ستاد ملی هفته پژوهش و فناوری

دانشگاه بوعلی سینا
دانشکده مهندسی

گروه آموزشی مهندسی صنایع،
دانشکده مهندسی،
دانشگاه بوعلی‌سینا،
همدان

برنامه ریزی یکپارچه تدارکات و تسطیح منابع پروژه با توجه به معیارها چندگانه در انتخاب تامین کنندگان

- نام نویسنده : نرگس گازری

nargesgazery96@gmail.com

چکیده

در این پژوهش مدل برنامه ریزی ریاضی دوهدفه برای یکپارچه سازی تصمیمات تسطیح منابع و انتخاب تامین کنندگان و تخصیص سفارش در پروژه ها ارائه شده است..همچنین جهت شرح مدل یک مثال عددی ارائه می شود.. تحلیل مدل به کمک مثال اعتبار مدل را نشان می دهد..

این پژوهش بدنبال توسعه روشی یکپارچه برای برنامه ریزی تدارکات و تسطیح منابع و زمانبندی پروژه با توجه به اهداف زیر است:

- به حداقل رساندن زمان اتمام پروژه
- حداقل رساندن کل هزینه اجرای پروژه
- انتخاب و تخصیص سفارش به تامین کنندگان با توجه به معیارهای کمی و کیفی

کلمات کلیدی: مدیریت پروژه، برنامه ریزی، تسطیح منابع، یکپارچه سازی

مقدمه

- مساله تسطیح منابع از این جهت که سعی در حداقل نمودن نوسانات منابع انسانی و تجهیزات در طی زمان دارد اهمیت می یابد. بخصوص در پروژه هایی که بیکار ماندن منابع(انسانی یا تجهیزات) و یا بالا بودن بار کاری منابع هزینه بر است، این مساله مهم تلقی می شود.
- برای زمانبندی پروژه و برنامه ریزی مواد، دو رویکرد متفاوت در مقالات ذکر شده است؛ رویکرد متوالی و رویکردیکپارچه. رویکرد متوالی، شامل سه برنامه مستقل است که عبارتند از: برنامه زمان بندی فعالیت ها، برنامه مواد مورد نیاز و برنامه سفارش مواد. خروجی اصلی برنامه زمانبندی فعالیت ها، زمان اجرای فعالیت های پروژه است. بر اساس مقدار مواد مورد نیاز برای هر فعالیت، برنامه مواد مورد نیاز، مقدار مورد نیاز از هر ماده را در طول عمر پروژه محاسبه می کند. با توجه به نیازمندی های هر ماده، برنامه سفارشات، اندازه و زمان های مناسب برای سفارش هر ماده را مشخص می شود. در رویکرد یکپارچه، سه برنامه فوق در یک مدل تصمیم گیری ادغام می شود.
- ادبیات موجود نشان می دهد که مقالات کمی به یک برنامه زمانبندی یکپارچه با مسئله سفارش مواد پرداخته اند. علاوه بر این، بیشتر این مقالات تنها یک تامین کننده را در نظر گرفته اند. در بررسی های انجام شده تا به حال مسئله تسطیح منابع و برنامه ریزی تدارکات با انتخاب تامین کنندگان با توجه به معیارهای کمی و کیفی چندگانه مشاهده نشده است. از این رو ما در این پژوهش سعی داریم که با در نظر گرفتن تامین کننده های متفاوت که هر یک مواد اولیه را با قیمت های متفاوت، زمان تحویل متفاوت و کیفیت متفاوت ارائه می دهند، با تلفیق روش های تصمیم گیری چندمعیاره و روشهای برنامه ریزی ریاضی یک روش یکپارچه در این خصوص ارائه دهیم.

روش انجام تحقیق

مراحل روش پژوهش در زیر آمده است:

- مرور ادبیات موضوع
- توسعه مدل مسئله
- مشخص کردن روش حل و اعتبار سنجی
- آزمون روش حل و تحلیل نتایج
- تهیه گزارش و تدوین پژوهش

فرضیه‌ها

مفروضات زیر مد نظر است:

- انتخاب و سفارش دهی به تامین کنندگان با توجه به معیارهای چندگانه صورت می گیرد
- برنامه ریزی تدارکات و تسطیح منابع و زمانبندی پروژه به شکل یکپارچه است
- نرخ مصرف مواد در طول اجرای یک فعالیت ثابت است
- امکان تقسیم فعالیت ها وجود دارد روابط تقدمی باید رعایت شود.
- بعضی از معیارهای تصمیم گیری کیفی هستند

بحث و نتیجه‌گیری

یک پروژه متشکل از n فعالیت را در نظر بگیرید که در آن هر فعالیت دارای مدت زمان مشخصی از T_j است، $j=1,2,...,n$، با استفاده از روش CPM، زمان اتمام پروژه همراه با زودترین زمان شروع ES_j، زودترین زمان پایان EF_j، دیرترین زمان شروع LS_j، دیرترین زمان پایان LF_j و کل زمان شناور TF_j برای هر فعالیت مشخص می‌شود. با تعریف سایر پارامترهای مسئله و متغیرهای تصمیم گیری مدل دو هدفه برای مسئله از نظر ریاضی به شرح زیر است:

- *مجموعه‌ها:*

NN: تعداد فعالیت‌های غیربحرانی

S: فهرست تامین کنندگان

K: شاخص دامنه تخفیف قیمت

R_P: تعداد منابع تجدید پذیر

C_P: تعداد منابع مصرفی

- *پارامترها*:

cr_{jp}: تعداد واحدهای منبع مصرفی نوع $p(p=1,...,cp)$ مورد نیاز در هر دوره از مدت زمان فعالیت $j\ (j=1,...,n)$

rr_{jp}: تعداد واحدهای منبع تجدیدپذیر نوع $p\ (p=1,...,rp)$ استفاده شده در هر دوره از مدت زمان فعالیت $j\ (j=1,...,n)$

CI_P: هزینه به دست آوردن یک واحد از منابع تجدید پذیر نوع $p\ (p=1,...,rp)$

CD_P: هزینه آزاد سازی یک واحد از منبع تجدیدپذیر نوع. $p(p=1,...,rp)$

CS_i:هزینه تقسیم فعالیت غیربحرانی $i(i=1,...,nn)$

A_{ps}: هزینه سفارش منبع مصرفی نوع $p(p=1,...,cp)$ به تامین کننده $s(s=1,2,...,S)$.

C_{psk}:هزینه مواد در هر واحد منبع مصرفی نوع $p\ (p=1,...,cp)$ در محدوده مقدار $K\ (k=1,2,...,k_{ms})$خریداری شده از تامین کننده $s(s=1,2,...,S)$.

h_p:هزینه نگهداری در هر واحد منبع مصرفی نوع $p(p=1,....,cp)$ در واحد زمان.

Z_{ti}:پارامتر دودویی که برای فعالیت بحرانی $i(i=1,\dots,nc)$ برابر با یک است اگر t در بازه (ESi,LFi) باشد. در غیر این صورت برابر با صفر است.

T:زمان اتمام پروژه ، همانطور که با روش CPM تعیین شده است.

W_{sp}:وزن محصول $p(p=1,\dots,cp)$ از تامین کننده $s(s=1,2,\dots,S)$ با توجه به ملاحظات کیفی (سرویس و کیفیت)

- *متغیرهای تصمیم*

مدل بهینه‌سازی توسعه یافته دارای متغیرهای تصمیم‌گیری زیر است

I_{tp}:تعداد منبع تجدیدپذیر نوع $p(p=1,\dots,rp)$ در طول دوره $t(t=1,\dots,T)$ اضافه شده است .

D_{tp}:تعداد منبع تجدید پذیر نوع $p(p=1,\dots,rp)$که در دوره t $(t=1,\dots,T)$کم (آزاد) شده است.

RR_{tp}:نیاز به منبع تجدیدپذیر نوع $p(p=1,\dots,rp)$ در طول دوره $t(t=1,\dots,T)$.

CR_{tp}:نیاز به منبع مصرفی نوع $p(p=1,\dots,cp)$ در طول دوره.$t(t=1,\dots,T)$

y_{ti}: متغیر دودویی، که وقتی یک فعالیت غیر بحرانی iدر طول دوره t فعال باشد ، برابر با یک است و در غیر این صورت صفر است $t=ES_i,ES_{i+1},\dots,LF_i$و$i=1,\dots,nn$.

L_{ti}:متغیر غیر منفی برای تعیین اینکه آیا فعالیت غیر بحرانی iدر دوره t+1. تقسیم شده است یا خیر.

NL_i: تعداد دفعات تقسیم فعالیت غیر بحرانی i , i=1,...,nn.

S_i:زمان شروع فعالیت غیر بحرانی i، , i=1,...,nn.

F_i::زمان پایان فعالیت غیر بحرانیi ، i=1,...,nn.

O_{tpsk}: متغیر دودویی، که اگر ماده p(p=1,...,cp) در بازه قیمت K(k=1,2,...,k_{ms}) در دوره t (t=1,...,T) به تامین کننده s (s=1,2,...,S) سفارش داده شود، یک در غیر اینصورت صفر است.

Q_{tpsk}:مقدار منبع مصرفی نوع p(p=1,...,cp) سفارش داده شده در دوره t (t=1,...,T) اگر ماده p در محدوده مقدار K(k=1,2,...,k_{ms}) به تامین کننده s در دوره t سفارش داده شود.

Inv_{tp} :موجودی منبع مصرفی نوع p(p=1,...,cp) در پایان دوره t (t=1,...,T).

α_{pks}: محدوده مقدار K (k=1,2,...,k_{ms}) مواد p(p=1,...,cp) برای تأمین کننده s(s=1,2,...,S) .

- فرمول بندی مدل:

$$\text{Min } Z1 = \sum_{p}^{rp}[CI_p \sum_{t=1}^{T} I_{tp} + CD_p \sum_{t=1}^{T} D_{tp}] + \sum_{i=1}^{nn}(CS_i * NL_i) + \sum_{p=1}^{cp}\sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} A_{ps} \sum_{k=1}^{kps} O_{tpsk} + \sum_{p=1}^{cp}\sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S}\sum_{k=1}^{kps}(C_{psk} * Q_{tpsk}) + \sum_{p=1}^{cp}\sum_{t=1}^{T}(h_p$$

$$\sum_{t=ESi}^{LFi} y_{ti} = T_i \qquad i=1,2,\ldots.nn$$

$$S_i = (T+1) - \text{Max}\{(T+1-t)y_{ti} : t = ES_i, ES_i + TF_i\} \qquad i=1,2,\ldots.nn$$

$$F_i = \text{Max}\{ty_{ti}: t = LF_i - TF_i, LF_i\} \qquad i=1,2,\ldots.nn$$

$$S_g \geq F_i + 1 \qquad i=1,2,\ldots.nn \quad \text{and} \quad g \in \text{Succ}(i)$$

$$L_{ti} = \text{Max}(y_{ti} - y_{(t+1)i}, 0) \qquad i=1,2,\ldots.nn \quad \text{and} \quad t=ESi,\ldots,Lf_i$$

$$NL_i = \sum_{t=ESi}^{LFi} L_{ti} - 1 \qquad i=1,2,\ldots.nn$$

$$Inv_{tp} = Inv_{(t-1)p} + \sum_{k=1}^{K_{ms}} \sum_{s=1}^{S} \sum_{j=1}^{n} (Q_{tpsk}) - CR_{tp} \qquad t=1,2,\ldots,T \quad \text{and} \quad p=1,2,\ldots,cp$$

$$\sum_{k=1}^{Kms} \sum_{s=1}^{S} Q_{tpsk} \leq M * [\sum_{k=1}^{K_{ms}} \sum_{s=1}^{S} O_{tpsk}] \qquad t=1,2,\ldots,T \quad , \quad p=1,2,\ldots,cp \quad \text{and M is a large number}$$

$$CR_{tp} = \sum_{i=1}^{nc} [cr_{ip} \times Z_{ti}] + \sum_{j=1}^{nn} [cr_{jp} \times y_{tj}] \qquad t=1,2,\dots,T \;\; , \;\; p=1,2,\dots,cp$$

$$\propto_{p(k-1)s} * O_{tpsk} \leq \sum_{j=1}^{N} Q_{tpsk} \leq \propto_{pks} * O_{tpsk} \qquad \forall p = 1,2,\dots,cp \;\; , \forall s = 1,2,\dots,S \;\; , \forall t = 1,2,\dots,T \;\; , \forall K \in 1,2,\dots,Km$$

$$\sum_{k=1}^{K_m} \sum_{s=1}^{S} O_{tpsk} \leq 1 \; ; \forall p = 1,2,\dots,cp \;\; , \forall t = 1,2,\dots,T$$

$I_{tp}, Dtp, RRtp, CRtp \geq 0$ $\quad t=1,2,\dots,T \;\; , \;\; p=1,2,\dots,rp$

$y_{ti} \in \{0,1\}$ $\quad i=1,2,\dots.nn \;\; and \;\; t=ESi,\dots,Lf_i$

$y_{T+1}=0$ $\quad i=1,2,\dots.nn$

$S_i, Fi \geq 0$ $\quad i=1,2,\dots.nn$

$L_{ti}>0$ $\quad i=1,2,\dots.nn \;\; and \;\; t=ESi,\dots,Lf_i$

$Q_{tpsk}, Invtp \geq 0$ $\quad t=1,2,\dots,T \;\; , \;\; p=1,2,\dots,cp, \;\; s=1,2,\dots S \;\; , \;\; k=1,2,\dots kms$

$Inv_{op}=InvTp=0$ $\quad p=1,2,\dots,cp$

$O_{tpsk} \in \{0,1\}$ $\quad t=1,2,\dots,T \;\; , \;\; p=1,2,\dots,cp \;\; , \;\; s=1,2,\dots S \;\; , \;\; k=1,2,\dots kms \;\; , \;\; j=1,2,\dots,n$

مثال عددی

حال با مثال زیر عملکرد مدل ارائه شده را ارزیابی می کنیم.

- ۱۰ فعالیت (A، B، C، D، E، F، G، H، K و L) را با مدت زمان فعالیت ثابت و یک نوع منابع تجدیدپذیر ، R1و دو نوع منابع مصرفی، R2و R3، درنظز بگیرید. شکل زیر نمودار شبکه پروژه را همراه با مدت زمان فعالیت و منابع مورد نیاز نشان می‌دهد. از آنجا که با وجود منابع مصرفی مدل مسئله به یک مدل چند هدفه تبدیل می‌شود پس برای حل مثال گفته شده باید از یکی از انواع روش‌های بهینه سازی چند هدفه استفاده کنیم که از روش معیار جامع استفاده می کنیم.

- داده های مثال گفته شده به صورت زیر است:

	D	R1	R2	R3	ES	LF	TF	CS
A	۲	۱۸	۱۴	۵	۱	۲	۰	۱
B	۳	۰	۳	۴	۳	۵	۰	۱
C	۲	۲	۱۹	۰	۶	۷	۰	۱
D	۳	۱۳	۷	۱۱	۸	۱۰	۰	۱
E	۳	۴	۰	۲	۱۱	۱۳	۰	۱
F	۲	۱۰	۱۱	۰	۱۴	۱۵	۰	۱
G	۴	۰	۱۳	۱۸	۱	۷	۳	۱
H	۳	۵	۰	۹	۵	۱۰	۳	۱
K	۲	۱۲	۰	۰	۳	۹	۵	۱
L	۴	۱۲	۱	۱۷	۵	۱۳	۵	۱

C(p,s.k)	S1.K1	S1.K2	S2.K1	S2.K2
R2	۲	۵	۳	۶
R3	۷	۴	۵	۲

CL	۲۰
CD	۲۰

A(p,s)	S1	S2
R2	۲	۵
R3	۳	۴

- در این مثال، برنامه پروژه پس از افزودن منابع مصرفی و هزینه‌های مربوط به مواد، دوتا از چهار، فعالیت‌های غیر بحرانی (Hو L) تقسیم می‌شوند تا منابع را تسطیح کنند. تعداد دفعات سفارش منبع R2 برای تامین کننده S1،۱۵وبرای تامین کننده S2،۵ است و تعداد کل سفارشات منبع R3 تنها برای تامین کننده S2، ۱۳ است در حالی که سطح موجودی به ترتیب ۱۴ و ۰ برای R2و R3است.
- نمودار گانت برای نتیجه مدل :

Activity	Periods														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	**15**
A	1	1													
B			1	1	1										
C						1	1								
D								1	1	1					
E											1	1	1		
F														1	**1**
G	1	1	1	1											
H						1	1			1					
K			1	1											
L					1						1	1	1		

- منابع مصرفی هزینه خرید، هزینه سفارش و هزینه نگهداری را به عملکرد هدف اضافه می‌کند. مقدار هزینه کل تابع هدف اول ۲۳۳۷ است. همچنین حداکثر مقدار تابع هدف دوم ۱۴۹۵ حاصل شده است. و با توجه به حل مدل دوهدفه مسئله با روش معیار جامع حداقل تفاوت بین هر تابع هدف با مقدار بهینه آن ۰,۸۷۹ بدست آمده است. تقسیم دو فعالیت غیر بحرانی منجر به صرفه جویی ۳۱۵ در هزینه کل در مقایسه با هزینه برنامه CPM شد که نشان دهنده کارایی تقسیم فعالیت به سمت دستیابی به یک برنامه مقرون به صرفه تر است. این نتایج فقط برای پارامترهای تعریف شده معتبر است. در صورت تغییر پارامترها، برنامه به همراه مقدار سفارش و سطوح موجودی در هر دوره زمانی تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

نتیجه گیری:

- مدل ارائه شده برنامه زمانبندی پروژه و تصمیمات مربوط به تهیه مواد را برای به حداقل رساندن هزینه‌های مربوط به سطح‌بندی منابع و هزینه‌های مربوط به سفارش مواد ادغام می‌کند. همچنین بدنبال به حداکثر رساندن میزان سفارش به تأمین کننده‌هایی با وزن بیشتر است. یکپارچه سازی تصمیمات مربوط به سفارش مواد بر برنامه‌ریزی و تقسیم پروژه تأثیر داشت. مدل بین هزینه‌های مختلف گنجانده شده در تابع هدف به منظور یافتن حداقل هزینه‌های کل، تعادل می‌یابد. مشخص شد که هزینه‌های سفارش و نگهداری بر تعداد سفارشات انجام شده و سطح موجودی تأثیر می‌گذارد. برای هزینه‌های زیاد سفارش، تعداد سفارشات کاهش می‌یابد در حالی که سطح موجودی افزایش می‌یابد. هنگامی که هزینه نگهداری زیاد است، تعداد سفارشات تقریبا بدون تغییر باقی می‌مانند و سطح موجودی کاهش می‌یابد. اگر هزینه نگهداری بسیار بالا باشد، ممکن است مدل نتواند بهترین مشخصات سطح‌بندی منابع را حفظ کند. مشخصات سطح‌بندی منابع تحت تأثیر قرار می‌گیرد تا هزینه کل سفارش و نگهداری منابع مصرفی را به حداقل برساند. این امر به ویژه در مواردی است که هزینه‌های به دست آوردن و انتشار منابع تجدیدپذیر کمتر از هزینه‌های سفارش و نگهداری منابع مصرفی باشد. در قسمت آخر ، رویکردهای تصمیم گیری متوالی و یکپارچه برای مقادیر مختلف پارامترهای پروژه مقایسه شد و مشخص شد که رویکرد تصمیم گیری یکپارچه همیشه بهتر یا مساوی با رویکرد تصمیم متوالی عمل می کند.

منابع

- چند منبع علمی که مورد استفاده قرار گرفته شده اند در زیر آورده شده است:

- [1] Tabrizi, B. H. (2018). Integrated planning of project scheduling and material procurement considering the environmental impacts. *Computers & industrial engineering*, *120*, 103-115.
- [2] Tabrizi, B. H., & Ghaderi, S. F. (2016). Simultaneous planning of the project scheduling and material procurement problem under the presence of multiple suppliers. *Engineering optimization*, *48*(9), 1474-1490.
- [3] Tabrizi, B. H., & Ghaderi, S. F. (2016). A robust bi-objective model for concurrent planning of project scheduling and material procurement. *Computers & industrial engineering*, *98*, 11-29.
- [4] Almatroushi, H., Hariga, M., As' ad, R., & Al-Bar, A. (2020). The multi resource leveling and materials procurement problem: an integrated approach. *Engineering, Construction and Architectural Management*.
- [5] Kazemi, S., & Davari-Ardakani, H. (2020). Integrated resource leveling and material procurement with variable execution intensities. *Computers & Industrial Engineering*, *148*, 106673.

- [6] Tabrizi, B. H., Ghaderi, S. F., & Haji-Yakhchali, S. (2019). Net present value maximisation of integrated project scheduling and material procurement planning. *International Journal of Operational Research*, *34*(2), 285-300.
- [7] Habibi, F., Barzinpour, F., & Sadjadi, S. J. (2019). A mathematical model for project scheduling and material ordering problem with sustainability considerations: A case study in Iran. *Computers & industrial engineering*, *128*, 690-710.
- [8] Zoraghi, N., Shahsavar, A., & Niaki, S. T. A. (2017). A hybrid project scheduling and material ordering problem: Modeling and solution algorithms. *Applied soft computing*, *58*, 700-713.
- [9] Tabrizi, B. H., Ghaderi, S. F., & Haji-Yakhchali, S. (2017). Discount Strategies Investigation in Integrated Project Scheduling and Material Procurement. *International Journal of Information and Management Sciences*, *28*(2), 67-82.
- [10] Chen, W., Lei, L., Wang, Z., Teng, M., & Liu, J. (2018). Coordinating supplier selection and project scheduling in resource-constrained construction supply chains. *International Journal of Production Research*, *56*(19), 6512-6526.

- [11] Bianco, L., Caramia, M., & Giordani, S. (2016). Resource levelling in project scheduling with generalized precedence relationships and variable execution intensities. *OR spectrum*, *38*(2), 405-425.
- [12] Nemati-Lafmejani, R., Davari-Ardakani, H., & Najafzad, H. (2019). Multi-mode resource constrained project scheduling and contractor selection: Mathematical formulation and metaheuristic algorithms. *Applied Soft Computing*, *81*, 105533.
- [13] RezaHoseini, A., Ghannadpour, S. F., & Hemmati, M. (2020). A comprehensive mathematical model for resource-constrained multi-objective project portfolio selection and scheduling considering sustainability and projects splitting. *Journal of Cleaner Production*, 122073.