ICISE 2019
5th International Conference on Industrial and Systems Engineering
4 & 5 Sep. 2019 • Ferdowsi University of Mashhad
پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها
۱۳ و ۱۴ شهریور ۱۳۹۸ • دانشگاه فردوسی مشهد

برنامه‌ریزی تدارکات و تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان با در نظرگرفتن زمان انجام فعالیت‌های پروژه و زمان‌های تحویل

آرزو جهانگیرزاده [۱]، سید میثم موسوی [۲]، مازیار خوش سیرت [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران؛ arezoo.jahangirzade@shahed.ac.ir
[۲] دانشیار، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران؛ sm.mousavi@shahed.ac.ir
[۳] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران؛ maziar.khoshsirat@gmail.com

چکیده

مسئله زمان‌بندی پروژه همواره به دنبال کاهش زمان اتمام پروژه است. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در زمان اتمام پروژه دسترسی به منابع موردنیاز است. در مطالعات گذشته به بررسی برنامه‌ریزی هم‌زمان تدارکات و زمان‌بندی پروژه پرداخته‌شده است؛ اما به محدودیت‌های و ملاحظات واقعی پروژه توجه زیادی نشده است. در این مقاله یک مدل جدید عدد صحیح مختلط چندهدفه به‌منظور حداقل سازی هزینه‌ها و حداکثرسازی میزان سفارش به تأمین‌کننده با درجه اهمیت بیشتر در کمترین زمان ارائه شده است. تعیین زمان شروع فعالیت‌ها، زمان نیاز به هر منبع، زمان و مقدار سفارش به هر تأمین‌کننده از ویژگی‌های مدل پیشنهادی است. در پایان، به جهت اعتبارسنجی و کاربردپذیری مدل پیشنهادی، مثال عددی حل و تحلیل شده است.

کلمات کلیدی

سفارش‌دهی منابع، تخصیص سفارش، تدارکات، زمان‌بندی‌پروژه

Procurement planning and ordering allocation to suppliers by considering project activity duration and lead time

Arezoo Jahangirzadeh[1], Seyed Meysam Mousavi[2], Maziar Khoshsirat

[1]MS.c. Student of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran.

[2] Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran.

[3]Ph.D student of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran.

ABSTRACT

The project scheduling problem always seeks to reduce project completion time. One of the most important factors influencing the completion of the project is access to the resources required. In previous studies, the integrated procurement planning and project scheduling has been addressed, but the project constraints have not received much attention. In this paper, a mixed-integer multi-objective model is proposed to minimize costs and maximize the order quantity to the supplier with a higher importance in the lowest given time. Determining the start time of activities, the time needed for each resource, the time and order quantity to each supplier are the characteristics of the proposed model. Finally, to validate and applicability of the proposed model, the numerical example is solved.

KEYWORDS

Order allocation, Resource ordering, Procurement, Project Scheduling

۱- مقدمه

مسئله زمان‌بندی پروژه همواره به دنبال کاهش زمان اتمام پروژه است. یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در زمان اتمام پروژه دسترسی به منابع موردنیاز است؛ در این میان تدارکات پروژه یک عامل مهم در تهیه منابع مورد نیاز پروژه بوده و یکی از اهداف مهم در مدل‌سازی مسائل کنترل پروژه است. مسئله زمان‌بندی پروژه می‌تواند به طور همزمان با برنامه‌ریزی سفارش مواد به تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شود[۱]. مدل ارائه شده برای کاهش هزینه‌های پروژه به بررسی نحوه سفارش‌دهی، تعیین زمان،میزان سفارش و زمان‌های تحویل مواد می‌پردازد و با درنظرگرفتن سطوح مختلف قیمت و وزن‌دهی به تأمین‌کنندگان حق انتخاب برای سفارش‌دهی را بالا می‌برد. به این ترتیب برنامه‌ریزی و زمان‌بندی پروژه به صورت هم‌زمان با برنامه‌ریزی تدارکات برای کاهش زمان و هزینه‌های پروژه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

نخستین بار اکوئیلانو و اسمیت [۲] یک مدل برنامه‌ریزی مواد و زمان‌بندی پروژه به‌طور همزمان را ارائه دادند. آن‌ها یک مدل ادغامی شامل برنامه‌ریزی مواد و روش مسیر بحرانی را توسعه داده و آن را (CPM-MRP) نامیدند. در تحقیقی دیگر، اکوئیلانو و اسمیت [۳] توانستند مدل خود را با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع توسعه داده و یک روش ابتکاری برای حل ارائه دهند. در این رویکرد، زمان فعالیت‌ها متغیر در نظر گرفته شده و محدودیت‌های پیش‌نیازی بین فعالیت‌ها موردتوجه قرارگرفته است. اسمیت دنیلز[۴]و[۵] یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی سفارش مواد همزمان با زمان‌بندی پروژه ارائه دادند. در مطالعات آن‌ها، با حل مدل جواب‌های بهینه برای میزان سفارش و زمان‌بندی فعالیت‌ها به دست آمد. مدل با استفاده از الگوریتم واگنر-ویتین حل‌شده و سفارش بهینه به‌طور همزمان با زمان‌بندی پروژه به دست آمده است. ارپسی و سپیل [۶] با ارائه یک رویکرد ابتکاری به موازنه سفارش‌دهی مواد موردنیاز و تأخیر در پروژه پرداختند. دودین و الیمام [۷] مدل برنامه‌ریزی مسئله ارائه شده توسط ارپسی و سپیل[۶] را توسعه داده و با در نظر گرفتن یک مدل عدد صحیح مختلط به بررسی زمان متغیر برای فعالیت، ارزش متغیر برای پروژه، پاداش برای اتمام پروژه زودتر از موعد و تخفیف بر اساس مقدار خرید پرداختند. همچنین در مدل آن‌ها تأثیر قابل‌توجه شبکه پروژه در زمان سپری شده در جواب بررسی شد. یک الگوریتم ابتکاری توسط اشمیت و فلاند [۸] برای برنامه‌ریزی ساختار مجدد با هدف حداکثرسازی ارزش خالص فعلی جریان‌های نقدی پیشنهاد شده است. به‌این‌ترتیب یک سری از مسائل وابسته به حداکثر زمان خاتمه برای به دست آوردن زمان بهینه پخش مواد بررسی شده است. شیخ سجادیه و همکاران [۹] مدل ارائه شده توسط دودین و الیمام [۷] را به‌صورت یک مدل عدد صحیح مختلط توسعه داده و از الگوریتم ژنتیک برای حل مدل استفاده نمودند. مدل زمان‌بندی پروژه هم‌زمان با سفارش‌دهی مواد دودین و الیمام [۷] توسط زورقی و همکاران [۱۰] با در نظر گرفتن محدودیت منابع تجدید پذیر و محدودیت اتمام به موقع پروژه توسعه داده شد. به این منظور دو الگوریتم فرا ابتکاری ترکیبی ژنتیک و شبیه‌سازی تبرید شده برای حل مدل استفاده شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد در اکثر موارد، الگوریتم ترکیبی ژنتیک با عملکرد بالاتری نسبت به الگوریتم ترکیبی شبیه‌سازی تبرید به جواب مناسب می‌رسد. فو [۱۱] یک مسئله زمان‌بندی پروژه با محدودیت منابع چند حالت را پیشنهاد کرد تا ارتباط مدت زمان فعالیت با نیازهای منابع مربوط به حالت‌های مختلف را نشان دهد. برای حل مدل راه‌حل مبتنی بر جستجوی هارمونی سازگار و ژنتیک پیشنهاد شد. دیکسیت [۱۲] در مطالعه خود عدم قطعیت زمان تحویل مواد را در یک مدل زمان‌بندی خرید مورد بررسی قرار داد. مدل پیشنهادی او در یک پروژه واقعی ساخت کشتی مورد بررسی قرار گرفت که در آن تدارکات مواد نقشی اساسی در موفقیت پروژه داشت. همچنین تأثیر بودجه اختصاص داده شده در هر مرحله بر کل هزینه‌های پروژه مورد آزمایش قرار گرفت. تبریزی و قادری [۱۳] به حداکثرسازی ارزش فعلی پروژه با درنظرگرفتن هزینه‌ها تحت تأثیر تخفیف برای تدارکات پرداختند. آن‌ها برای حل مدل از الگوریتم ژنتیک استفاده کرده و میزان پیشرفت برنامه زمان‌بندی را نشان دادند. تبریزی [۱۴] زمان‌بندی یکپارچه پروژه و تأمین مواد را با درنظرگرفتن تأمین‌کنندگان مختلف تحت سطوح مختلف تخفیف موردبررسی قرار داد و هدف حداقل‌سازی هزینه‌های اجرای پروژه در کنار اثرات تدارک منابع بر روی محیط‌زیست را دنبال کرد. چبی و اوتی [۱۵] به‌منظور برنامه‌ریزی تدارکات ابتدا به انتخاب تأمین‌کننده مناسب و پس از آن به تخصیص سفارش به هر تأمین‌کننده پرداختند. مسئله با ارائه یک مدل عدد صحیح مختلط چند هدفه در دو مرحله حل شد. مرحله اول انتخاب تأمین‌کننده با استفاده از روش مولتی‌مورای فازی و مرحله دوم تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان با استفاده از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی انجام شده است.

در این تحقیق مدل ارائه شده توسط چبی و اوتی [۱۵] با ملاحظات جدید در فضای برنامه‌ریزی و تدارکات پروژه در نظر گرفته شده و برای این منظور به تابع هدف، بخش‌های مربوط به زمان‌بندی و هزینه‌های پروژه اضافه شده است. در محدودیت‌ها نیز موارد مربوط به فعالیت‌های پروژه از قبیل زمان انجام فعالیت‌ها، پیش‌نیازی فعالیت‌ها، منابع موردنیاز هر فعالیت و افق زمانی پروژه موردتوجه

قرارگرفته است. علاوه بر این تأثیر وجود چند تأمین‌کننده با درجه اهمیت متفاوت، سطوح مختلف قیمت، زمان‌های تحویل منابع (مواداولیه) سفارش شده بر شروع فعالیت‌های پروژه و تقسیم منابع سفارش شده بین فعالیت‌های پروژه بررسی خواهد شد.

در ادامه، مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است: پس از مقدمه، در بخش دوم، تعریف مسئله و مدل‌سازی آن تشریح شده است. در بخش سوم روش حل و نتایج حل مثال عددی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و درنهایت، در بخش چهارم جمع‌بندی و پیشنهادهایی برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

۲- تعریف مسئله

مسئله مورد مطالعه عبارت است از برنامه‌ریزی سفارش به تأمین‌کنندگان با درنظرگرفتن زمان انجام فعالیت‌های پروژه که هدف از آن حداقل‌سازی مجموعه‌ای از هزینه‌ها و حداکثرسازی میزان سفارش به تأمین‌کننده‌هایی با وزن بیشتر است. محدودیت‌های این مسئله شامل محدودیت‌های تقاضا، زمان تحویل و ظرفیت است. مفروضات مسئله عبارتند از اینکه: تنها یک پروژه برای این مسئله در نظر گرفته شده است. فرض بر آن است که تأمین‌کنندگان با درجه اهمیت (وزن) مشخص وجود دارند. موجودی در ابتدای دوره صفر است. روابط بین فعالیت‌ها از نوع پیش‌نیازی بوده و با اتمام یک فعالیت، فعالیت پس از آن شروع خواهد شد. هر فعالیت تنها یک‌بار در زمان مشخص شده بدون هیچ‌گونه توقفی در پروژه قابل انجام شدن است. کمبود در مدل مجاز نیست. فعالیت‌ها برای اجرا نیاز به منبع 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. به‌طورکلی مدل مسئله زمان‌های شروع فعالیت‌های پروژه را با توجه به زمان‌های تحویل منابع سفارش شده و روابط پیش‌نیازی به دست می‌آورد و زمان و مقدار سفارش بهینه برای خرید منابع مورد نیاز را با توجه به زمان شروع فعالیت‌ها محاسبه می‌کند. با تخصیص سفارش‌دهی منابع مورد نیاز به هر تأمین‌کننده هزینه‌های خرید، سفارش‌دهی منابع، نگهداری موجودی و همچنین مقادیر مربوط به دیگر توابع هدف به دست می‌آیند.

به‌منظور مدل‌سازی مسئله داریم:

۲-۱- مجموعه‌ها

$i, \acute{i}$: مجموعه فعالیت‌های پروژه

j : مجموعه سطوح قیمت

m : مجموعه منابع مورد نیاز

$p_{i\acute{i}}$: مجموعه پیش‌نیازی فعالیت‌های پروژه

s : مجموعه تأمین‌کنندگان

t : مجموعه زمان‌های سفارش دهی

$\acute{t}$: مجموعه زمان‌های شروع فعالیت‌های پروژه

۲-۲- پارامترهای مدل

L_m : میانگین زمان تحویل برای منبع m

L_s : زمان تحویل برای تأمین‌کننده s

l_s : تأخیر در زمان تحویل تأمین‌کننده s

w_s : امتیاز تأمین‌کننده s

r_s : درصد مقدار سفارش از تأمین‌کننده s

Ca_{ms} : حداکثرظرفیت تأمین‌کننده برای منبع m از تأمین‌کننده s

v_{ms} : حداقل سفارش جهت دریافت تخفیف برای منبع m از تامین‌کننده s

c_{msj} : هزینه واحد سفارش منبع m در سطح j به تأمین‌کننده s

H : افق زمانی پروژه

H_m : هزینه نگهداری منبع m

du_i : طول زمان انجام فعالیت i ام پروژه

R_{im} : میزان تقاضای منبع m برای فعالیت i پروژه

Gs_{mj} : هزینه ثابت سفارش منبع m در سطح j

۲-۳- متغیرهای تصمیم

x_{msjt} : میزان سفارش منبع m به تأمین‌کننده s در سطح j در زمان t

IN_{mt} : موجودی منبع m در دوره t

ρ_{msjit} : اگر منبع m برای فعالیت i به تأمین‌کننده s در سطح j در زمان t سفارش داده شود برابر با ۱ و درغیر این صورت ۰

$x\rho_{msjit}$: مقداری از منبع m که از تأمین‌کننده s در سطح j در زمان t تهیه شده و به فعالیت i تعلق می‌گیرد.

y_{msjt} : اگر منبع m به تأمین‌کننده s در سطح j سفارش داده شود برابر با ۱ و در غیر این صورت ۰

xx_{it} : در صورتی که فعالیت i پروژه در زمان t شروع شود برابر با ۱ و در غیر این صورت ۰

۴-۲- مدل‌سازی ریاضی

$$Z_1 = Min \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{H-L_s-l_s+1} c_{msj}\, x_{msjt} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{H-L_s-l_s+1} GS_{mj}\, y_{msjt} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{H-L_s-l_s+1} H_m IN_{mt} \quad (۱)$$

$$Z_2 = Max \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T} w_s\, x_{msjt} \quad (۲)$$

$$Z_3 = Min \sum_{t\acute{}=1}^{T} t\acute{}\,.\, xx_{It\acute{}} \quad (۳)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T} L_s x_{msjt} \le L_m \sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T} x_{msjt} \quad \forall m \quad (۴)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T} x_{msjt} \ge \sum_{i=1}^{I} R_{im} \quad \forall m \quad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T} x_{msjt} \le Ca_{ms} \quad \forall m, s \quad (۶)$$

$$v_{ms}\, y_{msjt} \le x_{msjt} \quad \forall m, s, j, t \quad (۷)$$

$$x_{msjt} \le \sum_{i=1}^{T} R_{im} y_{msjt} \quad \forall m, s, j, t \quad (۸)$$

$$R_{im} \le \sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T} x\rho_{msjit} \quad \forall m, i \quad (۹)$$

$$\sum_{j=1}^{J} y_{msjt} \le 1 \quad \forall m, s, t \quad (۱۰)$$

$$\acute{r} \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T} x_{msjt} \le \sum_{m=1}^{M}\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S} x_{m\acute{s}jt} \quad \forall \acute{s} \quad (۱۱)$$

$$\sum_{t\acute{}=1}^{T} xx_{it\acute{}} = 1 \quad \forall i \quad (۱۲)$$

$$\sum_{t\acute{}=1}^{H} t\acute{}\,.\, xx_{it\acute{}} \ge \sum_{t\acute{}=1}^{H} (u_i + t\acute{})\,.\, xx_{it\acute{}} + M(1 - P_{ii\acute{}}) \quad \forall i, i\acute{} \quad (۱۳)$$

$$\sum_{i=1}^{I} M.\rho_{msjit} \ge x_{msjt} \quad \forall m, s, j, t \quad (۱۴)$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S}\sum_{t=1}^{T} t.\rho_{msjit} + L_s + l_s \le \sum_{t\acute{}=1}^{T} t\acute{}\,.\, xx_{it\acute{}} \quad \forall i, m \quad (۱۵)$$

$$\rho_{msjit} \le x\rho_{msjit} \quad \forall m, s, j, i, t \quad (۱۶)$$

$$x_{msjt} = \sum_{i=1}^{I} x\rho_{msjit} \quad \forall m, s, j, i, t \quad (۱۷)$$

$$IN_{mt} = IN_{m,t-1} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{s=1}^{S} x_{msjt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M} R_{im} \sum_{t\acute{}=t-Du_i+1}^{T} xx_{it\acute{}} \quad \forall m, t > 2 \quad (۱۸)$$

$$IN_{m1} = 0 \quad \forall m \quad (۱۹)$$

$$x_{msjt} \ge 0,\quad x\rho_{msjt} \ge 0,\quad y_{msjt}, \rho_{msjit}, xx_{it\acute{}} = 0, 1 \quad \forall m, s, j, i, t, t\acute{} \quad (۲۰)$$

تابع هدف (۱) حداقل‌سازی هزینه‌های سفارش‌دهی، تابع هدف (۲) حداکثرسازی سفارش به تأمین‌کننده با وزن بیشتر و تابع هدف (۳) حداقل‌سازی زمان پروژه را نشان می‌دهد. محدودیت (۴) به این معنا است که مجموع زمان تحویل منابع (مواد اولیه) سفارش شده توسط تأمین‌کنندگان حداقل باید برابر با متوسط زمان تحویل منابع باشد. محدودیت (۵) بیان می‌کند مجموع مقدار سفارش‌ها باید حداقل به اندازه مجموع مقدار منابع موردنیاز برای فعالیت‌های پروژه باشد. محدودیت (۶) نشان می‌دهد مجموع سفارش‌ها حداکثر باید به‌اندازه حداکثر ظرفیت تأمین‌کننده باشد. محدودیت (۷) بیان می‌کند در صورت انتخاب یک تأمین‌کننده برای سفارش حداقل باید به اندازه

کمترین ظرفیت ممکن به آن تأمین‌کننده سفارش داده شود. محدودیت (۸) نشان می‌دهد در صورت سفارش به یک تأمین‌کننده میزان سفارش باید حداکثر به اندازه مقدار موردنیاز هر فعالیت پروژه در زمان نیاز باشد. محدودیت (۹) بیان می‌کند مقدار تخصیص یافته به هر فعالیت باید حداقل به‌اندازه مقدار موردنیاز از منبع باشد. محدودیت (۱۰) بیانگر آن است که در هر سطح قیمت برای هر تأمین‌کننده حداکثر یک‌بار می‌توان سفارش داد. محدودیت (۱۱) بیان می‌کند به‌اندازه $r_{s'}$ درصد از کل سفارش می‌تواند از تأمین‌کننده s خریداری شود. محدودیت (۱۲) بیان می‌کند هر فعالیت در هر دوره فقط یک‌بار می‌تواند انجام شود. محدودیت (۱۳) بیانگر پیش‌نیازی فعالیت‌ها است. طبق محدودیت (۱۴) درصورتی‌که سفارش انجام شود، مقدار سفارش باید دارای یک حد بالا باشد. طبق محدودیت (۱۵) منبع موردنیاز هر فعالیت باید قبل از شروع فعالیت دریافت شود. محدودیت (۱۶) بیانگر آن است که در صورت لزوم ب اجرای یک فعالیت حتما باید مقداری منبع برای آن سفارش داده شود. طبق محدودیت (۱۷) مجموع منابع تخصیص یافته به فعالیت‌ها با مقدار سفارش یافته به تأمین‌کننده برابر است. محدودیت (۱۸) بیانگر توازن بین مقدار سفارش شده منبع و مقدار موجود از هر منبع در زمان است. محدودیت (۱۹) بیان‌کننده موجودی صفر از هر منبع در ابتدای هر دوره است. محدودیت (۲۰) نیز به ترتیب مربوط به متغیرهای غیر منفی و صفر و یک مدل است.

۳- حل مدل

به‌منظور فهمیدن کاربرد مدل پیشنهادی، یک مثال عددی با اعدادی فرضی پیشنهادشده است. برای حل این مثال از نرم افزار گمز بر روی کامپیوتر شخصی با Intel® Core™ i5-3337U @ 1.80 GHz و حافظه 4 GB استفاده و برای حل مدل چند هدفه روش مجموع وزنی توابع در نظر گرفته شده است. ساختار این مثال آزمایشی به همراه جواب‌های به‌دست‌آمده در جداول ۱ تا ۴ آورده شده است.

جدول (۱): اطلاعات پروژه

فعالیت‌ها	طول فعالیت‌ها	پیش‌نیازها	میزان مورد نیاز از هر منبع برای هر فعالیت	
			منبع ۱	منبع ۲
۱	۰	-	۰	۰
۲	۲	۱	۹	۱۰
۳	۳	۱	۴	۶
۴	۱	۲	۲	۳
۵	۴	۴	۳	۲
۶	۲	۳ و ۴	۸	۹
۷	۰	۵ و ۶	۰	۰

جدول (۲): اطلاعات تأمین‌کنندگان

تأمین‌کنندگان	سطح قیمت	هزینه هرواحدمحصول		زمان تحویل تأمین‌کننده	تأخیرمجاز تأمین-کننده	وزن تأمین-کننده	درصد سفارش به هرتأمین-کننده	حداقل مقدار سفارش به هرتأمین‌کننده		حداکثرسفارش به هر تأمین‌کننده		هزینه ثابت سفارش دهی	
		منبع ۱	منبع ۲					منبع ۱	منبع ۲	منبع ۱	منبع ۲	منبع ۱	منبع ۲
	۱	۳	۹										
۱	۲	۵	۵	۱	۲	۰,۳	۰,۲	۲۰	۲۰	۲۰۰	۳۰۰	۱۰۰۰۰	۱۵۰۰۰
	۳	۵	۷										
	۱	۵	۵										
۲	۲	۳	۶	۲	۳	۰,۴	۰,۰۷	۱۰	۲۵	۱۰۰	۲۰۰	۲۰۰۰۰	۱۳۰۰۰
	۳	۹	۵										
	۱	۷	۳										
۳	۲	۵	۵	۳	۵	۰,۳	۰,۰۵	۱۵	۱۰	۳۰۰	۵۰۰	۱۰۰۰۰	۱۴۰۰۰
	۳	۵	۴										

۳-۱- ورودی‌های مثال عددی

در مثال عددی تعداد ۲ منبع در نظر گرفته شده است. متوسط زمان تحویل و هزینه نگهداری به ازای محصول ۱ به ترتیب ۲ واحد زمانی و ۸۰ واحد هزینه و به ازای محصول ۲، ۳ واحد زمانی و ۹۰ واحد هزینه درنظرگرفته شده است. افق زمانی مسئله ۳۰ روز است. پارامترهای مربوط به پروژه شامل طول انجام فعالیت‌ها، پیش‌نیازهای فعالیت‌ها و میزان موردنیاز از هر منبع برای هر محصول در جدول (۱) ارائه شده است. علاوه بر این پارامترهای مربوط به تأمین‌کنندگان شامل هزینه واحد هر محصول، زمان تحویل تأمین‌کننده، تأخیر مجاز تأمین‌کننده، وزن تأمین‌کننده، حداقل و حداکثر مقدار سفارش و هزینه ثابت سفارش به هر تأمین-کننده در جدول (۲) آورده شده است.

۳-۲- نتایج مثال عددی

پس از حل مدل مهم‌ترین نتایج حاصل در جداول ۳ و ۴ ارائه‌شده است. جدول ۳ تمام نتایج لازم جهت سفارش به تأمین‌کننده را نمایش می‌دهد. در این جدول نوع منبع موردنیاز، زمان بهینه سفارش، سطح تخفیف بهینه که سفارش در آن باید انجام شود و درنهایت مقدار سفارش آورده شده است.

جدول (۳): تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان

منبع	تأمین‌کننده	زمان سفارش	سطح قیمت	مقدار سفارش
۱	۱	۲۰	۱	۲۰
	۲	۱۴	۲	۱۴
۲	۱	۲۰	۳	۲۰
	۳	۱۵	۲	۱۰

جدول ۴ بیانگر تمام اطلاعات مربوط به فعالیت‌های پروژه است. در این جدول زمان شروع فعالیت‌ها، نوع منبع موردنیاز برای هر فعالیت و مقدار منبع دریافت شده برای هر فعالیت ارائه شده است. مجموع مقادیر دریافت شده برای هر فعالیت در جدول ۴ برابر با مقدار کل سفارش داده شده به تأمین‌کننده در جدول ۳ است. زمان شروع فعالیت‌ها در جدول ۴ همان‌گونه که انتظار می‌رود پس از دریافت منبع مورد نیاز در جدول ۳ است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله مسئله زمان‌بندی فعالیت‌های پروژه و سفارش دهی منابع مصرفی هم‌زمان و یکپارچه به‌صورت خرید از چند تأمین‌کننده با درجه اهمیت‌های متفاوت و از پیش تعیین شده در نظر گرفته شده است. به‌منظور کاهش هزینه‌های پروژه، کاهش زمان انجام پروژه و افزایش سفارش به تأمین‌کننده با درجه اهمیت بیشتر به بررسی سیاست‌های سفارش دهی، زمان‌بندی بهینه، میزان سفارش و مدیریت موجودی در تمام دوره‌های زمانی افق برنامه‌ریزی پرداخته شده است. برای حل مدل از یک مثال عددی استفاده و نتایج به‌دست‌آمده ارائه شده است. با در نظر گرفتن برنامه‌ریزی تدارکات و زمان‌بندی پروژه به صورت هم‌زمان تمام منابع مورد نیاز فعالیت‌ها در زمان نیاز در دسترس بوده و از تأخیر فعالیت‌ها و در نتیجه اتلاف زمان و هزینه‌های احتمالی جلوگیری می‌شود. برای مطالعه آتی به منظور در نظر گرفتن تأثیر معیارهای مختلف در درجه اهمیت تأمین‌کنندگان می‌توان از روش‌های رتبه‌بندی استفاده و تأثیر آن را در مسئله بررسی نمود. در نظر گرفتن مدل‌های مختلف تخفیف، هزینه‌های جریمه و تشویق برای اتمام پروژه پیش یا پس از زمان اختتام پروژه، رویکردهای مختلف حل توابع چند هدفه و عدم قطعیت نیز برای توسعه مدل پیشنهاد می‌شود.

جدول(۴): نتایج مربوط به فعالیت‌های پروژه

فعالیت	۱					۲					۳					۴					۵					۶					۷				
منبع	۱			۲		۱			۲		۱			۲		۱			۲		۱			۲		۱			۲		۱			۲	
تأمین‌کننده	۱	۲		۳		۱	۲		۳		۱	۲		۳		۱	۲		۳		۱	۲		۳		۱	۲		۳		۱	۲		۳	
سطح قیمت	۱	۲	۲	۳		۱	۲	۲	۳		۱	۲	۲	۳		۱	۲	۲	۳		۱	۲	۲	۳		۱	۲	۲	۳		۱	۲	۲	۳	
مقدار منبع دریافتی	۱	۱	۱	۱		۲	۸	۱	۸		۵	۱	۳	۱		۲	۱	۲	۱		۱	۱	۲	۱		۸	۱	۱	۷		۱	۱	۱	۱	
زمان شروع فعالیت	۲۳					۲۳					۲۳					۲۵					۲۶					۲۶					۳۰				
مقدار تابع هدف درحالت مجموع وزنی	۸۲۹۴																																	
مقادیر توابع هدف به صورت مجزا	Z_1					Z_2					Z_3																								
	۱۷۴۹۸					۱۸۰۸۰					۱۶																								

۵- مراجع

[1]Vahid Sabbagh & Mojtaba Salehi.(2017). Modeling and Solving Resource constraints project scheduling problem and material ordering for buying or producing. International Jornal of Industrial Engineering & Production Management.pp.317-329.

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

[3] Smith-Daniels, D. E., & Aquilano, N. J. (1984). Constrained resource project scheduling subject to material constraints. *Journal of Operations Management*, *4*(4), 369-387.

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

[5] Smith-Daniels, D. E., & Smith-Daniels, V. L. (1987). Maximizing the net present value of a project subject to materials and capital constraints. *Journal of Operations Management*, *7*(1-2), 33-45.

[6] Erbasi, A. and Sepil, C., 1999. A modified heuristic procedure for materials management in project networks. International Journal of Industrial Engineering-Theory, 6(2), p. 132-140.

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

[8] Schmitt, T. & Faaland, B., 2004. Schedulingrecurrent construction. Naval Research Logistics, 51(8), p.1102-1128.

[9] Sajadieh, M., Shadrokh, S. & Hassanzadeh,F. (2009). Concurrent project scheduling and material planning: A genetic algorithm approach. ScientiaIranica. 16(1), pp. 93-107.

[10] 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.

[11] Fu, F., 2014. Integrated scheduling and batch ordering for construction project. Applied Mathematical Modelling, 38(2), p. 784-797.

[12] Dixit, V., Srivastava, R. K., & Chaudhuri, A. (2014). Procurement scheduling for complex projects with fuzzy activity durations and lead times. *Computers & Industrial Engineering*, *76*, 401-414.

[13] 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.

[14] Tabrizi, B. H. (2018). Integrated planning of project scheduling and material procurement considering the environmental impacts. *Computers & Industrial Engineering*, *120*, 103-115.

[15] Çebi, F., & Otay, İ. (2016). A two-stage fuzzy approach for supplier evaluation and order allocation problem with quantity discounts and lead time. *Information Sciences*, *339*, 143-157.

[16] Mika, M., Waligóra, G., & Węglarz, J. (2005). Simulated annealing and tabu search for multi-mode resource-constrained project scheduling with positive discounted cash flows and different payment models. *European Journal of Operational Research*, *164*(3), 639-6.