پژوهش‌های نوین در تصمیم‌گیری
دوره ۵، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صص ۲۱-۴۷

ارائه مدل انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش و توسعه الگوریتم سه بعدی فوردیس-وبستر با در نظر گرفتن کمبود (مطالعه موردی: شرکت تولیدکننده کلیدهای برق فشار قوی)

سحر ابوذری[۱]، نسیم نهاوندی[۲*]

۱- کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- دانشیار مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

تاریخ ارسال: ۱۴ / ۲ / ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۲۹ / ۰۱ / ۱۳۹۹

چکیده

هزینه‌های تأمین مواد اولیه بیشتر از ۶۰ درصد قیمت تمام‌شده یک محصول را در یک سازمان تشکیل می‌دهد. به همین جهت نحوه برنامه‌ریزی تأمین مواد اولیه از اهمیت قابل ملاحظه‌ای در کاهش هزینه‌های تمام‌شده، برخوردار است. مدیریت تأمین‌کنندگان یکی از بخش‌های مهم در مدیریت زنجیره تأمین است. بسیاری از شرکت‌ها مقدار قابل توجهی از درآمد خود را صرف خرید از تأمین‌کنندگان می‌کنند. از این رو انتخاب تأمین‌کننده یکی از وظایف مهم در مدیریت خرید است. هدف این تحقیق ارائه یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظر گرفتن کمبود و همچنین حل مدل با استفاده از الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر می‌باشد. در این تحقیق برای اولین بار هزینه کمبود تا حداکثر ۱ دوره، به الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر اضافه شده است. به منظور سنجش کارایی مدل پیشنهادی، داده‌های یک شرکت تولیدکننده کلیدهای برق فشار قوی و داده‌های دو مثال دیگر بر روی مدل ارائه‌شده اعمال شده و مدل از نظر "تغییر نسبت هزینه نگهداری و هزینه کمبود" و "تعداد تأمین‌کنندگان و تعداد دوره‌ها" مورد بررسی قرار گرفته است. در آخر هم جهت حل مدل، هزینه کمبود تا حداکثر ۱ دوره، به الگوریتم سه بعدی فوردیس-وبستر اضافه شده است.

واژه های کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده؛ تخصیص سفارش؛ برنامه‌ریزی موجودی؛ الگوریتم سه بعدی فوردیس-وبستر ؛ کمبود.

---

* نویسندهٔ مسؤول مقاله E-mail: n_nahavandi@modares.ac.ir

۱- مقدمه

مسئله انتخاب تأمین‌کننده[1] را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. نوع اول حالتی است که همه تأمین‌کنندگان توانایی تأمین کامل نیازهای کمی و کیفی سازمان از جمله کیفیت مورد نظر، ظرفیت تولید کل مقادیر مورد نظر، تحویل و غیره را دارا بوده و در نتیجه تنها یکی از تأمین-کنندگان که از هر جهت بهترین می‌باشد انتخاب می‌شود. این مسئله را اصطلاحا تک منبعی می-گویند. از آنجایی که این شرایط در عمل به ندرت پیش می‌آید، حالت معمول‌تر زمانی است که هیچ یک از تأمین‌کنندگان از هر نظر بر تأمین‌کنندگان دیگر برتری نداشته باشد و محدودیت-هایی در ظرفیت تأمین‌کنندگان(در زمینه‌های تقاضا، کیفیت و تحویل) وجود دارد و به بیان دیگر یک تأمین‌کننده منفرد ممکن است نتواند کلیه نیازهای کیفی و کمی خریدار را برآورده کند. بنابراین خریدار نیاز دارد که مقداری را از یک تأمین‌کننده و مقدار دیگر را از تأمین‌کننده دیگر تهیه کند [۱، ص٤]. سیاست چند منبعی، یک روش مفید برای تضمین قابلیت اطمینان جریان عرضه سازمان خریدار است[۲، ص٣٥٢٤]. در بسیاری از موارد، سازمان‌ها برای تداوم تأمین خود، بیش از یک تأمین‌کننده را انتخاب می‌کنند. آن‌ها همچنین می‌توانند در طی دوره‌های زمانی، قیمت و خدمات تأمین‌کنندگان مختلف را با یکدیگر مقایسه کنند. در تحقیق حاضر، حالت چند منبعی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- پیشینه تحقیق

اهمیت روزافزون انتخاب تأمین‌کننده مناسب به عنوان یک تصمیم مهم در مدیریت زنجیره تأمین، سازمان‌ها را در صنایع مختلف به استفاده از مدل‌های سیستماتیک برای انتخاب تأمین-کنندگان و تخصیص سفارش به آن‌ها سوق می‌دهد. هو و سو یک سیستم پشتیبانی از تصمیم مبتنی بر روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[2] را برای انتخاب تأمین‌کننده به کار گرفته‌اند که در آن، عوامل با توجه به اثرات داخلی وخارجی برای برآورده کردن نیازهای بازار تعیین شده است [۳، ص٥٤]. یو و همکاران روش بهینه‌سازی چند معیاره و راه حل سازشی[3] را در محیط اطلاعاتی ناقص و نامطمئن برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده در بیمارستان و شرکت نساجی استفاده کرده‌اند که نتایج آن‌ها نشان داد روش فوق برای بررسی مسئله انتخاب تأمین‌کننده در

محیط اطلاعاتی مبهم و ناقص مناسب و مؤثر است [٤، ص١٩٠٦]. مقدم یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه[٤] برای انتخاب مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان و تخصیص سفارش به آن‌ها ارائه کرده است که توابع هدف شامل: سود کل، کل قطعات معیوب، کل قطعات دارای تأخیر و عوامل خطر اقتصادی مرتبط با تأمین‌کنندگان کاندید می‌باشد [٥، ص٦٢٣٧]. بیک خاخیان و همکاران یک رویکرد ترکیبی فازی[٥]، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و اولویت بندی بر اساس شباهت با راه حل ایده‌آل[٦] به منظور ارزیابی معیارهای انتخاب تأمین‌کننده و رتبه بندی تأمین‌کنندگان ارائه کردند [٦، ص٦٢٢٤]. آن‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی، وزن معیارهای سنجش تأمین‌کنندگان را تعیین کرده و ورودی مدل تاپسیس قرار داده‌اند. مقری و همکاران یک مدل برنامه‌ریزی خطی[٧] برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه داده‌اند که مقدار بهینه سفارش با حداقل کردن هزینه‌های خرید و نگهداری را به دست می‌آورد [٧، ص٣١٩]. کار با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، نظریه مجموعه فازی[٨] و شبکه‌های عصبی مصنوعی[٩] به حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده در یک شرکت تولید فولاد پرداخته است [٨، ص٢٣]. آموریم وهمکاران یک مدل خطی مختلط عدد صحیح برای انتخاب تأمین‌کننده در صنایع غذایی ارائه داده‌اند [٩، ص٨٠١]. لوترا و همکاران با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و و بهینه‌سازی چند معیاره و راه حل سازشی به حل مسئله انتخاب تأمین‌کننده در شرکت خودروسازی پرداخته‌اند [١٠، ص١٦٨٦]. میرزایی و همکاران مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش را در حالت چند دوره، چند محصول، چند تأمین‌کننده و چند هدف با در نظر گرفتن تخفیف و محدودیت بودجه برای خریداران و تأمین‌کنندگان مورد بررسی قرار داده اند[١١، ص٢٩٢]. آن‌ها یک مدل خطی عدد صحیح مختلط که شامل هزینه موجودی کل و ارزش خرید است، ارائه داده‌اند. گویندان و همکاران مسئله انتخاب تأمین‌کننده را در سه مرحله با استفاده از روش‌های دلفی فازی[١٠]، دیمتل[١١]، فرآیند تحلیل شبکه‌ای[١٢] و سازماندهی به رتبه بندی ترجیحی جهت ارزیابی بهتر[١٣] حل کرده‌اند [١٢، ص٣٥٣]. مهدوی مزده و همکاران مسئله اندازه موجودی[١٤] همراه با انتخاب تأمین‌کننده را با الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر[١٥] حل کردند [١٣، ص٣٣]. هدف این مسئله این است که کدام تأمین‌کنندگان انتخاب و به هر کدام چه مقدار سفارش داده شود تا هزینه کل مینیمم گردد. جدول ١ مطالعات انجام‌گرفته در حوزه انتخاب تأمین‌کننده را نشان می‌دهد.

جدول۱. مطالعات انجام گرفته در حوزه انتخاب تأمین‌کننده

روش‌های انتخاب تأمین-کننده	محققها
ریاضی	هو وسو[۳]، یو وهمکاران[٤]، مقدم[٥]، مقری و همکاران[۷]، آموریم وهمکاران[۹]، میرزایی و همکاران[۱۱]، مهدوی مزده و همکاران[۱۳]، بابایی و همکاران[١٤]، باقرزاده آذر و دری[١٥]
آماری	بوتانی و ریزی[١٦]، شیل[۱۷]، صادقی مقدم و همکاران[۱۸]
هوش مصنوعی	یانگ و همکاران[۱۹]، چانگ و هانگ[۲۰]، تقوی فرد و همکاران[۲۱]
ترکیبی	بیک خاخیان و همکاران[٦]، کار[۸]، لوترا و همکاران[۱۰]، گویندان و همکاران[۱۲]، الفت و اسماعیلی[۲۲]

تحقیق حاضر با استفاده از روش پیشنهادی به این سوال پاسخ می‌دهد: در هر دوره کدام تأمین‌کنندگان انتخاب و به هر کدام چه مقدار سفارش داده شود تا هزینه کل مینیمم گردد؟

۳- روش تحقیق

جهت پاسخ به سوال تحقیق یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظر گرفتن کمبود ارائه و جهت حل مدل از الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر که توسط مهدوی مزده و همکاران ارائه شده استفاده می‌شود [۱۳]. الگوریتم ارائه‌شده توسط مهدوی مزده و همکاران کمبود را در نظر نمی‌گیرد [۱۳، ص۳۷]. در پژوهش فوق هزینه کمبود تا حداکثر ۱ دوره، به الگوریتم آنها اضافه شده است.

۴- مدلسازی مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش

در این مرحله برای تخصیص سفارش به هر تأمین‌کننده ، مدل ریاضی خطی عدد صحیح ارائه می‌شود. هدف این مدل، پیدا کردن مقدار محصولی است که باید در هر دوره و به هر تأمین-کننده سفارش داده شود به طوری که هزینه کل حداقل شود.

۴-۱- مفروضات، پارامترها و متغیرها

قبل از ارائه مدل به توصیف مفروضات، پارامترها و متغیرها پرداخته شده است.

مفروضات در نظر گرفته شده به صورت زیر است:

۱. تنها یک محصول در نظر گرفته می‌شود.

۲. افق زمانی محدود و شامل T دوره گسسته است.

۳. تقاضا از دوره‌ای به دوره‌ی دیگر متفاوت و قطعی است.

٤. کمبود تعریف‌شده در مدل موجب فروش از دست رفته نمی‌شود، بلکه پست افت ایجاد می‌کند.

۵. هزینه‌های نگهداری ممکن است از دوره‌ای به دوره دیگر متفاوت باشد. مستقل از تأمین-کنندگان است و این هزینه بر موجودی آخر دوره متحمل می‌شود.

٦. زمان سفارش تا تحویل قطعی و برای تمام دوره‌ها یکسان و صفر در نظر گرفته شده است.

۷. فرض می‌شود که موجودی اولیه در دوره اول و موجودی در پایان آخرین دوره صفر است.

۸. ظرفیت تأمین‌کنندگان نامحدود.

۹. قیمت خرید واحد ممکن است از تأمین‌کننده‌ای به تأمین‌کننده دیگر متفاوت باشد.

۱۰. تخفیف در نظر گرفته نمی‌شود.

در جدول زیر پارامترهای به کار رفته، قابل مشاهده است.

جدول ۲ . پارامترهای به کار رفته در مدل

h_i	هزینه نگهداری یک واحد محصول در دوره i؛
$\sum_{i=j}^{k-1} h_i$	هزینه نگهداری یک واحد محصول که در دوره j برای تقاضای دوره k تأمین شود، $k > j$؛
b_i	هزینه کمبود یک واحد محصول در دوره i؛
$\sum_{i=j}^{k-1} b_i$	هزینه کمبود یک واحد محصول که در دوره k برای تقاضای دوره j تأمین شود، $k > j$؛
N	تعداد دوره‌ها؛
d_j	تقاضای دوره j؛
c_{si}	هزینه ثابت سفارش از تأمین‌کننده s در دوره i؛
u_{si}	هزینه خرید یک واحد محصول از تأمین‌کننده s در دوره i؛
G	عدد بزرگ $\geq d_1+d_2+\ldots+d_N$.

سحر ابوذری و همکار ـــ

جدول ۳ هم متغیرهای به کار رفته در مدل را نشان می‌دهد.

جدول ۳. متغیرهای به کار رفته در مدل

x_{sij}	تعداد واحد خریداری‌شده در دوره i از تأمین‌کننده s برای تقاضای دوره j؛
y_{si}	برابر یک است اگر $x_{sij} > 0$. برابرصفر است اگر $x_{sij} = 0$؛
Z	مجموع هزینه‌ها.

۴-۲- تابع هدف

هدف این مسئله، پیدا کردن مقدار محصولی است که باید در هر دوره به هر تأمین‌کننده سفارش داده شود به طوری که هزینه کل حداقل شود. در این مرحله یک مدل خطی عدد صحیح ارائه شده است. این مدل بر اساس مدل ریاضی ارائه‌شده توسط گروال است [۲۳، ص۳۸]. گروال مدلی برای مسئله اندازه موجودی، با در نظر گرفتن هزینه‌های ثابت ارائه کرده است [۲۳، ص۳۸]. در پژوهش فوق مسئله انتخاب تأمین‌کننده همراه با هزینه خرید به مدل او اضافه شده است.

$$\begin{aligned} Min\, Z = \Big\{ & \sum_{s=1}^{S} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=2}^{N} \sum_{i=j}^{k-1} h_i x_{sjk} + \\ & \sum_{s=1}^{S} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=2}^{N} \sum_{i=j}^{k-1} b_i x_{skj} + \\ & \sum_{s=1}^{S} \sum_{i=1}^{N} c_{si} y_{si} + \\ & \sum_{s=1}^{S} \sum_{j=1}^{N} \sum_{i=1}^{N} x_{sij} u_{si} \Big\} \end{aligned} \qquad (۱)$$

قسمت اول تابع هدف هزینه کل نگهداری، قسمت دوم تابع هدف هزینه کل کمبود، قسمت سوم تابع هدف هزینه کل ثابت سفارش و قسمت آخر تابع هدف هزینه کل خرید را نشان می‌دهد.

۴-۳- محدودیت‌ها

$$\sum_{j=1}^{N} x_{sij} \le G y_{si} \qquad \forall s, i \qquad (۲)$$

$$\sum_{s=1}^{S} \sum_{i=1}^{N} x_{sij} = d_j \qquad \forall j \qquad (۳)$$

$$x_{sij} \ge 0 \qquad \forall i, j, s \qquad (٤)$$

$$y_{si} = 0 \text{ or } 1 \qquad \forall s, i \qquad (٥)$$

محدودیت (۲) مشخص می‌کند که سفارش در دوره i توسط تأمین‌کننده s انجام شود. محدودیت (۳) تحقق تقاضای هر دوره را اعمال می‌کند. محدودیت (٤) و (٥) محدودیت‌های مدل ریاضی عدد صحیح را نشان می‌دهد.

۵- حل مدل با استفاده از روش دقیق

در حال حاضر تأمین کالای مورد نظر شرکت تولیدکننده کلیدهای برق فشار قوی توسط یک تأمین‌کننده انجام می‌شود اما شرکت تمایل دارد با دو تأمین‌کننده همکاری نماید. جدول ٤ مقادیر پارامترها را در شرکت تولیدکننده کلیدهای برق فشار قوی نشان می‌دهد. دو شرکت فرآیند رشد و ایران پالاد تأمین‌کنندگان کالای مورد نظر(گیربکس) برای شرکت هستند. این مسئله در نرم افزار گمز مدلسازی شده و جواب‌های بهینه مطابق جدول ٥ به دست آمده است. از آنجایی که x_{sij} تعداد واحد خریداری‌شده در دوره i از تأمین‌کننده s برای تقاضای دوره j را نشان می‌دهد، بنابراین طبق جدول ٥ تقاضای دوره‌های ۱ و ۲ و ۳ باید در دوره ۱ و توسط فرآیند رشد تأمین شود. همچنین تقاضای دوره ٤ باید در دوره ٤ و توسط ایران پالاد و تقاضای دوره ٥ باید در دوره ٥ و توسط فرآیند رشد تأمین شود. مقادیر $y_{(1,1)}$ و $y_{(2,4)}$ و $y_{(1,5)}$ برابر با ۱ است که نشان می‌دهد تقاضاها باید در دوره‌های ۱ و ٤ و ٥ تأمین شود. حداقل هزینه یا مقدار بهینه تابع هدف هم برابر ٦٢١٦٠٤٥٠٠ است. زمان حل مسئله هم برابر ۰/۰۳۳ ثانیه است.

جدول ۴. مقادیر پارامترها در شرکت

دوره (ماه)	D_t (عدد)	h_t (تومان)	b_t (تومان)	C_{1t} (تومان) فرآیند رشد	C_{2t} (تومان) ایران پالاد	u_{1t} (تومان) فرآیند رشد	u_{2t} (تومان) ایران پالاد
۱	۱۰۰	٥٥۰۰	۲۷۰۰	۲۲۰۰۰	۲۳۰۰۰	۱۱۰۰۰۰۰	۱۱۱۲۰۰۰
۲	۱۲۰	٥٦۰۰	۲۸۰۰	۲۱۰۰۰	۲۲۰۰۰	۱۱۱۲۰۰۰	۱۱۱۲۰۰۰
۳	۱۱٥	٥۷۰۰	۲۸۰۰	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰۰	۱۱۱٥۰۰۰	۱۱۱٤۰۰۰
٤	۱۰۰	٦۰۰۰	۳۰۰۰	۲۳۰۰۰	۲۲۰۰۰	۱۱۱٦۰۰۰	۱۱۱٦۰۰۰
٥	۱۲٥	٥۹۰۰	۲۹۰۰	۲٤۰۰۰	۲٤۰۰۰	۱۱۱٦۰۰۰	۱۱۱۷۰۰۰

جدول ۵. مقادیر متغیرها و مقدار بهینه تابع هدف در شرکت پس از حل مدل با روش دقیق

مقدار	متغیر
۱۰۰	$X_{(1,1,1)}$
۱۲۰	$X_{(1,1,2)}$
۱۱۵	$X_{(1,1,3)}$
۱۰۰	$X_{(2,4,4)}$
۱۲۵	$X_{(1,5,5)}$
۱	$y_{(1,1)}$
۱	$y_{(1,5)}$
۱	$y_{(2,4)}$
٦٢١٦٠٤٥٠٠	z

۶- اعتبارسنجی مدل پیشنهادی

به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مدل از نظر "تغییر نسبت هزینه نگهداری وهزینه کمبود" و "تعداد تأمین‌کنندگان و تعداد دوره‌ها" مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین مثال‌های عددی از مسئله تخصیص سفارش با استفاده از مدل پیشنهادی ارائه می‌شود.

۶-۱- بررسی تغییر نسبت هزینه نگهداری و هزینه کمبود

با توجه به تأثیر مستقیم هزینه نگهداری و کمبود موجودی در تابع هدف، مقدار نسبی این پارامترها تغییر نموده‌اند. همانطور که در جدول ٦ مشاهده میشود با افزایش هزینه نگهداری و کاهش هزینه کمبود، مجموع موجودی‌ها در پایان دوره‌ها کاهش می‌یابد. این موضوع قابل پیش‌بینی بوده است؛ بدین معنا که با افزایش هزینه نگهداری نسبت به هزینه کمبود، رخداد تأخیر نسبت به نگهداری موجودی اضافی مقرون به صرفه‌تر خواهد بود. از این رو سفارش-دهی به گونه‌ای انجام می‌شود که موجودی انبار در انتهای دوره به حداقل برسد. همچنین با افزایش هزینه نگهداری و کاهش هزینه کمبود، مقدار تابع هدف افزایش می‌یابد.

جدول ۶. اثر تغییر نسبت هزینه نگهداری به هزینه کمبود بر مجموع موجودی انتهای دوره‌ها و تابع هدف

مقدار تابع هدف	مجموع موجودی انتهای دوره‌ها	هزینه کمبود	هزینه نگهداری
٦١٦٠٢٢٠٠٠	٤٦٠	٦٠٠٠	٠
٦٢٠١٦٢٠٠٠	٤٦٠	٥٠٠٠	٣٦٠٠
٦٢١٠٣٦٠٠٠	٣٣٥	٤٠٠٠	٤٦٠٠
٦٢١٣٦١٠٠٠	٣٣٥	٣٥٠٠	٥١٠٠
٦٢١٦٢٨٠٠٠	٢٣٥	٣٠٠٠	٥٦٠٠
٦٢١٦٧٧٠٠٠	٢٣٥	٢٨٤٠	٥٧٤٠
٦٢١٧٣٣٠٠٠	٢٣٥	٢٦٨٠	٥٩٠٠
٦٢١٩٠٨٠٠٠	٢٣٥	٢١٨٠	٦٤٠٠
٦٢٢٠٨٣٠٠٠	٢٣٥	١٦٨٠	٦٩٠٠
٦٢٢٢٤٦٠٠٠	١٢٠	٦٨٠	٧٩٠٠
٦٢٢٢٩٦٠٠٠	١٢٠	٠	٨٥٠٠

۶-۲- بررسی تعداد تأمین‌کنندگان و تعداد دوره‌ها

به منظور بررسی عملکرد مدل از نظر تعداد تأمین‌کنندگان و تعداد دوره‌ها، مطابق جدول ۷ مدل پیشنهادی با اندازه‌های متفاوت حل شده است. ستون اول و دوم جدول اندازه مسئله را نشان می‌دهد(تعداد تأمین‌کننده و دوره). ستون سوم زمان حل مسئله را با استفاده از روش شاخه و برش نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که مدل تا ٤ تأمین‌کننده و ۱۰ دوره هم قابل حل است.

جدول ۷. حل مدل در اندازه‌های متفاوت

زمان حل(ثانیه)	تعداد دوره	تعداد تأمین‌کننده
۰/۰٤۹	٥	۲
۰/۰۹۹	۱۰	
۰/۱۲۱	٥	۳
۰/۱۲	۱۰	
۰/۱۲۱	٥	٤
۰/۱۸۸	۱۰	

۶-۳- مثال‌های عددی از مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با استفاده از مدل پیشنهادی

به منظور بررسی اعتبارسنجی، ۲ مثال عددی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مثال ۱، مدل پیشنهادی با مدل ارائه‌شده توسط مقری و همکاران مقایسه می‌شود [۷، ص۳۲۲]. آن‌ها یک مدل ریاضی خطی ارائه داده‌اند که هزینه‌های نگهداری، ثابت سفارش و خرید را مینیمم می‌کند. به دلیل آنکه آن‌ها کمبود را در مدل خود در نظر نگرفته‌اند، در مدل پیشنهادی مقدار هزینه کمبود بسیار زیاد در نظر گرفته شده است. در مقاله مقری و همکاران انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش برای ۲ تأمین‌کننده و ٤ دوره در نظر گرفته شده است [۷، ص۳۲۵]. در مثال ۲ هم یک خریدار به دنبال تهیه برنامه سفارش موجودی خود برای برآورده‌سازی تقاضا در افق ٥ دوره‌ای می‌باشد. برای تأمین تقاضای موجود، ۲ تأمین‌کننده وجود دارد. جدول ۸ مقادیر پارامترها را در دو مثال نشان می‌دهد. پس از حل مدل در نرم افزار گمز همانطور که جدول۹ نشان می‌دهد، مقدار بهینه تابع هدف در مثال ۱ برابر ٤٥٥ و سیاست سفارش بهینه به این صورت است که تقاضای دوره ۱ در دوره ۱ و توسط تأمین‌کننده ۱ تأمین شود. همچنین تقاضای دوره‌های ۲ و ۳ و ٤ در دوره ۲ و توسط تأمین‌کننده ۲ تأمین شود. مشاهده می‌شود که نتیجه همان است که توسط مدل مقری و همکاران بدست آمده است [۷، ص۳۲۷]. زمان حل مسئله در مثال ۱ هم برابر ۰/۱٦٥ ثانیه است. همچنین مقدار بهینه تابع هدف در مثال ۲ برابر ۱۹۳۰ و سیاست سفارش بهینه به این صورت است که تقاضای دوره ۱ در دوره ۱ و توسط تأمین‌کننده ۲ تأمین، تقاضای دوره ۲ در دوره ۲ و توسط تأمین‌کننده ۲، تقاضای دوره‌های ۳ و ٤ در دوره ٤ و توسط تأمین‌کننده ۲ و تقاضای دوره ٥ در دوره ٥ و توسط تأمین‌کننده ۲ تأمین - شود. زمان حل مسئله در مثال ۲ هم برابر ۰/۲۲ ثانیه است.

جدول ۸. مقادیر پارامترها در مثال‌های عددی

مثال ۱								مثال ۲							
دوره	D_t	h_t	b_t	C_{1t}	C_{2t}	u_{1t}	u_{2t}	دوره	D_t	h_t	b_t	C_{1t}	C_{2t}	u_{1t}	u_{2t}
۱	۳۰	۱	۱۰۰۰	٥۰	۷۰	۲	۲/٥	۱	۲٥	٥	۱	۷۰	٥۰	۸	٦
۲	۳٥	۱	۱۰۰۰	٤٥	۷٥	۲/٥	۲	۲	٤٥	۸	۲	٥۰	٦٥	۸	۷
۳	٤۰	۱	۱۰۰۰	٦۰	۸۰	۳	۲/٥	۳	٤۰	٦	۱	٦٥	۷٥	۷/٥	۸
٤	۲۰	۱	۱۰۰۰	٦۰	۸۰	۳	۲	٤	٦۰	۷	۱	۷٥	۸۰	۸	۷/٥
								٥	٥۰	۸	۲	۸۰	۸۰	۹	۸

جدول ۹ . مقادیر متغیرها و مقدار بهینه تابع هدف در مثال‌های عددی پس از حل مدل با روش دقیق

مثال ۱		مثال ۲	
مقدار	متغیر	مقدار	متغیر
۳۰	$X_{(1,1,1)}$	۲۵	$X_{(2,1,1)}$
۳۵	$X_{(2,2,2)}$	٤٥	$X_{(2,2,2)}$
٤٠	$X_{(2,2,3)}$	٤٠	$X_{(2,4,3)}$
۲٠	$X_{(2,2,4)}$	٦٠	$X_{(2,4,4)}$
۱	$y_{(1,1)}$	٥٠	$X_{(2,5,5)}$
۱	$y_{(2,2)}$	۱	$y_{(2,1)}$
٤٥٥	Z	۱	$y_{(2,2)}$
		۱	$y_{(2,4)}$
		۱	$y_{(2,5)}$
		۱۹۳٠	z

۷- حل مدل انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با استفاده از الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر با در نظر گرفتن کمبود

در این بخش با کمک الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر که توسط مهدوی مزده و همکاران ارائه شده، مشخص می‌شود که به هر تأمین‌کننده چقدر باید سفارش داده شود [۱۳]. در روش آن‌ها هزینه کمبود در نظر گرفته نشده است. در تحقیق فوق هزینه کمبود تا حداکثر ۱ دوره به الگوریتم فوق اضافه شده است و مسأله برای دو تأمین‌کننده مورد بررسی قرار می‌گیرد. جدول ۱۰ شاخص‌ها و پارامترهای مورد استفاده در این روش را نشان می‌دهد.

جدول ۱۰ . شاخص‌ها و پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر با در نظر گرفتن کمبود

i	شاخص دوره تأمین، $i = 1,\ldots,T$؛
j	شاخص دوره مصرف، $j = 1,\ldots,T$؛
s	شاخص تأمین‌کننده، $s = 1,2$؛
t	شاخص دوره زمانی، $t = 1,\ldots,T$؛

D_t	تقاضا برای محصول در دوره t؛
h_t	هزینه نگهداری هر واحد محصول در دوره t؛
b_t	هزینه کمبود هر واحد محصول در دوره t؛
C_{st}	هزینه ثابت سفارش از تأمین‌کننده s در دوره t؛
u_{st}	هزینه خرید هر واحد محصول از تأمین‌کننده s در دوره t؛
H_{sij}	کل هزینه نگهداری تقاضای دوره j که در دوره i و از تأمین‌کننده s تأمین شده است؛
B_{sij}	کل هزینه کمبود تقاضای دوره j که در دوره i و از تأمین‌کننده s تأمین شده است؛
U_{sij}	کل هزینه خرید تقاضای دوره i تا j که در دوره i و از تأمین‌کننده s تأمین شده است؛
A_{sij}	مجموع هزینه‌های ثابت سفارش و نگهداری تقاضای دوره j که در دوره i و از تأمین‌کننده s تأمین شده است؛
M_{sij}	هزینه‌های تجمعی متحمل شده زمانی که تقاضای دوره‌های i تا j در دوره i و از تأمین‌کننده s تأمین شود.

قابل ذکر است که این روش از یک سری ماتریس برای حل استفاده می‌کند. به گونه‌ای که سطرهای ماتریس نشان‌دهنده دوره‌های تأمین و ستون‌های آن بیانگر دوره‌های مصرف می‌باشد. الگوریتم حل به صورت زیر می‌باشد:

گام ۱: هزینه های سفارش‌دهی را در قطر ماتریس مربوطه یادداشت نمایید:

$$C_{sij} = \begin{cases} 0 & \text{if} \quad i < j \\ C_{si} & \text{if} \quad i = j \\ 0 & \text{if} \quad i = j+1 \end{cases} \tag{٦}$$

گام ۲: ماتریس هزینه نگهداری را تشکیل دهید:

$$H_{sij} = \begin{cases} \sum_{t=i}^{j-1} h_t D_j & \text{if} \quad i < j \\ 0 & \text{if} \quad i = j \\ 0 & \text{if} \quad i = j+1 \end{cases} \tag{٧}$$

گام ۳: ماتریس هزینه کمبود را تشکیل دهید. خانه‌های این ماتریس نشان دهنده هزینه کمبود تقاضای دوره j است که در دوره i تأمین شده است. هزینه کمبود به صورت زیر بدست می‌آید:

$$B_{sij}=\begin{cases} D_j b_j & \text{if} \quad i=j+1 \\ 0 & \text{if} \quad i\le j \end{cases} \qquad (۸)$$

گام ٤: ماتریس هزینه خرید را به صورت زیر تشکیل دهید:

$$U_{sij}=\begin{cases} \sum_{t=i}^{j} D_t u_{si} & \text{if} \quad i\le j \\ D_j u_{si} & \text{if} \quad i=j+1 \end{cases} \qquad (۹)$$

برای $i\le j$ هزینه خرید تقاضای دوره‌های i تا j که در دوره i از تأمین‌کننده s تأمین می‌شود، بدست می‌آید. برای $i=j+1$ هزینه خرید تقاضای دوره j که در دوره i از تأمین‌کننده s تأمین می‌شود، بدست می‌آید.

گام ٥: ماتریس‌های هزینه ثابت سفارش، هزینه نگهداری و هزینه کمبود را با هم جمع نمایید. مقدار این ماتریس برابر است با:

$$A_{sij}=C_{sij}+H_{sij}+B_{sij} \qquad (۱۰)$$

گام ٦: ماتریس تجمعی را به صورت تشکیل دهید:

$$M_{sij}=\begin{cases} U_{sij}+\sum_{t=i}^{j} A_{sit} & \text{if} \quad i\le j \\ U_{sij}+A_{sij} & \text{if} \quad i=j+1 \end{cases} \qquad (۱۱)$$

این ماتریس برای $i\le j$ کل هزینه‌های متحمل‌شده را زمانی که تقاضای دوره‌های i تا j به طور یک‌جا در دوره i از تأمین‌کننده s تأمین شود را نشان می‌دهد. همچنین برای $i=j+1$ مجموع هزینه‌های خرید و کمبود را زمانی که تقاضای دوره j در دوره i از تأمین‌کننده s تأمین شود را نشان می‌دهد.

گام ۷: ماتریس نهایی را تشکیل دهید. مقادیر خانه‌های این ماتریس به صورت سطر و ستون داده می‌شود. به این صورت که مقدار سطر و ستون اول ماتریس نهایی برای هر تأمین‌کننده برابر مقدار سطر و ستون اول ماتریس تجمعی هر تأمین‌کننده است. سطر و ستون دوم ماتریس نهایی برای هر تأمین‌کننده برابر مقدار سطر و ستون دوم ماتریس تجمعی هر تأمین‌

کننده به علاوه مقدار مینیمم ستون ۱ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده با شرایط خاص است. سطر و ستون سوم ماتریس نهایی برای هر تأمین‌کننده برابر مقدار سطر و ستون سوم ماتریس تجمعی هر تأمین‌کننده به علاوه مقدار مینیمم ستون ۲ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده با شرایط خاص است و ماتریس نهایی به همین صورت تشکیل می‌شود. جدول ۱۱ هزینه‌های موجود در ماتریس نهایی تأمین‌کننده شماره ۱ را برای ۵ دوره نشان می‌دهد. شرایط ذکر شده در جدول فوق توضیح داده شده است. برای هر تأمین‌کننده باید یک ماتریس نهایی تشکیل شود.

جدول ۱۱ . هزینه‌های موجود در ماتریس نهایی برای تأمین‌کننده ۱

j / i	۱	۲	۳	۴	۵
۱	$C_{11}+D_1u_{11}$	$C_{11}+(D_1+D_2)u_{11}+h_1D_2$	$C_{11}+(D_1+D_2+D_3)u_{11}+(h_1+h_2)D_3+h_1D_2$	$C_{11}+(D_1+D_2+D_3+D_4)u_{11}+(h_1+h_2+h_3)D_4+(h_1+h_2)D_3+h_1D_2$	$C_{11}+(D_1+D_2+D_3+D_4+D_5)u_{11}+(h_1+h_2+h_3+h_4)D_5+(h_1+h_2+h_3)D_4+(h_1+h_2)D_3+h_1D_2$
۲	$D_1u_{12}+D_1b_1$	$C_{12}+D_2u_{12}+$ مینیمم ستون ۱ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده (اگر مینیمم ستون ۱ برابر خانه (سطر دوم ستون اول) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود $+C_{22}$)	$C_{12}+(D_2+D_3)u_{12}+h_2D_3+$ مینیمم ستون ۱ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده (اگر مینیمم ستون ۱ برابر خانه (سطر دوم ستون اول) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود $+C_{22}$)	$C_{12}+(D_2+D_3+D_4)u_{12}+(h_2+h_3)D_4+h_2D_3+$ مینیمم ستون ۱ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده (اگر مینیمم ستون ۱ برابر خانه (سطر دوم ستون اول) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود $+C_{22}$)	$C_{12}+(D_2+D_3+D_4+D_5)u_{12}+(h_2+h_3+h_4)+(h_2+h_3)D_4 +h_2D_3+$ مینیمم ستون ۱ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده (اگر مینیمم ستون ۱ برابر خانه (سطر دوم ستون اول) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود $+C_{22}$)
۳		$D_2u_{13}+D_2b_2+$ مینیمم ستون ۱ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده (اگر مینیمم ستون ۱ برابر خانه (سطر دوم ستون اول) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲	$C_{13}+D_3u_{13}+$ مینیمم ستون ۲ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده (اگر مینیمم ستون ۲ برابر خانه (سطر سوم ستون دوم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲	$C_{13}+(D_3+D_4)u_{13}+h_3D_4+$ مینیمم ستون ۲ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده (اگر مینیمم ستون ۲ برابر خانه (سطر سوم ستون دوم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲	$C_{13}+(D_3+D_4+D_5)u_{13}+(h_3+h_4)D_5+h_3D_4+$ مینیمم ستون ۲ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده (اگر مینیمم ستون ۲ برابر خانه (سطر سوم ستون دوم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲

j / i	۱	۲	۳	۴	۵
		شود+ C_{22}، اگر مینیمم ستون ۱ برابر خانه (سطر دوم ستون اول) ماتریس نهایی تأمین-کننده ۱ شود+ C_{12})	C_{23} شود+)	C_{23} شود+)	C_{23} شود+)
٤			$D_3u_{14}+D_3b_3+$ مینیمم ستون ۲ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده(اگر مینیمم ستون ۲ برابر خانه (سطر سوم ستون دوم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود+ C_{23}، اگر مینیمم ستون ۲ برابر خانه (سطر سوم ستون دوم) ماتریس نهایی تأمین-کننده ۱ شود+ C_{13})	$C_{14}+D_4u_{14}+$ مینیمم ستون ۳ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده(اگر مینیمم ستون ۳ برابر خانه (سطر چهارم ستون سوم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود+ C_{24})	$C_{14}+(D_4+D_5)u_{14}+h_4$ D_5+ مینیمم ستون ۳ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده(اگر مینیمم ستون ۳ برابر خانه (سطر چهارم ستون سوم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود+ C_{24})
٥				$D_4u_{15}+D_4b_4+$ مینیمم ستون ۳ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده(اگر مینیمم ستون ۳ برابر خانه (سطر چهارم ستون سوم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود+ C_{24}، اگر مینیمم ستون ۳ برابر خانه (سطر چهارم ستون سوم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۱ شود+ C_{14})	$C_{15}+D_5u_{15}+$ مینیمم ستون ٤ ماتریس نهایی هر دو تأمین‌کننده(اگر مینیمم ستون ٤ برابر خانه (سطر پنجم ستون چهارم) ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ شود+ C_{25})

برای تعیین سیاست بهینه سفارش‌دهی به ستون آخر ماتریس نهایی مراجعه نمایید و عدد مینیمم را که در ردیف i قرار دارد مشخص نمایید. این مقدار، هزینه کل مینیمم است. این بدان معنی است که تقاضای دوره‌های i تا T باید در دوره i تأمین شود. تأمین‌کننده انتخاب‌شده هم از همین راه مشخص می‌شود. پس از آن عدد مینیمم ستون i-1 را که در ردیف 'i قرار دارد پیدا کنید. اگر $i' \leq i-1$ باشد، یعنی تقاضای دوره‌های 'i تا i-1 در دوره 'i تأمین شود. پس از آن مینیمم ستون i'-1 را در نظر می‌گیریم. اگر هم $i' = (i-1)+1$ باشد، یعنی تقاضای دوره i-1 در دوره 'i تأمین شود و پس از آن مینیمم ستون (i-1)-1 را در نظر می‌گیریم.

۷-۱- پیاده‌سازی الگوریتم در شرکت

در این مرحله تخصیص سفارش در ۵ دوره با استفاده از الگوریتم، به این دو تأمین‌کننده(فرآیند رشد و ایران پالاد) انجام می‌شود. مقادیر پارامترها در جدول ٤ آورده شده است. هزینه ثابت سفارش از فرآیند رشد و ایران پالاد مطابق جدول ۱۲ محاسبه شده است.

جدول۱۲ . ماتریس هزینه ثابت سفارش تأمین‌کنندگان

هزینه ثابت سفارش (ایران پالاد)						هزینه ثابت سفارش (فرآیند رشد)					
i \ j	۱	۲	۳	٤	٥	i \ j	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۲۳۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۱	۲۲۰۰۰	۰	۰	۰	۰
۲	۰	۲۲۰۰۰	۰	۰	۰	۲	۰	۲۱۰۰۰	۰	۰	۰
۳		۰	۲۰۰۰۰	۰	۰	۳		۰	۲۰۰۰۰	۰	۰
٤			۰	۲۲۰۰۰	۰	٤			۰	۲۳۰۰۰	۰
٥				۰	۲٤۰۰۰	٥				۰	۲٤۰۰۰

جدول ۱۳ هزینه نگهداری برای ٥ دوره و همچنین هزینه کمبود تا حداکثر ۱ دوره را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳ . ماتریس هزینه‌های نگهداری و کمبود

هزینه کمبود						هزینه نگهداری					
i \ j	۱	۲	۳	٤	٥	i \ j	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۰	۰	۰	۰	۰	۱	۰	٦٦۰۰۰۰	۱۲۷٦٥۰۰	۱٦۸۰۰۰۰	۲۸٥۰۰۰۰
۲	۲۷۰۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۲	۰	۰	٦٤٤۰۰۰	۱۱۳۰۰۰۰	۲۱٦۲٥۰۰
۳		۳۳٦۰۰۰	۰	۰	۰	۳		۰	۰	٥۷۰۰۰۰	۱٤٦۲٥۰۰
٤			۳۲۲۰۰۰	۰	۰	٤			۰	۰	۷٥۰۰۰۰
٥				۳۰۰۰۰۰	۰	٥				۰	۰

جدول ١٤ هزینه‌های خرید از فرآیند رشد و ایران پالاد را مطابق گام ٤ در حالت مجاز بودن کمبود تا حداکثر ۱ دوره را نشان می‌دهد.

جدول ۱۴ . ماتریس هزینه خرید تأمین‌کنندگان

هزینه خرید (فرآیند رشد)					
i \ j	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۱۱۰۰۰۰۰۰۰	۲٤۲۰۰۰۰۰۰	۳٦۸٥۰۰۰۰۰	٤۷۸٥۰۰۰۰۰	٦۱٦۰۰۰۰۰۰
۲	۱۱۱۲۰۰۰۰۰	۱۳۳٤٤۰۰۰۰	۲٦۱۳۲۰۰۰۰	۳۷۲٥۲۰۰۰۰	٥۱۱٥۲۰۰۰۰
۳		۱۳۳۸۰۰۰۰۰	۱۲۸۲۲٥۰۰۰	۲۳۹۷۲٥۰۰۰	۳۷۹۱۰۰۰۰۰
٤			۱۲۸۳٤۰۰۰۰	۱۱۱٦۰۰۰۰۰	۲٥۱۱۰۰۰۰۰
٥				۱۱۱٦۰۰۰۰۰	۱۳۹٥۰۰۰۰۰
هزینه خرید (ایران پالاد)					
i \ j	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۱۱۱۲۰۰۰۰۰	۲٤٤٦٤۰۰۰۰	۳۷۲٥۲۰۰۰۰	٤۸۳۷۲۰۰۰۰	٦۲۲۷۲۰۰۰۰
۲	۱۱۱۲۰۰۰۰۰	۱۳۳٤٤۰۰۰۰	۲٦۱۳۲۰۰۰۰	۳۷۲٥۲۰۰۰۰	٥۱۱٥۲۰۰۰۰
۳		۱۳۳٦۸۰۰۰۰	۱۲۸۱۱۰۰۰۰	۲۳۹٥۱۰۰۰۰	۳۷۸۷٦۰۰۰۰
٤			۱۲۸۳٤۰۰۰۰	۱۱۱٦۰۰۰۰۰	۲٥۱۱۰۰۰۰۰
٥				۱۱۱۷۰۰۰۰۰	۱۳۹٦۲٥۰۰۰

جدول ۱۵ ماتریس مجموع را برای فرآیند رشد و ایران پالاد را نشان می‌دهد.

جدول ۱۵. ماتریس مجموع تأمین‌کنندگان

ماتریس مجموع(فرآیند رشد)					
i \ j	١	٢	٣	٤	٥
١	٢٢٠٠٠	٦٦٠٠٠٠	١٢٧٦٥٠٠	١٦٨٠٠٠٠	٢٨٥٠٠٠٠
٢	٢٧٠٠٠٠	٢١٠٠٠	٦٤٤٠٠٠	١١٣٠٠٠٠	٢١٦٢٥٠٠
٣		٣٣٦٠٠٠	٢٠٠٠٠	٥٧٠٠٠٠	١٤٦٢٥٠٠
٤			٣٢٢٠٠٠	٢٣٠٠٠	٧٥٠٠٠٠
٥				٣٠٠٠٠٠	٢٤٠٠٠
ماتریس مجموع(ایران پالاد)					
i \ j	١	٢	٣	٤	٥
١	٢٣٠٠٠	٦٦٠٠٠٠	١٢٧٦٥٠٠	١٦٨٠٠٠٠	٢٨٥٠٠٠٠
٢	٢٧٠٠٠٠	٢٢٠٠٠	٦٤٤٠٠٠	١١٣٠٠٠٠	٢١٦٢٥٠٠
٣		٣٣٦٠٠٠	٢٠٠٠٠	٥٧٠٠٠٠	١٤٦٢٥٠٠
٤			٣٢٢٠٠٠	٢٢٠٠٠	٧٥٠٠٠٠
٥				٣٠٠٠٠٠	٢٤٠٠٠

ماتریس تجمعی برای هر دو تأمین‌کننده مطابق گام ٦ در حالت مجاز بودن کمبود تا حداکثر ۱ دوره در جدول ١٦ محاسبه شده است.

جدول ۱۶. ماتریس تجمعی تأمین‌کنندگان

ماتریس تجمعی (فرآیند رشد)					
i \ j	١	٢	٣	٤	٥
١	١١٠٠٢٢٠٠٠	٢٤٢٦٨٢٠٠٠	٣٧٠٤٥٨٥٠٠	٤٨٢١٣٨٥٠٠	٦٢٢٤٨٨٥٠٠
٢	١١١٤٧٠٠٠٠	١٣٣٤٦١٠٠٠	٢٦١٩٨٥٠٠٠	٣٧٤٣١٥٠٠٠	٥١٥٤٧٧٥٠٠
٣		١٣٤١٣٦٠٠٠	١٢٨٢٤٥٠٠٠	٢٤٠٣١٥٠٠٠	٣٨١١٥٢٥٠٠
٤			١٢٨٦٦٢٠٠٠	١١١٦٢٣٠٠٠	٢٥١٨٧٣٠٠٠
٥				١١١٩٠٠٠٠٠	١٣٩٥٢٤٠٠٠

ماتریس تجمعی (ایران پالاد)					
j / i	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۱۱۱۲۲۳۰۰۰	۲٤٥۳۲۳۰۰۰	۳۷٤٤۷۹٥۰۰	٤۸۷۳٥۹٥۰۰	٦۲۹۲۰۹٥۰۰
۲	۱۱۱٤۷۰۰۰۰	۱۳۳٤٦۲۰۰۰	۲٦۱۹۸٦۰۰۰	۳۷٤۳۱٦۰۰۰	٥۱٥٤۷۸٥۰۰
۳		۱۳٤۰۱٦۰۰۰	۱۲۸۱۳۰۰۰۰	۲٤۰۱۰۰۰۰۰	۳۸۰۸۱۲٥۰۰
٤			۱۲۸٦٦۲۰۰۰	۱۱۱٦۲۲۰۰۰	۲٥۱۸۷۲۰۰۰
٥				۱۱۲۰۰۰۰۰۰	۱۳۹٦٤۹۰۰۰

جدول‌های ۱۷ تا ۲۰ مراحل ایجاد ماتریس نهایی را برای حالت مجاز بودن کمبود تا حداکثر ۱ دوره بر اساس گام ۷ نشان می‌دهند. به عنوان مثال در جدول ۱۹، خانه (سطر سوم ستون چهارم) مربوط به ماتریس فرآیند رشد (٤۸۲۹۹۷۰۰۰) برابر مجموع مقدار خانه (سطر سوم ستون چهارم) در ماتریس تجمعی فرآیند رشد(۲٤۰۳۱٥۰۰۰) و مینیمم ستون‌های دوم ماتریس فرآیند رشد و ایران پالاد در جدول ۱۹ است با این شرط که اگر مینیمم ستون‌های دوم ماتریس فرآیند رشد و ایران پالاد در جدول ۱۹ برابر خانه (سطر سوم ستون دوم) مربوط به ماتریس ایران پالاد در جدول ۱۹ شود، هزینه ثابت سفارش در دوره ۳ از ایران پالاد به مجموع آن‌ها اضافه شود. همچنین در جدول ۱۸، خانه (سطر سوم ستون دوم) مربوط به ماتریس فرآیند رشد(۲٤٤۱٥۸۰۰۰) برابر مجموع مقدار خانه (سطر سوم ستون دوم) در ماتریس تجمعی فرآیند رشد(۱۳٤۱۳٦۰۰۰) و مینیمم ستون‌های اول ماتریس فرآیند رشد و ایران پالاد در جدول ۱۸ است با این شرایط که :۱- اگر مینیمم ستون‌های اول ماتریس فرآیند رشد و ایران پالاد در جدول ۱۸ برابر خانه (سطر دوم ستون اول) مربوط به ماتریس ایران پالاد شود، هزینه ثابت سفارش در دوره ۲ از ایران پالاد به مجموع آن‌ها اضافه شود،۲- اگر مینیمم ستون‌های اول ماتریس فرآیند رشد و ایران پالاد در جدول ۱۸ برابر خانه (سطر دوم ستون اول) مربوط به ماتریس فرآیند رشد شود، هزینه ثابت سفارش در دوره ۲ از فرآیند رشد به مجموع آن‌ها اضافه شود.

جدول ۱۷ . ردیف و ستون اول ماتریس نهایی

فرآیند رشد					
j / i	١	٢	٣	٤	٥
١	١١٠٠٢٢٠٠٠	٢٤٢٦٨٢٠٠٠	٣٧٠٤٥٨٥٠٠	٤٨٢١٣٨٥٠٠	٦٢٢٤٨٨٥٠٠
٢	١١١٤٧٠٠٠٠				
٣					
٤					
٥					
ایران پالاد					
j / i	١	٢	٣	٤	٥
١	١١١٢٢٣٠٠٠	٢٤٥٣٢٣٠٠٠	٣٧٤٤٧٩٥٠٠	٤٨٧٣٥٩٥٠٠	٦٢٩٢٠٩٥٠٠
٢	١١١٤٧٠٠٠٠				
٣					
٤					
٥					

جدول ۱۸. ردیف و ستون دوم ماتریس نهایی

فرآیند رشد					
j / i	١	٢	٣	٤	٥
١	١١٠٠٢٢٠٠٠	٢٤٢٦٨٢٠٠٠	٣٧٠٤٥٨٥٠٠	٤٨٢١٣٨٥٠٠	٦٢٢٤٨٨٥٠٠
٢	١١١٤٧٠٠٠٠	٢٤٣٤٨٣٠٠٠	٣٧٢٠٠٧٠٠٠	٤٨٤٣٣٧٠٠٠	٦٢٥٤٩٩٥٠٠
٣		٢٤٤١٥٨٠٠٠			
٤					
٥					
ایران پالاد					
j / i	١	٢	٣	٤	٥
١	١١١٢٢٣٠٠٠	٢٤٥٣٢٣٠٠٠	٣٧٤٤٧٩٥٠٠	٤٨٧٣٥٩٥٠٠	٦٢٩٢٠٩٥٠٠

٦٢٥٥٠٠٥٠٠	٤٨٤٣٣٨٠٠٠	٣٧٢٠٠٨٠٠٠	٢٤٣٤٨٤٠٠٠	١١١٤٧٠٠٠٠	٢
			٢٤٤٠٣٨٠٠٠		٣
					٤
					٥

جدول ۱۹. ردیف و ستون سوم ماتریس نهایی

فرآیند رشد					
٥	٤	٣	٢	١	j / i
٦٢٢٤٨٨٥٠٠	٤٨٢١٣٨٥٠٠	٣٧٠٤٥٨٥٠٠	٢٤٢٦٨٢٠٠٠	١١٠٠٢٢٠٠٠	١
٦٢٥٤٩٩٥٠٠	٤٨٤٣٣٧٠٠٠	٣٧٢٠٠٧٠٠٠	٢٤٣٤٨٣٠٠٠	١١١٤٧٠٠٠٠	٢
٦٢٣٨٣٤٥٠٠	٤٨٢٩٩٧٠٠٠	٣٧٠٩٢٧٠٠٠	٢٤٤١٥٨٠٠٠		٣
		٣٧١٣٤٤٠٠٠			٤
					٥
ايران پالاد					
٥	٤	٣	٢	١	j / i
٦٢٩٢٠٩٥٠٠	٤٨٧٣٥٩٥٠٠	٣٧٤٤٧٩٥٠٠	٢٤٥٣٢٣٠٠٠	١١١٢٢٣٠٠٠	١
٦٢٥٥٠٠٥٠٠	٤٨٤٣٣٨٠٠٠	٣٧٢٠٠٨٠٠٠	٢٤٣٤٨٤٠٠٠	١١١٤٧٠٠٠٠	٢
٦٢٣٤٩٤٥٠٠	٤٨٢٧٨٢٠٠٠	٣٧٠٨١٢٠٠٠	٢٤٤٠٣٨٠٠٠		٣
		٣٧١٣٤٤٠٠٠			٤
					٥

جدول ۲۰. ماتریس نهایی

فرآیند رشد					
٥	٤	٣	٢	١	j / i
٦٢٢٤٨٨٥٠٠	٤٨٢١٣٨٥٠٠	٣٧٠٤٥٨٥٠٠	٢٤٢٦٨٢٠٠٠	١١٠٠٢٢٠٠٠	١
٦٢٥٤٩٩٥٠٠	٤٨٤٣٣٧٠٠٠	٣٧٢٠٠٧٠٠٠	٢٤٣٤٨٣٠٠٠	١١١٤٧٠٠٠٠	٢
٦٢٣٨٣٤٥٠٠	٤٨٢٩٩٧٠٠٠	٣٧٠٩٢٧٠٠٠	٢٤٤١٥٨٠٠٠		٣
٦٢٢٣٣١٥٠٠	٤٨٢٠٨١٥٠٠	٣٧١٣٤٤٠٠٠			٤
٦٢١٦٠٤٥٠٠	٤٨٢٣٥٨٥٠٠				٥

ایران پالاد					
j / i	۱	۲	۳	٤	٥
۱	۱۱۱۲۲۳۰۰۰	۲٤٥۳۲۳۰۰۰	۳۷٤٤۷۹٥۰۰	٤۸۷۳٥۹٥۰۰	٦۲۹۲۰۹٥۰۰
۲	۱۱۱٤۷۰۰۰۰	۲٤۳٤۸٤۰۰۰	۳۷۲۰۰۸۰۰۰	٤۸٤۳۳۸۰۰۰	٦۲٥٥۰۰٥۰۰
۳		۲٤٤۰۳۸۰۰۰	۳۷۰۸۱۲۰۰۰	٤۸۲۷۸۲۰۰۰	٦۲۳٤۹٤٥۰۰
٤			۳۷۱۳٤٤۰۰۰	٤۸۲۰۸۰٥۰۰	٦۲۲۳۳۰٥۰۰
٥				٤۸۲٤٥۸٥۰۰	٦۲۱۷۲۹٥۰۰

همانطور که اشاره شد، مینیمم مقدار ستون آخر هر دو ماتریس نهایی در جدول ۲۰ عدد ٦۲۱٦۰٤٥۰۰ است که مربوط به خانه (سطر پنجم ستون پنجم) ماتریس نهایی فرآیند رشد می‌باشد. این بدان معنی است که تقاضای دوره ٥ باید در همان دوره و توسط فرآیند رشد تأمین شود. مینیمم مقدار ستون چهارم هر دو ماتریس نهایی عدد ٤۸۲۰۸۰٥۰۰ است که مربوط به خانه (سطر چهارم ستون چهارم) ماتریس نهایی ایران پالاد می‌باشد. یعنی تقاضای دوره ٤ باید در همان دوره و توسط ایران پالاد تأمین شود. مینیمم مقدار ستون سوم هر دو ماتریس نهایی عدد ۳۷۰٤٥۸٥۰۰ است که مربوط به خانه (سطر اول ستون سوم) ماتریس نهایی فرآیند رشد می‌باشد. این بدان معنی است که تقاضای دوره‌های ۱ تا ۳ باید در دوره ۱ و توسط فرآیند رشد تأمین شود. مشاهده می‌شود که جواب بدست آمده همان جواب حاصل از حل مدل خطی عدد صحیح ارائه شده است.

۷-۲- پیاده‌سازی الگوریتم در مثال‌های عددی

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم، مثال‌های ارائه شده در بخش قبل با روش فوق حل شده است. مقدار پارامترها در جدول ۸ آمده است. به دلیل زیاد بودن تعداد جدول‌ها، فقط ماتریس‌های نهایی هر دو تأمین‌کننده در مثال‌ها در جدول ۲۱ و۲۲ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که جواب بدست آمده در هر دو مثال همان جواب حاصل از حل مدل پیشنهادی می‌باشد.

جدول ۲۱ . ماتریس نهایی تأمین‌کنندگان در مثال ۱

ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ در مثال ۱					ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۱ در مثال ۱				
j / i	۱	۲	۳	٤	j / i	۱	۲	۳	٤
۱	١٤٥	٢٦٧/٥	٤٤٧/٥	٥٥٧/٥	۱	۱۱۰	۲۱۵	۳۷۵	٤٧٥
۲	٣٠٠٦٠	٢٥٥	٣٧٥	٤٥٥	۲	۳۰۰۷۵	۲٤۲/٥	۳۸۲/٥	٤٧٢/٥
۳		٣٥١٩٧/٥	٣٩٥	٤٦٥	۳		۳٥۲۱٥	۳۹٥	٤٧٥
٤			٤٠٢٩٥	٤٩٥	٤			٤٠۳۳٥	٤٩٥

جدول ۲۲ ماتریس نهایی تأمین‌کنندگان در مثال ۲

ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۲ در مثال ۲						ماتریس نهایی تأمین‌کننده ۱ در مثال ۲					
j / i	۱	۲	۳	٤	٥	j / i	۱	۲	۳	٤	٥
۱	٢٠٠	٦٩٥	١٤٥٥	٢٩٥٥	٤٥٥٥	۱	۲۷۰	۸٥٥	١٦٩٥	۳۳۱٥	٥٠١٥
۲	٢٠٠	٥٨٠	١١٨٠	٢٤٤٠	٣٨٤٠	۲	۲۲٥	٦٧٥	۱۳۱٥	٢٦٣٥	٤٠٨٥
۳		٧١٥	٩٧٥	١٨١٥	٢٨٦٥	۳		٦٩٢/٥	٩٤٥	١٧٥٥	٢٧٨٠
٤			٩٢٠	١٤٥٠	٢١٧٥	٤			٩٤٠	١٥٥٥	٢٣٠٥
٥				١٥٤٠	١٩٣٠	٥				١٦٠٠	١٩٨٠

۸- نتیجه‌گیری

انتخاب و ارزیابی تأمین‌کنندگان برای موفقیت یک سازمان تولیدی بسیار مهم است. چیزی که باید در نظر گرفته شود این است که تخصیص سفارش به تأمین‌کنندگان بر اساس رتبه، به تنهایی، یک روش مناسب نیست. در این مقاله یک مدل ریاضی خطی عدد صحیح برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش با در نظر گرفتن کمبود ارائه و جهت حل مدل از الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر که کمبود تا حداکثر ۱ دوره به آن اضافه شده است، استفاده شد. به منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی و الگوریتم سه بعدی فوردیس- وبستر توسعه یافته، داده-های یک شرکت تولیدکننده کلیدهای برق فشار قوی و داده‌های دو مثال دیگر بر روی مدل

ارائه‌شده اعمال شد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که مدل ارائه‌شده در سازمان‌ها و صنایع دیگر استفاده شود. می‌توان هزینه‌ها و تقاضا را غیر قطعی در نظر گرفت. همچنین می‌توان هزینه کمبود تا بیش از یک دوره را به الگوریتم فوق اضافه نمود.

۹- پی نوشت‌ها

1. Supplier Selection Problem
2. Analytical Hierarchy Process(AHP)
3. Multicriteria Optimization and Compromise Solution(VIKOR)
4. Multiobjective Programming Model
5. Fuzzy
6. Technique for Order performance by Similarity to Ideal Solution(TOPSIS)
7. linear Programming(LP)
8. Fuzzy Set Theory
9. Artificial Neural Networks
10. Fuzzy Delphi
11. DEMATEL
12. Analysis Network Process(ANP)
13. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation (PROMETHEE)
14. Inventory Lot Size Problem
15. Three Dimensional Fordyce – Webster Algorithm (3DFWA)

۱۰- منابع

[1] Hadian, Hengameh., Suppliers selection and allocation of orders in discount conditions in a supply chain system using Multiple Attribute Decision Making methods, Master of Science thesis, Sharif University of Technology, 2009 .(In Persian)

[2] Aissaoui, N., Haouari, M. & Hassini, E., Supplier selection and order lot sizing modeling: A review, Computers & Operations Research, 34, 2007, 3516-3540.

[3] Hou, J. & Su, D., EJB□MVC oriented supplier selection system for mass customization, Journal of Manufacturing Technology Management, 18, 2007, 54-

71.

[4] You, X.-Y., You, J. -X., Liu, H.-C. & Zhen, L., Group multi-criteria supplier selection using an extended VIKOR method with interval 2-tuple linguistic information, Expert Systems with Applications, 42, 2015, 1906-1916.

[5] Moghaddam, K. S., Fuzzy multi-objective model for supplier selection and order allocation in reverse logistics systems under supply and demand uncertainty, Expert Systems with Applications, 42, 2015, 6237-6254.

[6] Beikkhakhian, Y., Javanmardi, M., Karbasian, M. & Khayambashi, B., The application of ISM model in evaluating agile suppliers selection criteria and ranking suppliers using fuzzy TOPSIS-AHP methods, Expert Systems with Applications, 42, 2015, 6224-6236.

[7] Moqri, M. M., Moshref Javadi, M. & Yazdian, S. A., Supplier selection and order lot sizing using dynamic programming, International Journal of Industrial Engineering Computations, 2, 2011, 319-328.

[8] Kar, A. K., A hybrid group decision support system for supplier selection using analytic hierarchy process, fuzzy set theory and neural network, Journal of Computational Science, 6, 2015, 23-33.

[9] Amorim, p., Curcio, E., Almada-Lobo, B., Barbosa-Póvoa, A. P. F. D. & Grossmann, I. E., Supplier selection in the processed food industry under uncertainty, European Journal of Operational Research, 252, 2016, 801-814.

[10] Luthra, S., Govindan, K., Kannan, D., Mangla, S. K. & Garg, C. P., An integrated framework for sustainable supplier selection and evaluation in supply chains, Journal of Cleaner Production, 140, 2017, 1686-1698.

[11] Mirzaee, H., Naderi, B. & Pasandideh, S.H.R., A preemptive fuzzy goal programming model for generalized supplier selection and order allocation with incremental discount, Computers & Industrial Engineering, 122, 2018, 292-302.

[12] Govindan, K., Shankar, M. & Kannan, D., Supplier selection based on corporate social responsibility practices, International Journal of Production Economics,

200, 2018, 353-379.

[13] Mazdeh, M. M., Emadikhiav, M. & Parsa, I., A heuristic to solve the dynamic lot sizing problem with supplier selection and quantity discounts, Computers & Industrial Engineering, 85, 2015, 33-43.

[14] Babaee, L., Rabieh, M., Nikbakhsh, E. & Esmaeili, M., Multi- objective mathematical model for green supplier selection (case study: supply chain of IRAN KHODRO company), Journal of Modern Research in Decision Making, 2, 2017, 51-83. (In Persian)

[15] Bagherzadeh Azar, M. & Dori, B., Applying ANP in selecting the best supplier in supply chain, Journal of Management Research in Iran, 14, 2011, 27-47. (In Persian)

[16] Bottani, E. & Rizzi, A., An adapted multi-criteria approach to suppliers and products selection—An application oriented to lead-time reduction, International Journal of Production Economics, 111, 2008, 763-781.

[17] Shil, N. C., Customized Supplier Selection Methodology: An Application of Multiple Regression Analysis , Supply Chain Forum: an International Journal, 11, 2010, 58-70.

[18] Sadeghi Moghadam, M. R., Afsar, A. & Sohrabi, B., Inventory lot-sizing with supplier selection using hybrid intelligent algorithm, Applied Soft Computing, 8, 2008, 1523-1529.

[19] Yang, P. C., Wee, H. M., Pai, S. & Tseng, Y. F., Solving a stochastic demand multi-product supplier selection model with service level and budget constraints using Genetic Algorithm, Expert Systems with Applications, 38, 2011, 14773-14777.

[20] Chang, B. & Hung, H.-F., A study of using RST to create the supplier selection model and decision-making rules, Expert Systems with Applications, 37, 2010, 8284-8295.

[21] Taghavifard, S. M. T., Dehghani, M. H. & Aghaei, M., The model for lot sizing

problem with supplier selection and solving by NSGA-II (case study: Morvarid Panberiz company), Journal of Management Research in Iran, 19, 2015, 65-89. (In Persian)

[22] Olfat, L. & Esmaeili, M., Evaluation, selection and performance management of logistics services providers (case study: Sapco), Journal of Modern Research in Decision Making, 4, 2019, 181-203. (In Persian)

[23] Grewal, Harpreet., Analysis of inventory lot size problem, Master of Science thesis, University of Manitoba, 1999.