده اند بررسی می شود و سپس به روش های حل اشاره می شود.

در جدول زیر مدل های ایجاد شده تاکنون آورده شده است:

نام مدل	سال	منبع
مدل پریسکر ^۷	1969	[1]
مدل کاپلن ^۸	1988	[1]
مدل الوارز ^۹	1993	[2]
مدل کلین ^{۱۰}	2000	[5]

جدول (10): مدل های ایجاد شده RCPSP

1-2 روش های حل مدل های RCPSP

مسائل RCPSP از دسته مسائل NP-Hard هستند، لذا از دو طریق قابل حل هستند:

- (1) روش های دقیق^{۱۱}
- (2) روش های ابتکاری^{۱۲}

⁷ Pritsker

⁸ Kaplan

⁹ Alvarez

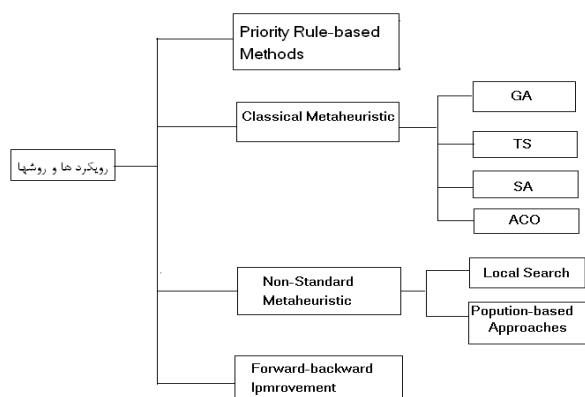
¹⁰ Klein

¹¹ Exact algorithm

¹² Heuristic algorithm

در روش‌های دقیق در انتهای اجرای الگوریتم جواب بهینه مسئله به دست می‌آید. از جمله این روش‌ها، انواع برنامه ریزی خطی، برنامه ریزی صفر و یک، برنامه ریزی عدد صحیح، برنامه ریزی پویا، برنامه ریزی غیر خطی، روش‌های شاخه و کران و... می‌باشد. از آنجا که برای مسائل پیچیده معمولاً این نوع الگوریتم‌ها در زمان معقول جواب بهینه را بدست نمی‌آورند، برای این گونه از مسائل به الگوریتم‌های دیگری متوسل می‌شویم که در زمان کم، جواب قابل قبولی به ما بدهند. این دسته از مسائل را روش‌های نادقیق (ابتکاری) می‌گویند که اخیراً توجه بیشتری را به خود جلب نموده اند.

الگوریتم‌های مختلف حل مسائل RCPSP در شکل زیر خلاصه شده است:



شکل (5): انواع الگوریتم‌های حل مسئله RCPSP [13]

در این پژوهش از الگوریتم‌های فراابتکاری، فقط از الگوریتم ژنتیک برای حل کمک گرفته خواهد شد، لذا فقط این الگوریتم مورد بررسی قرار می‌گیرد.

2-2 بهینه سازی زمانبندی پروژه بوسیله الگوریتم ژنتیک و اطلاعات حاصل شده

الگوریتم ژنتیک مجموعه بسیار بزرگی از حل‌های ممکن تولید می‌کند هر یک از حل‌ها با استفاده از تابع تناسب ۶، مورد ارزیابی قرار می‌گیرند آنگاه تعدادی از بهترین حل‌ها باعث تولید حل‌های جدیدی می‌شوند که این کار باعث تکامل حل‌ها می‌شود، در هر مرحله تعدادی از اعضای جمعیت قبل به همان صورت برای نسل بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند و برخی با استفاده از اپراتورهای ژنتیکی نظیر تقاطع ۸ و جهش ۵ برای تولید فرزندان به کار می‌روند. (گلدنبرگ، ۶۳۲۳)

در این مقاله الگوریتم ژنتیک در نرم افزار متلب ورژن ۹ اجرا گردید که برخی کدها در ادامه نمایش داده شده و نتایج نیز در ادامه مشخص گردید.

با توجه به اینکه محدودیت در استفاده روزانه از منابع برای فعالیت‌ها وجود دارد، اطلاعات مربوط به محدودیت منابع طبق جدول زیر گزارش گردید.

منبع فعالیت	مصلح نوع 1	مصلح نوع 2	مصلح نوع 3	تجهیزات نوع 1	تجهیزات نوع 2	تجهیزات نوع 3	نیروی انسانی نوع 1	نیروی انسانی نوع 2	نیروی انسانی نوع 3
1	0	70	0	0	6	5	0	6	7
2	0	0	100	0	0	6	0	6	4
3	0	220	0	0	3	6	0	1	4
4	75	0	0	1	4	6	3	3	0

5	0	0	100	0	9	6	0	2	5
6	0	110	0	0	1	3	1	5	3
7	0	0	100	0	2	4	2	5	4
8	0	0	75	0	2	4	3	6	6
9	0	0	120	0	3	3	4	4	4
ماکسیمم منابع قابل استفاده در هر روز	75	220	120	1	13	13	7	14	9

جدول (11): محدودیت منابع (استفاده شده در نرم افزار متلب) و نمایش ماکسیمم منابع قابل استفاده منابع در روز

بخش کم حجم برنامه نویسی که در نرم افزار متلب صورت گرفت در تصاویر زیر قابل مشاهده می باشد.

```

پارامتر های الگوریتم
%% parameters setting
data=load('data');
nvar=data.N;
popsize=30;
maxiter=300;
pc=0.7;
ncross=2*round((popsize*pc)/2);
pm=1-pc;
nmute=round(popsize*pm);
%% initial population algorithm
tic
emp.x=[];
emp.info=[];
emp.fit=[];
pop=repmat(emp,popsize,1);
for i=1:popsize
    pop(i).x=randperm(nvar);
    pop(i)=fitness(pop(i),data);
end
[val,ue,index]=min([pop.fit]);
gpop=pop(index);

```

```

مراحل عملکرد الگوریتم
function
sol=fitness(sol,data)

Precedence=data.Precedence;
R=data.R;
maxR=data.maxR;
T=data.T;
N=data.N;
x=sol.x;
x=PrecedenceCheck(x,Precedence);
ST=zeros(N,1);
FT=zeros(N,1);
sumT=2*sum(T);
RemainedR=repmat(maxR,sumT,1);
UsedR=zeros(size(RemainedR));
for i=x
    Ti=T(i);
    if isempty(Precedence{i})
        tt=0;
    else
        tt=max(FT(Precedence{i}));
    end
    Ri=repmat(R(i,:),sumT,1);
    qq=RemainedR-Ri;
    [a1,~]=find(qq<0);
    q=ones(1,sumT);
    q(a1)=-1;
    q(1:tt)=-1;
    p=find(q>0);
    np=length(p);

```

```

اطلاعات اولیه
Precedence={[],1,1,2,[2,3],5,[4,6],5,7};
N=length(Precedence);
T=[32 19 40 68 19 57 16 20 6];
R=[
0 70 0 0 6 5 0 6 7
0 0 100 0 0 6 0 6 4
0 220 0 0 3 6 0 1 4
75 0 0 1 4 6 3 3 0
0 0 100 0 9 6 0 2 5
0 110 0 0 1 3 1 5 3
0 0 100 0 2 4 2 5 4
0 0 75 0 2 4 3 6 6
0 0 120 0 3 3 4 4 4
];

```

کد تقاطع ثبت شده

```
function cross-
pop=crossover(crosspop,pop,
nvar,data,ncross)
f=[pop.fit];
f=1./f;
f=f./sum(f);
f=cumsum(f);
for n=1:2:ncross
i1=find(rand<=f,1,'first');
i2=find(rand<=f,1,'first');
p1=pop(i1).x;
p2=pop(i2).x;
j=randi([1 nvar-1]);
o1=[p1(1:j) p2(j+1:end)];
o2=[p2(1:j) p1(j+1:end)];
o1=unique(o1
randperm(nvar)], 'stable');
o2=unique(o2
randperm(nvar)], 'stable');
crosspop(n).x=o1;
cross-
pop(n)=fitness(crosspop(n),
data);
crosspop(n+1).x=o2;
cross-
pop(n+1)=fitness(crosspop(n
+1),data);
end
end
```

کد جهش ثبت شده

```
function mut-
pop=mutation(mutpop,pop,nva
r,data,nmut,popsize)
for n=1:nmut
i=randi([1 popsize]);
p=pop(i).x;
j1=randi([1 nvar-1]);
j2=randi([j1+1 nvar]);
nj1=p(j1);
nj2=p(j2);
p(j1)=nj2;
p(j2)=nj1;
mutpop(n).x=p;
mut-
pop(n)=fitness(mutpop(n),da
ta);
end
```

[gpop.info.ST gpop.info.FT]

ans =

```
1 33
34 53
34 74
54 122
75 94
95 152
153 169
95 115
170 176
```

پاسخ نرم افزار پس از 233 شمارش و 13 ثانیه مطابق تنظیمات 176 واحد زمانی می باشد

نتیجه گیری

در این مقاله که با هدف ایجاد دید جدید در حل مسائل بهینه سازی زمانبندی پروژه با محدودیت منابع برای بکار گیری کیفیت پروژه و هزینه پروژه در کنار زمان اتمام پروژه به نگارش در آمد ابتدا اطلاعات جامعی از منابع مورد نیاز و در دسترس در پروژه کسب شد و پس از آن در نرم افزار اکسل ورد اطلاعات صورت گرفت و با کنار هم قرار دادن اطلاعات و ایجاد روابط بین آن ها از جمله روابطی برای مدیریت ریسک سلول های حاوی اطلاعات بطور منظمی در کنار هم قرار گرفتند و

تابع هدفی حامل زمان ،هزینه و کیفیت پروژه ایجاد شد که برای ایجاد تعادل ابتدا با ضرایبی بحالت تعدل رسید و سپس ضرایب دیگری بر اساس خواست کارفرما از مدیر ارشد پروژه در تابع دخیل شد.پس از انجام بهینه سازی توسط evolverنتیجه ای که در قسمت زمان فعالیت ها بدست آمد با گرد کردن به عدد صحیح تبدیل و در برنامه متلب برنامه نویسی شد.جواب بدست آمده نشان دهنده جواب بهینه

مساله بود.نتیجه ای که از این مقاله بدست آمد این بود که شاید همیشه بدنبال مینیمم نقطه زمان اتمام باشیم اما همیشه مینیمم زمان بسود پروژه هایی که هزینه و یا کیفیت بشدت اهمیت دارند نخواهد بود.

مراجع

- [1] Demeulemeester W S.,Herrolen W S,2002, Project Scheduling,Kluwer Academic Publishers.
- [2] Brucker P., Drexl A., Mohring R., Neumann K., Pesch E., 1999, Resource-constrained project scheduling: Notation, classification, models, and methods, European Journal of Operational Research 112, 3–41.
- [3] Sprecher A., 1997, exact algorithm for RCPSP in multi mode case. OR Spectrum, Volume 19, Number 3, 195-203
- [4] Buddhakulsomsiria J., Kim D.S., 2006, Properties of multi-mode resourceconstrained project scheduling problems with resource vacations and activity splitting, European Journal of Operational Research, 175 , 279–295.
- [5] Buddhakulsomsiria J., Kim D.S., 2007,Priority rule-based heuristic for multi-mode resource-constrained project scheduling problems with resource vacations and activity splitting, European Journal of Operational Research, 178 ,374–390.
- [6] Schultmann F., Rentz O., 2001, Environment-oriented project scheduling for the dismantling of buildings, OR Spectrum, 23 ,(1) , 51–78.
- [7] Demeulemeester E.L., de Reyck B., Herroelen W.S., 2000, The discrete time/resource trade-off problem in project networks – A branch-and-bound approach, IIE Transactions, 32, 1059–1069.
- [8] Ranjbar M., Kianfar F., 2007,Solving the discrete time/resource trade-off problem in project scheduling with genetic algorithms, Applied Mathematics and Computation ,191 , 451–456.
- [9] Ranjbar M., de Reyck B., Kianfar F., 2009, A hybrid scatter search for the discrete time/resource trade-off problem in project scheduling, European Journal of Operational Research ,193 , 35–48.
- [10] Akkan C., Drexl A., Kimms A., 2005, Network decomposition-based benchmark results for the discrete time-cost tradeoff problem, European Journal of Operational Research ,165 , 339–358.
- [11] Maniezzo V., Mingozzi A., 1999, The project scheduling problem with irregular starting time costs, Operations Research Letters, 25 ,(4) , 175–182.
- [12] Mohring R.H., Schulz A.S., Stork F., Uetz M., 2001, On project scheduling with irregular starting time costs, Operations Research Letters ,28 ,(4) , 149–154.
- [13] Marco A. Krumbiegel, • Rick Trebino,The FROG Algorithm,2000, 78-1-4615-1181-6, 157-178
- [14] faradars.org/rcpsp

