

## مدل ریاضی انتخاب تأمین کننده و تخصیص سفارش در زنجیره تأمین با لحاظ عدم اطمینان در متغیرهای طراحی

مجید هوشمندی ماهر<sup>۱</sup>، مقصود امیری<sup>۲</sup>، لیا الفت<sup>۳</sup>

**چکیده:** هزینه مواد خام حدود ۶۰ درصد از بهای تمام شده (در برخی صنایع تا ۸۰ درصد) را در برمی گیرد. در چنین شرایطی، منبع یابی مناسب، می تواند نقش مهمی در کارایی و اثربخشی سازمان ایفا کند و تأثیر مستقیمی در کاهش هزینه ها، افزایش سودآوری و انعطاف پذیری شرکت داشته باشد. در این مقاله، تعیین کمیت مطلوب سفارش با وجود چند تأمین کننده، چند محصول، طی چند دوره، در حالت مجازبودن مازاد و کمبود، با لحاظ ماهیت چندمعیاره و چندهدفی مسئله، و وجود تخفیف افزایشی، با لحاظ عدم اطمینان در متغیرهای طراحی، مد نظر قرار گرفته است. به منظور لحاظ معیارهای مؤثر بر انتخاب تأمین کننده از فرایند تحلیل شبکه و به منظور لحاظ وابستگی داخلی میان معیارها از دیمتل استفاده شده است. به منظور لحاظ عدم اطمینان در فرایند ارزیابی و انتخاب تأمین کننده، عدم اطمینان در متغیر طراحی، بدون مدنظر قراردادن عدم اطمینان در پارامترها، لحاظ و مدل با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شد. در مدل مذکور، مسئله نسبت به تغییر در متغیرهای طراحی مقاوم شده، به نحوی که با تغییر در فضای مسئله، تغییر در تابع هدف اندک است که به کاهش نوسانات منجر خواهد شد.

**واژه های کلیدی:** الگوریتم ژنتیک، انتخاب تأمین کننده در زنجیره تأمین، برنامه ریزی ریاضی  
مختلط صحیح چندهدفه، عدم اطمینان در متغیرهای طراحی، فرایند تحلیل  
شبکه، روش دیمتل.

۱. دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

۲. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبائی، تهران ایران

۳. دانشیار گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبائی، تهران ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۱/۲۶

تاریخ پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۹۲/۰۴/۱۹

نویسنده مسئول مقاله: مجید هوشمندی ماهر

E-mail: majidhooshmand@gmail.com

**مقدمه**

امروزه، در بازار جهانی عوامل متعددی باعث شده‌اند سازمان‌ها با تمرکز بر زنجیره تأمین خود، در جستجوی مزیت رقابتی باشند. از میان فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین، خرید کردن با توجه به فراهم آوردن فرصت کاهش هزینه‌ها و متعاقب آن افزایش سود، یکی از راهبردی‌ترین فعالیت‌ها به شمار می‌رود (مندوزا، ۲۰۰۷). بر اساس کوایل (۲۰۰۶)، خرید مرکز تمامی زنجیره‌های تأمین است و تسهیل دستیابی به اهداف زنجیره تأمین در گرو راهبردی بودن خرید است. از سوی دیگر، اهمیت فزاینده مدیریت زنجیره تأمین محرک شرکت‌ها برای انطباق خرید و راهبردهای منبع‌یابی با اهداف زنجیره تأمینشان است. بنا بر نظر فان‌ویل (۲۰۰۹) خرید درون سازمان معمولاً شامل تمامی فعالیت‌های مرتبط با فرایند خریدن کالا است. این فعالیت‌ها عبارت‌اند از: تعیین نیاز، انتخاب تأمین‌کننده، دستیابی به قیمت مناسب، مشخص کردن شرایط و وضعیت قرارداد، عقد قرارداد یا سفارش، و حصول اطمینان از دریافت مناسب.

در این میان، مونزکا، ترنت و هندفیلد (۲۰۰۵) انتخاب تأمین‌کننده را وظیفه اساسی خرید می‌دانند. الرام و کار (۱۹۹۴) نیز بیان می‌کنند که خرید از طریق انتخاب مناسب تأمین‌کنندگانی که راهبرد و موقعیت رقابتی بلندمدت شرکت را پشتیبانی کنند، نقش مهمی را در راهبرد رقابتی شرکت بازی می‌کند (مندوزا، ۲۰۰۷). به عبارت دیگر، یکی از وظایف ضروری (و درعین حال پیچیده) در کارکرد خرید که نقشی اساسی در موفقیت یا عدم موفقیت سازمان ایفا می‌کند، انتخاب تأمین‌کنندگانی است که بتوانند اقدام درخواستی، با مشخصات مورد نیاز را تهیه کنند. مجموعه مناسب و درست انتخاب‌شده از تأمین‌کنندگان به ایجاد تفاوت راهبردی در توانایی سازمان در کاهش هزینه‌ها و بهبود کیفیت محصولات نهایی منجر خواهد شد. این واقعیت محرک تحقیقاتی است که هدف آنها یافتن راه‌های جدیدتر و بهتر برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان است (مندوزا، ۲۰۰۷). به عبارتی، انتخاب تأمین‌کننده، تأثیر قابل توجهی در بهینه‌سازی کیفیت، کمیت، ارسال به موقع و قیمت کالاها و خدمات خریداری شده دارد (شاه‌بندرزاده، جعفرنژاد و رئیسی، ۱۳۹۰). از سوی دیگر، ارزیابی و انتخاب تأمین‌کننده فرآیند ارزیابی، مقایسه و یافتن تأمین‌کننده مناسب است که بتواند نیازهای خریدار را با بهترین کیفیت مورد انتظار، در مکان مناسب، در حجم مناسب و در زمان مناسب تأمین کند (امیری، جهانی، ۱۳۸۹).

از سوی دیگر، مدیریت عدم اطمینان چالشی اساسی در مدیریت تمامی زنجیره‌های تأمین است. بنابراین، انتظار می‌رود که نتایج حاصل از روش‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین که عدم اطمینان در آنها لحاظ نشده است، در صورت مقایسه با مدل‌هایی که عدم اطمینان را فرموله

کرده‌اند، نتایج نامرغوب‌تری ارائه دهند (پیدرو، مولا، پولر و کروزلایرو، ۲۰۰۹). نبود اطمینان در زنجیره تأمین را می‌توان ناشی از ماهیت پیچیده و پویایی روابط میان عوامل مختلف زنجیره تأمین دانست (بهاتناگر و سهال، ۲۰۰۵). به‌طورقطع، این عدم اطمینان بر سودآوری تمامی اجزای زنجیره اثرگذار خواهد بود (گولین، مله، باغاجویگز، اسپونا، و پوجکانر، ۲۰۰۵).

با وجود تأکید بر اهمیت و نقش انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین و جایگاه عدم اطمینان در برنامه‌ریزی‌های مربوط به زنجیره تأمین، دغدغه اصلی بسیاری از فعالان زنجیره تأمین پاسخ به این پرسش اساسی است که در صورت لحاظ عدم قطعیت، تخصیص مطلوب سفارش به تأمین‌کنندگان چگونه باید صورت گیرد. درحالی‌که مرور تحقیقات پیشین حاکی از ناکافی بودن پاسخ محققین به این پرسش است، در این تحقیق، سعی شده است با استفاده از رویکردی کمی و با اتکا به مبانی نظری مدیریت زنجیره تأمین به تدوین مدلی مناسب برای انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش میان آنان با مد نظر قرار دادن ماهیت چندمعیاره مسئله و لحاظ کردن عدم اطمینان در آن پردازد و از این طریق بخشی از ابهام پیش روی فعالان زنجیره تأمین در ایجاد توازن میان کارایی و پاسخگویی را از میان بر دارد.

### پیشینه پژوهش

در تصمیمات مربوط به انتخاب تأمین‌کننده، دو موضوع اهمیت ویژه‌ای دارند: اول اینکه چه معیارهایی را باید مورد استفاده قرار داد، و دیگر اینکه از چه روش‌هایی می‌توان برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان استفاده کرد (قدسی‌پور، ۱۹۹۶). وبر، کارنت و دسای (۱۹۹۸) اشاره می‌کنند که تصمیمات مربوط به انتخاب تأمین‌کننده، به این دلیل که معیارهای گوناگونی را باید مورد ملاحظه قرار داد، بسیار پیچیده است، ضمن اینکه در راستای این انتخاب می‌توان از نگرش‌های متفاوتی استفاده کرد. تحلیل این دو مبحث، یعنی معیارها و روش‌های انتخاب تأمین‌کننده، توجه بسیاری از دانش‌پژوهان و دست‌اندرکاران واحدهای خرید، از دهه ۱۹۶۰ به بعد را به خود معطوف ساخته است (ژانگ، لی، کائو، تو، و کنچپو، ۲۰۰۴).

طبق نظر آیسائوی، هائوری و هسینی (۲۰۰۷) تصمیم‌گیری در حوزه انتخاب تأمین‌کننده سه تصمیم عمده زیر را در بر می‌گیرد:

- چه محصولی سفارش داده شود؟ نیمی از مقالات نگارش شده در این حوزه، برای موقعیت‌هایی هستند که فروشندگان فقط برای یک کالا انتخاب می‌شوند. در این موارد، وابستگی‌های داخلی متفاوتی (برای مثال، تخفیف روی حجم کسب‌وکار، کاهش در هزینه‌های سفارش و بازرسی، و غیره) که می‌تواند برای محصولات وجود داشته باشد، به حساب نمی‌آید.

• در چه کمیتی و از کدام تأمین کنندگان؟ اصولاً دو نوع موقعیت خرید وجود دارد: منبع یابی منفرد یا چندگانه. در گزینه اول، تمامی تأمین کنندگان می توانند به صورت کامل خواسته های مشتری را بر حسب کمیت، کیفیت، تحویل، و غیره برآورده سازند. در نتیجه، تصمیم فقط با شناسایی بهترین تأمین کننده (تأمین کنندگان) سروکار دارد. در رابطه با دومین گزینه، دو رویکرد زیر اتخاذ شده است که عبارت اند از: زمانی که هیچ یک از تأمین کنندگان قادر به ارضای تمامی تقاضای خریدار نیستند (به خاطر محدودیت های ظرفیت، کیفیت، تحویل، قیمت، و غیره از سوی تأمین کننده)، و یا زمانی که هدف راهبردهای تدارکات اجتناب از وابستگی به منبعی منفرد، به منظور حفاظت در برابر کمبودها و حفظ رقابت استوار در میان تأمین کنندگان است. در این گونه شرایط، مسئله شامل دو قسمت است: انتخاب تأمین کنندگان و تخصیص کمیت سفارش (تعیین اندازه انباشته).

• در چه دوره های زمانی؟ تعیین اندازه انباشته موجودی و انتخاب تأمین کننده ارتباط داخلی بسیار نزدیکی با هم دارند. یک کاسه کردن تصمیم زمان بندی سفارش ها طی زمان با انتخاب تأمین کننده، می تواند تا حد قابل ملاحظه ای هزینه ها را طی دوره کاهش دهد. با ملاحظه افق چند دوره ای می توان یک یا چند تأمین کننده را در هر یک از این دوره ها برای خرید محصولات انتخاب کرد. به صورت جایگزین، محصولات را می توان به دوره جلوتر منتقل کرد که البته این امر تحمیل هزینه های نگهداری موجودی را موجب می شود. علی رغم این مزیت ها، عمده مدل هایی که تاکنون پیشنهاد شده اند، به انتخاب تأمین کننده، بدون توجه به مباحث مدیریت موجودی برای چندین دوره پرداخته اند (آیساوی، هائوری و هسینی، ۲۰۰۷). بنابراین، نقش موجودی در موفقیت یا شکست زنجیره تأمین به شمار می آید. از این رو، هماهنگی سطوح موجودی در سرتاسر زنجیره تأمین حائز اهمیت است (صادقی مقدم، مومنی و نالچگیر، ۱۳۸۸).

بر اساس نظر بیر و سندھوف (۲۰۰۷)، عدم اطمینان به چهار نوع تقسیم می شود: عدم اطمینان در شرایط محیطی و عملیاتی (پارامترهای ورودی)؛ عدم اطمینان در متغیرها (پارامترهای طراحی)؛ عدم اطمینان در خروجی سیستم (خطاهای ارزیابی)؛ و عدم اطمینان در موجه بودن (در فضای جواب، که معمولاً با عدم اطمینان نوع ۱ و ۲ مشاهده می شود). آن ها همچنین اشاره می کنند که به منظور غلبه بر عدم اطمینان های تعریف شده می توان از سه رویکرد مدلسازی، شامل برنامه ریزی قطعی، برنامه ریزی احتمالی (برنامه ریزی احتمالی و بهینه سازی استوار)، و برنامه ریزی مبتنی بر امکان و یا فازی استفاده کرد. ترکیب انواع عدم اطمینان های موجود با رویکردهای مدلسازی به ایجاد ۱۲ حالت متفاوت منجر می شود. بررسی های انجام گرفته در

ادبیات تحقیق نشانگر آن است که عمده مدل‌های توسعه داده شده در حوزه عدم اطمینان بر عدم اطمینان در شرایط محیطی و عملیاتی و یا در نهایت عدم اطمینان در موجه بودن (برخی از رویکردهای مدل‌سازی استوار که استواری در جواب را نیز مد نظر قرار داده‌اند) تأکید کرده و هیچ مدلی یافت نشده است که عدم اطمینان در متغیرهای طراحی را لحاظ کرده باشد.

در این پژوهش، مسئله انتخاب تأمین‌کننده و تخصیص سفارش، با هدف یافتن پاسخ مناسب به سه پرسش مطرح شده در ادبیات و یکپارچه‌سازی تصمیمات مذکور در روش‌شناسی مناسب، با در نظر گرفتن ماهیت چندمعیاره مسئله، مد نظر قرار گرفته است. به علاوه، به منظور دستیابی به خط‌مشی‌های موجودی بهینه که به صورت همزمان تعیین کند که چقدر، چه زمانی، و از کدام تأمین‌کنندگان سفارش دهیم، هزینه‌های عمومی موجودی (هزینه‌های نگهداری، کمبود، سفارش، و خرید) نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند. ضمناً درباره نوع خاصی از عدم اطمینان، یعنی عدم اطمینان در متغیرهای طراحی (با هدف کاهش نوسانات توابع هدف) در مسئله لحاظ و مدل‌سازی شده و در ادامه با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شده است. در ادامه، ابزارها و مفاهیم استفاده شده در مدل معرفی می‌شوند.

### مفهوم استواری به کار گرفته شده در مقاله

بر اساس نظر جین و سندھوف (۲۰۰۳) در طراحی سیستم، طراحی استوار به این مفهوم است که پارامترهای فرایند طوری طراحی شوند که فرایند نسبت به تغییرات متغیرهای محیطی و پارامترهای فرایند غیرحساس باشد. از نظر ریاضی، جواب  $X$  را یک جواب استوار گوئیم، هرگاه در یک شعاع مشخص همسایگی از  $X$  با تغییر  $X$  به اندازه  $\Delta X$  تابع هدف  $f(X)$  تغییرات کمی داشته باشد. یعنی  $X^*$  جواب مقاوم است اگر:

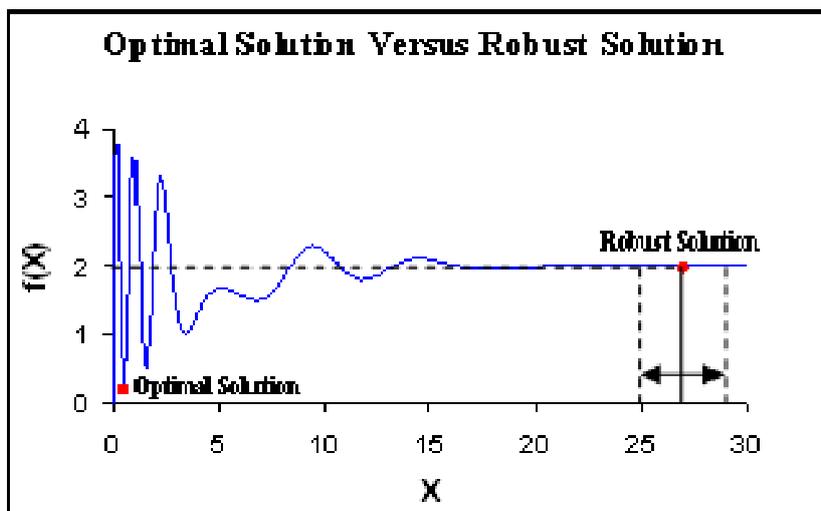
$$\forall X \in D_f \exists X^* \in [X^* - \Delta X^*, X^* + \Delta X^*]$$

$$\Rightarrow \varepsilon = |f(X) - f(X^*)| \text{ is a small vlaue} \quad \text{رابطه ۱}$$

۱. کمبود پدیده‌ای است که در حالت‌های واقعی کنترل موجودی با آن مواجه خواهیم شد. به‌طور کلی، هزینه‌های کمبود به دو دسته هزینه سفارش معوق و هزینه حالت فروش از دست رفته تقسیم می‌شوند. در سفارش معوق به هنگام کمبود، تقاضای مورد نظر با تأخیر تأمین می‌شود. هزینه‌های این حالت هزینه‌هایی مانند هزینه‌های اداری اضافی یا هزینه حمل‌ونقل و همچنین احتمالاً جریمه دیرکرد کالا به مشتری است. در فروش از دست رفته، همان‌طور که از نامش پیداست، تقاضای برآورد نشده از دست می‌رود و درواقع، مشتری به سراغ منابع دیگر می‌رود تا نیاز خود را تأمین کند. هزینه‌های این حالت سود از دست رفته به‌خاطر عدم فروش و نیز تأثیر منفی ایجاد شده در درآمدهای حاصل از فروش آینده به مشتری است (فاریجانی و عبودس، ۱۳۹۰). محاسبه هزینه‌های کمبود بسیار مشکل است و مدل‌های اندکی هستند که هزینه‌های کمبود را لحاظ کرده باشند.

در شکل ۱، به منظور درک بهتر، تابع نمونه‌ای ترسیم شده که در آن نقطه استوار و نقطه بهینه نشان داده شده است. رابطه این تابع به صورت زیر است:

$$f(x) = 2 + 2 \sin(xe^{-0.2x})e^{-0.2x} \quad \text{رابطه (۲)}$$



شکل ۱. جواب بهینه در برابر جواب استوار - فراست (۱۳۸۶)

در این تابع نقطه بهینه، نقطه مینیمم تابع است. همان طور که در شکل مشخص است در نقطه استوار، در همسایگی معینی از نقطه مذکور، با تغییر  $x$  در این شعاع همسایگی مقدار  $f(x)$  تغییرات بسیار اندکی خواهد داشت. در سیستم‌های پویا به علت ماهیت پویای متغیرها، ممکن است عواملی باعث ایجاد تغییر در پارامترهای سیستم شود که عملکرد سیستم تابعی از آنها است. بر نقطه استوار این تغییر کمترین اثر را دارد. این مسئله در شکل ۱ به خوبی مشهود است. در نقطه بهینه تابع، با تغییر  $x$  به اندازه  $\Delta x$ ، تابع از نقطه بهینه به نقطه‌ای که حتی ممکن است برازندگی بسیار نامطلوبی داشته باشد، انتقال یابد. بنابراین، در یک فرایند یا هر سیستم دینامیک دیگر، تنظیم پارامترها در نقطه بهینه عملکرد سیستم، تضمینی نمی‌دهد که سیستم یا فرایند در تمامی شرایط به طور مطلوب عمل کند. اما تنظیم پارامترها در نقطه استوار این اطمینان را به وجود می‌آورد که ممکن است فرایند در سطح بهینه عمل نکند، ولی در برابر شرایط مختلفی که به سیستم تحمیل می‌شود، مقاوم است.

برای به دست آوردن جواب مقاوم در تابع، به معیاری نیاز داریم که با بهینه‌سازی این معیار به نقطه استوار تابع دست یابیم. برای به دست آوردن جواب استوار در تابع از معیار واریانس تابع استفاده می‌شود (جین و سندهورف، ۲۰۰۳).

با فرض اینکه هر بردار  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  که یک جواب را در فضای  $n$  بعدی نشان می‌دهد، بردار متغیر برداری تصادفی است، زیرا می‌تواند به طور اتفاقی هر مقداری را اتخاذ کند. تابع  $f(x)$  را حول نقطه میانگین  $\mu = (\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n})$  با بسط مرتبه اول سری تیلور به صورت خطی تقریب می‌زنیم. بنابراین، داریم:

$$f = f(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n}) + \sum_{i=1}^n \left[ \frac{\partial}{\partial x_i} f(\mu_{x_1}, \mu_{x_2}, \dots, \mu_{x_n}) \right] (x_i - \mu_i) \quad \text{رابطه ۳}$$

در رابطه فوق  $f(x)$  نیز متغیری تصادفی است، زیرا هر تابعی از یک متغیر تصادفی نیز خود یک متغیر تصادفی است. بنابراین، می‌توان از طرفین رابطه فوق واریانس گرفت:

$$\sigma_f^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i \neq j} \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right) \sigma_{x_i x_j} \quad \text{رابطه ۴}$$

می‌دانیم که:

$$Var(x + y) = Var(x) + Var(y) + 2Cov(x, y) \quad \text{رابطه ۵}$$

با استفاده از قوانین مربوط به واریانس متغیرهای تصادفی، جمله دوم عبارت فوق را بسط می‌دهیم. بنابراین، خواهیم داشت:

$$\sigma_f^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 + \sum_{i \neq j} \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right) \sigma_{x_i x_j} \quad \text{رابطه ۶}$$

رابطه  $\sigma_f^2$  واریانس تابع  $f$  و  $\sigma_{x_i}$  انحراف معیار  $\mu$  عنصر در بردار جواب است. با توجه به اینکه  $x_i$  و  $x_j$  مستقل از یکدیگر فرض می‌شوند که فرضی منطقی است، آن‌گاه  $\sigma_{x_i x_j} = 0$  بنابراین، تقریب واریانس تابع به دست می‌آید:

$$\sigma_f^2 = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \sigma_{x_i}^2 \quad \text{رابطه ۷}$$

بدین ترتیب، برآوردی برای واریانس تابع به دست آمد. از این تقریب، برای محاسبه انحراف معیار تابع استفاده می‌شود تا معیاری ایجاد شود که با کمینه کردن این معیار، نقطه استوار تابع به دست آید. شایان توضیح است که این معیار تابعی از واریانس تابع مورد نظر است. بدین منظور، تابع باید به گونه‌ای باشد که با افزایش تغییرات  $X$ ،  $f(x)$  دامنه تغییرات اندکی داشته باشد. تابع زیر به عنوان تابع غیرمقاوم<sup>۱</sup> پیشنهاد می‌شود. با کمینه کردن این تابع، جواب مقاوم برای تابع اصلی،  $f(x)$  به دست می‌آید. یعنی هرچه معیار ذکر شده کمتر باشد جواب به دست آمده معتبرتر خواهد بود.

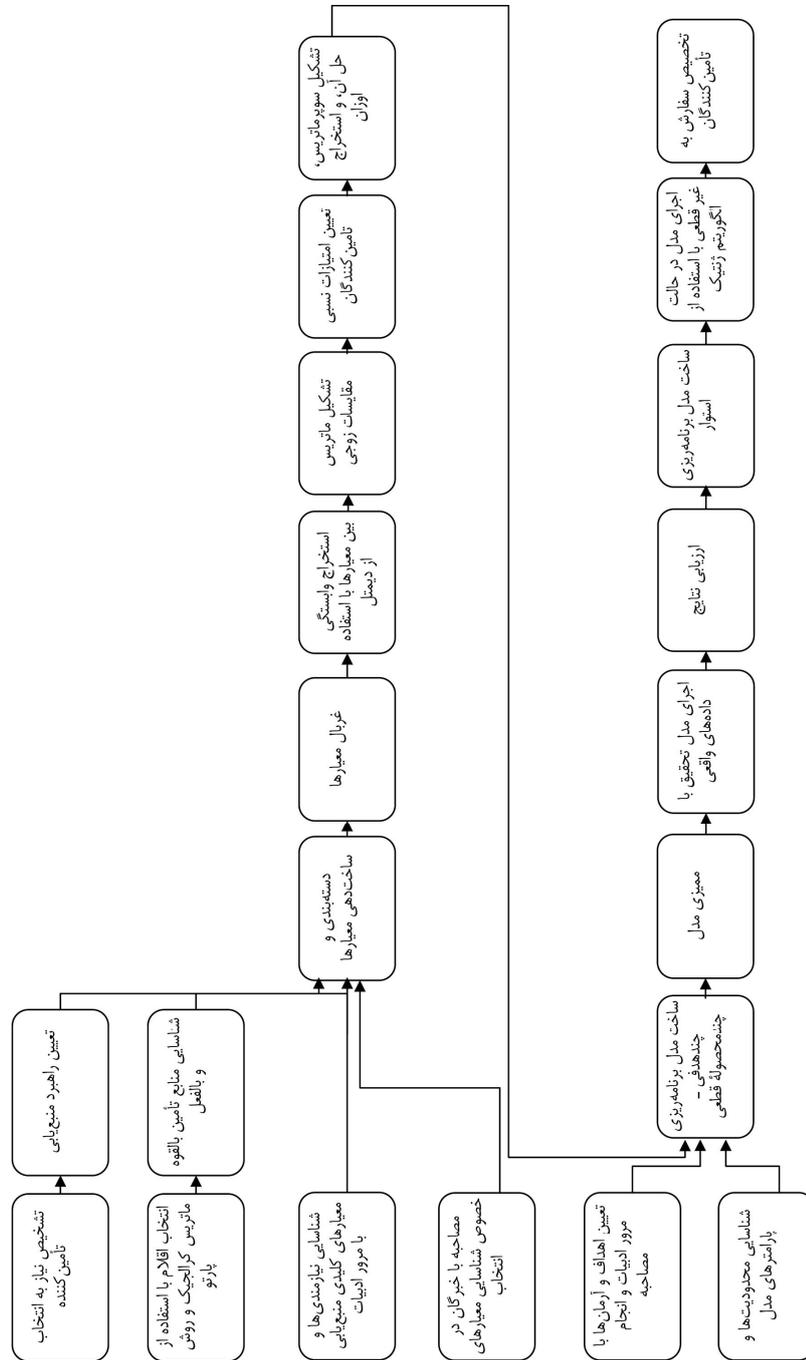
$$R(X) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\hat{\sigma}_f}{\hat{\sigma}_{x_j}} \quad \text{رابطه ۸}$$

در تابع فوق،  $\hat{\sigma}_f$  برآورد انحراف معیار تابع  $f$  است که از رابطه ۶ به دست می‌آید.  $\hat{\sigma}_{x_j}$  نیز برآوردی از انحراف معیار زامین مؤلفه بردار  $X$  است.

شایان ذکر است که محقق در بررسی‌ها به مدلی برخورد نکرده است که در حوزه انتخاب تأمین‌کننده و مدیریت موجودی، از رویکرد فوق به منظور مقابله با عدم اطمینان استفاده کرده باشد. سایر رویکردها، عمدتاً با ایجاد تغییراتی در پارامترهای مدل، عدم اطمینان ذاتی مسئله را لحاظ می‌کنند، اما رویکرد به کار رفته، با متغیرهای مسئله سر و کار دارد. این امر در دنیای واقعی (و برای شرکت‌های خودروساز) می‌تواند شامل مواردی چون تأثیر متغیرهای برون‌زایی چون تحریم، تغییر در نرخ ارز، و غیره باشد.

### روش‌شناسی پژوهش

در تحقیق حاضر، به منظور جمع‌آوری داده‌ها از دو روش کتابخانه‌ای و میدانی استفاده شده است. برای مرور ادبیات و شناسایی و دسته‌بندی معیارهای اثرگذار از روش کتابخانه‌ای استفاده شده است. داده‌های اصلی تحقیق نیز از طریق توزیع پرسشنامه و انجام مصاحبه با خبرگان گردآوری شده است. لازم به ذکر است که جامعه آماری خبرگان بین ۲۴ تا ۴۹ نفر متغیر بوده است. در شکل ۲، مراحل انجام تحقیق ارائه شده است. لازم به ذکر است که یافته‌های پژوهش (بخش بعد) بر اساس گام‌های اجرای تحقیق ارائه شده است.



شکل ۲. روش اجرای پژوهش حاضر

تعیین راهبرد منبع‌یابی مؤثر      انتخاب ارقام؛ شناسایی، ساخت‌دهی، و وزندهی به معیارهای مؤثر      ساخت مدل اصلی تحقیق

- پیش از آنکه به معرفی مدل طراحی شده برای این تحقیق پرداخته شود، لازم است تا به مفروضاتی اشاره شود که در حین طراحی مدل در نظر گرفته شده است. برخی از این مفروضات مستقیماً با ویژگی‌ها و مشخصه‌های مسئله در ارتباط بوده، و برخی دیگر بنا به محدودیت‌های موجود در فرایند تحقیق در نظر گرفته شده‌اند. این مفروضات به شرح زیر هستند:
- ماهیت این پژوهش به نحوی است که طی آن اهداف متعدد، و گاهی متناقض، مورد توجه قرار گرفته است. لذا تحقیق حاضر، پژوهشی چندهدفی خواهد بود.
  - از آنجایی که مدل مورد استفاده در این پژوهش از نوع برنامه‌ریزی خطی چندهدفی است، مفروضات اولیه برنامه‌ریزی خطی در مورد آن صادق خواهد بود. البته لازم به ذکر است که مدل اولیه با توجه به تخفیف افزایشی، مدلی غیرخطی بوده که با استفاده از دو دسته محدودیت به مدل خطی تبدیل شده است.
  - مدل طراحی شده مدلی چنددوره‌ای بوده که هدف آن برنامه‌ریزی تأمین و تخصیص سفارش برای دوره‌های مذکور است. به عبارتی، مدل مذکور پاسخگویی به سؤالات اساسی مطرح شده در ادبیات تحقیق (تأمین از کدام تأمین‌کننده، به چه مقدار، و در کدام دوره زمانی) خواهد بود.
  - هزینه‌های سفارش قلم  $i$  از تأمین‌کننده  $k$  به تنوع و کمیت محصول سفارش داده شده بستگی نداشته و بر اساس مستندات موجود در شرکت (برای مثال، هزینه‌های واحد قراردادها و هزینه‌های بازرسی تقسیم بر کل ساعات صرف شده بر روی قرارداد یک تأمین‌کننده خاص در هر دوره) به دست آمده است.
  - هزینه حمل و نقل بر عهده تأمین‌کننده است با این فرض که حمل و نقل به صورت کارا انجام می‌گیرد. عمده‌ترین دلیل این مسئله فقدان اطلاعات مربوط به هزینه حمل و نقل بوده است.
  - تقاضای اقلام بر اساس روند تقاضای بازار در ابتدای سال مشخص و طی ماه‌های مختلف بر اساس ظرفیت و امتیازات کسب شده توسط تأمین‌کنندگان، تقسیم می‌شود.
  - زمان انتظار مربوط به هر تأمین‌کننده از اطلاعات آرشیوی شرکت استخراج و در مدل لحاظ می‌شود.
  - پارت‌های دریافت شده از تأمین‌کننده به انبار موقت منتقل و در آنجا بر اساس استانداردهای صنایع دفاعی<sup>۱</sup> امریکا (با توجه سیاست شرکت) بازرسی می‌شوند. پارت‌های مذکور متوسط اقلام معیوب  $q_{ik}$  دارند که در مرحله بازرسی شناسایی می‌شوند و تأمین‌کننده آن‌ها را

جایگزین می‌کند. توضیح اینکه درصد اقلام معیوب از اطلاعات آرشیوی شرکت استخراج شده است.

- نگهداری اقلام در بیش از یک دوره مجاز بوده است، اما پس از اتمام اولین دوره، مشمول هزینه‌های نگهداری خواهد شد. هزینه‌های نگهداری هر واحد از تقسیم هزینه‌های انبار به کل فضای انبار ضربدر حجم کالای مورد نظر به دست می‌آید. با توجه به ارتباط مستقیم هزینه‌های نگهداری با اندازه قلم مورد نظر، هزینه مذکور درصدی از هزینه خرید نیز قابل محاسبه است. البته شایان ذکر است که در محاسبه هزینه‌های نگهداری هزینه‌های خواب سرمایه نیز لحاظ شده است.
- موجودی ابتدای دوره صفر لحاظ شده است. دلیل این امر این است که در مدل تحقیق برنامه‌ریزی تأمین بین دو دوره تعطیلات مدنظر قرار گرفته است که در این شرایط نیز موجودی معمولاً به صفر می‌رسد.
- تمامی تأمین‌کنندگان ظرفیت محدودی دارند و معمولاً تأمین‌کنندگان به‌تنهایی قادر به تأمین تمامی اقلام مورد نیاز شرکت نیستند. به‌علاوه، بر اساس اطلاعات موجود، ظرفیت تأمین‌کننده در هر دوره ثابت است.
- با توجه به وجود هزینه‌های ثابت در راه‌اندازی خط تولید تأمین‌کننده، و همچنین سیاست‌های شرکت مبنی بر عدم تأمین تمامی اقلام مورد نیاز از یک تأمین‌کننده، لازم است تا محدودیت حداقل و حداکثر برای هر یک از اقلام در هر دوره در نظر گرفته شود. این محدودیت، اضافه بر محدودیت ظرفیت تأمین‌کننده است.
- کمبود در هر دوره مجاز بوده و هزینه‌های آن از اطلاعات آرشیوی شرکت، مبتنی بر هزینه‌های توقف خط، هزینه‌های تأمین اضطراری، هزینه‌های تأخیر در تحویل به مشتری محاسبه و همچون درصدی از هزینه‌های خرید لحاظ شده است.
- نگهداری اقلامی که طی هر دوره مصرف نمی‌شوند، نیازمند در اختیار داشتن مقداری فضا (بر اساس فضای مورد نیاز محصول) است. به‌علاوه، کل فضای در اختیار برای انبارش هر قلم (یا فضای تخصیص‌یافته به هر تأمین‌کننده) نیز محدود بوده که در مدل لحاظ شده است.
- با توجه به سیاست‌های شرکت، و به‌منظور جلوگیری از پیچیدگی‌های همکاری با تعداد زیادی تأمین‌کننده، محدودیتی برای تعداد تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شده است.
- ماهیت قطعات و اقلام به صورتی است که تولید آنها نیازمند صرف هزینه‌های ثابت تنظیم دستگاه‌ها و ماشین‌آلات است. با توجه به اینکه هزینه‌های مزبور بر تعداد تولید سرشکن می‌شود و با افزایش تولید، سهم هزینه تخصیص‌یافته به هر واحد کاهش می‌یابد،

تأمین کنندگان تخفیفاتی را بر اساس کمیت خرید در هر دوره ارائه می‌دهند که در مدل لحاظ شده است.

- بودجه خرید ماهیانه شرکت متأثر از وضعیت نقدینگی شرکت (و عموماً مقدار محصول فروش رفته) پیش‌بینی و لحاظ شده است.
- قیمت‌گذاری قطعات بدین صورت است که در ابتدای سال با تأمین کنندگان مذاکره و قیمت محصولات (و همچنین رویه تخفیف) برای یک سال کامل تعیین و نهایی می‌شود. این قیمت‌ها معمولاً طی سال ثابت است.

### یافته‌های پژوهش

#### شناسایی، دسته‌بندی و غربال معیارها

به‌منظور شناسایی معیارهای اثرگذار، از مطالعات کتابخانه‌ای و مصاحبه با خبرگان استفاده شده است. پس از آن، لیستی شامل ۳۶ معیار استخراج و با توجه به دسته‌بندی‌های متداول در ادبیات طبقه‌بندی شده است. سپس، به‌منظور انتخاب معیارهای مهم، پرسشنامه‌ای (مبتنی بر طیف لیکرت) تهیه و بین خبرگان توزیع شد. برای انتخاب معیارها، از روش ناپارامتری آزمون علامت یک‌نمونه‌ای (در سطح خطای ۰/۰۵ درصد استفاده شده است که آزمون فرض آن به شرح زیر بوده است:

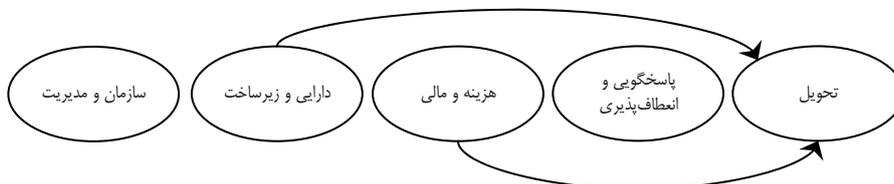
$$\begin{cases} H_0 : \mu \leq 3 \\ H_1 : \mu > 3 \end{cases}$$

در صورتی که فرض  $H_0$  پذیرفته شود، اهمیت معیار کمتر از حد میانگین برآورد می‌شود. بنابراین، معیارهایی که آزمون فرض  $H_0$  در مورد آنها رد می‌شود، معیارهای نهایی انتخاب شدند.

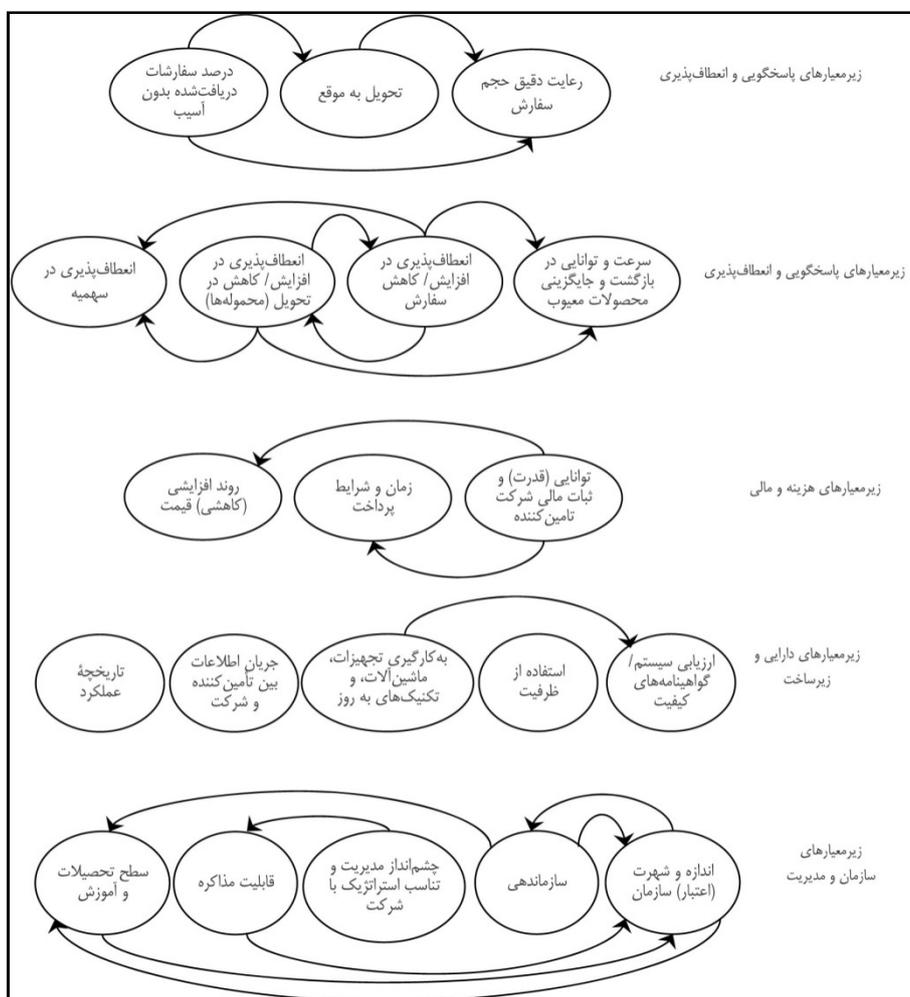
#### شناسایی روابط متقابل میان معیارها و زیرمعیارها با اجرای روش دیمتل<sup>۱</sup>

به‌منظور اجرای روش دیمتل از پرسشنامه استفاده شده است. در این روش، از پاسخ‌دهندگان خواسته شد تا تأثیر یک معیار بر معیار دیگر را با استفاده از طیف صفر (بدون تأثیر) تا چهار (حداکثر تأثیر) اندازه‌گیری کنند. پس از استخراج ماتریس روابط کل برای کلیه معیارها و زیرمعیارها، ارزش آستانه مشخص و نقشه تأثیر روابط ترسیم می‌شود. پس از بررسی‌های لازم، ارزش آستانه معادل با ۰/۵ انتخاب و نقشه تأثیر - روابط (وابستگی میان سطوح) ترسیم شد (شکل‌های ۳ و ۴).

۱. به‌منظور جلوگیری از طولانی‌شدن مقاله محاسبات مربوط به روش دیمتل ارائه نشده است.



شکل ۳. نقشه تأثیر - روابط برای معیارهای اصلی



شکل ۴. نقشه تأثیر - روابط برای زیرمعیارها

### اجرای فرایند تحلیل شبکه

در این تحقیق، به منظور محاسبه اوزان اهمیت معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از فرایند تحلیل شبکه استفاده شده است. به منظور استخراج اوزان اهمیت معیارها از پرسشنامه استاندارد فرایند تحلیل شبکه استفاده شد. بدین ترتیب از داوطلبان خواسته شد تا بر مبنای مقایسات زوجی اهمیت به هر معیار نسبت به سایر معیارها امتیاز دهند. این امتیازدهی در مورد وابستگی‌های استخراج‌شده از مرحله قبل (خروجی دیمتل) نیز انجام شد. در ادامه، ماتریس تصمیم گروهی مربوط به معیارهای اصلی وابستگی‌ها استخراج و نرمال شده و سپس بردار وزنی تأمین‌کنندگان در قبال معیارهای کیفی و کمی (با استفاده از پرسشنامه و اطلاعات آرشیوی) محاسبه شد.

پس از محاسبه بردارهای وزنی معیارها و امتیازات نسبی تأمین‌کنندگان در قبال معیارهای کمی و کیفی نوبت به محاسبه امتیازات نهایی تأمین‌کنندگان می‌رسد. بدین منظور، بردارهای حاصل در مراحل ذکر شده در قالب سوپر ماتریس (شکل ۵)، ترکیب و ماتریس حاصل با استفاده از نرم‌افزار متلب حل شده است. لازم به توضیح است که بردارهای  $W_{۳۳}$  و  $W_{۳۵}$  بردارهای وزنی مربوط به وابستگی‌ها بوده است.

	هدف	معیار	زیرمعیار	گزینه
هدف	I	∴	∴	∴
معیار	$W_{۳۱}$	$W_{۳۲}$	∴	∴
زیرمعیار	∴	$W_{۳۳}$	$W_{۳۳}$	∴
گزینه	∴	∴	$W_{۳۴}$	I

شکل ۵. شکل کلی سوپر ماتریس مورد استفاده در تحقیق

پس از تشکیل سوپر ماتریس و همگن کردن آن، نوبت به همگرا کردن آن و استخراج اوزان معیارها و همچنین امتیازات نهایی تأمین‌کنندگان می‌رسد. بدین منظور، سوپر ماتریس محدود شده را با استفاده از نرم‌افزار متلب به توان  $۲K + ۱$  ( $K$  عددی دلخواه است) می‌رسانیم. در این تحقیق، سوپر ماتریس در  $K$  معادل با ۲۴ همگرا شد. در جدول ۱، اوزان معیارها و در جدول ۲، امتیازات نهایی تأمین‌کنندگان (خروجی روش تحلیل شبکه‌ای) ارائه شده است.

۱. به منظور جلوگیری از طولانی شدن مقاله، متاثر از تعداد بالای معیارها و گزینه‌ها، از ارائه محاسبات مربوطه خودداری شده و فقط شکل کلی سوپر ماتریس مورد استفاده ارائه شده است.

جدول ۱. اوزان معیارها و زیرمعیارها - خروجی فرایند تحلیل شبکه‌ای

وزن هر زیرمعیار نسبت به هدف	وزن زیرمعیار نسبت به معیار	شاخص	وزن هر معیار نسبت به هدف	معیار
۰/۰۷	۰/۲۰	درصد سفارشات دریافت‌شده به صورت کامل	۰/۳۵	تحویل (C <sub>۱</sub> )
۰/۱۹	۰/۵۴	درصد سفارشات دریافت‌شده در زمان تعهدشده		
۰/۰۹	۰/۲۷	درصد سفارشات دریافت‌شده بدون آسیب		
۰/۰۲	۰/۲۶	سرعت و توانایی در بازگشت و جایگزینی محصولات معیوب	۰/۰۶	پاسخگویی و انعطاف‌پذیری (C <sub>۲</sub> )
۰/۰۲	۰/۲۵	انعطاف‌پذیری در افزایش / کاهش سفارش		
۰/۰۲	۰/۲۶	انعطاف‌پذیری در افزایش / کاهش در تحویل (محموله‌ها)		
۰/۰۱	۰/۲۲	انعطاف‌پذیری در سهمیه		
۰/۱۴	۰/۳۸	معیار کیفی توانایی (قدرت) و ثبات مالی شرکت تأمین‌کننده	۰/۳۸	هزینه و مالی (C <sub>۳</sub> )
۰/۰۵	۰/۱۳	زمان و شرایط پرداخت		
۰/۱۸	۰/۴۸	روند افزایشی (کاهش) قیمت		
۰/۰۷	۰/۳۹	ارزیابی سیستم / گواهینامه‌های کیفیت	۰/۱۱	دارایی و زیرساخت (C <sub>۴</sub> )
۰/۰۱	۰/۰۹	استفاده از ظرفیت		
۰/۰۳	۰/۲۵	به کارگیری تجهیزات، ماشین‌آلات، و تکنیک‌های به		
۰/۰۱	۰/۱۱	قابلیت‌های تبادل الکترونیکی داده‌ها		
۰/۰۲	۰/۱۷	تاریخچه عملکرد	۰/۱۰	سازمان و مدیریت (توانمندی سازمانی) (C <sub>۵</sub> )
۰/۰۲	۰/۱۵	اندازه و شهرت (اعتبار) سازمان		
۰/۰۲	۰/۲۱	سازماندهی		
۰/۰۲	۰/۲۰	چشم‌انداز مدیریت و تناسب استراتژیک با شرکت		
۰/۰۳	۰/۲۹	قابلیت مذاکره		
۰/۰۲	۰/۱۵	سطح تحصیلات و آموزش		

جدول ۲. امتیازات نهایی تأمین کنندگان با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای

رتبه	امتیاز محاسبه شده با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای	ردیف (کد تأمین کننده)
۱	۰/۱۹۴	۱
۲	۰/۱۸۷	۲
۴	۰/۱۲۸	۳
۵	۰/۱۲۳	۴
۷	۰/۱۰۶	۵
۶	۰/۱۲	۶
۳	۰/۱۴۲	۷

### ساخت مدل چندمحصوله – چنددوره‌ای در حالت قطعی

پس از تعریف متغیرهای تصمیم و پارامترها، اهداف و محدودیت‌های مدل، محقق به ساخت مدل عددی تحقیق اقدام کرد. این مدل از چارچوب استاندارد برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مخلوط چندهدفی پیروی می‌کند. با توجه به گسترده بودن ابعاد مدل مذکور ( $6 \times 3 \times 7 \times 4$  بعد)، از ارائه مدل عددی داده‌های گردآوری شده برای مدل عددی خودداری شده است<sup>۱</sup>. مراحل ساخت مدل ریاضی تحقیق را می‌توان به صورت گام‌های زیر بیان نمود:

الف) تعریف متغیرهای تصمیم و پارامترهای مدل: اندیس‌های مدل تحقیق عبارت‌اند از:

- I مجموعه محصولات که باید خریداری شوند.
- K مجموعه بالقوه‌ای از تأمین کنندگان
- M مجموعه صعودی نقاط شکست تخفیف‌های کلی
- T مجموعه دوره‌های زمانی

ب) متغیرهای تصمیم مسئله عبارتند از:

- $X_{ikmt}$  مقداری از محصول  $i$  که از تأمین کننده  $k$  در سطح قیمت  $m$  و در دوره  $t$  خریداری می‌شود.

۱. تعداد محدودیت‌های مدل در حالت وجود ۱۵ تأمین کننده، سه سطح تخفیف و ۲۰۰ محصول بیش از ۱۱۰ هزار محدودیت خواهد بود.

$Z_{kt}$	نشان‌دهنده این است که تأمین‌کننده $k$ در دوره $t$ انتخاب شده است یا خیر (متغیر صفر و یک).
$Y_{ikmt}$	یک متغیر صفر و یک است، در صورتی که سطح قیمت $m$ استفاده شود. مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.
$I_{it}$	موجودی خالص محصول $i$ در انتهای دوره زمانی $t$
$I^+_{it}$	موجودی در دست محصول $i$ در انتهای دوره زمانی $t$
$I^-_{it}$	میزان سفارشات معوق محصول $i$ در انتهای دوره زمانی $t$
(ج) پارامترهای مدل نیز عبارت‌اند از:	
$P_{ikm}$	هزینه تهیه یک واحد از محصول $i$ از تأمین‌کننده $k$ در سطح قیمت $m$
$b_{ikm}$	تعدادی که در آن شکست‌های قیمت صعودی برای محصول $i$ توسط تأمین‌کننده $k$ رخ می‌دهد.
$F_k$	هزینه ثابت سفارش مربوط به تأمین‌کننده $k$
$d_{it}$	تقاضای محصول $i$ در دوره زمانی $t$
$l_{ik}$	زمان انتظار تأمین‌کننده $k$ برای تولید و تأمین محصول $i$
$q_{ik}$	سطح کیفیتی که تأمین‌کننده $k$ برای محصول $i$ ارائه می‌دهد. این پارامتر براساس درصد خرابی مشخص می‌شود.
$CAP_{ik}$	ظرفیت تولید تأمین‌کننده $k$ برای محصول $i$
$N$	حداکثر تعداد تأمین‌کنندگان مد نظر شرکت در هر دوره
$h_i$	هزینه نگهداری هر واحد محصول $i$ به ازای هر دوره
$\pi_i$	هزینه کمبود هر واحد محصول $i$ به ازای هر دوره
$w_i$	میزان فضای مورد نیاز به منظور انبارش محصول $i$
$W_i$	حداکثر فضای در دسترس در انبار برای محصول $i$
$S_k$	مطلوبیت محاسبه‌شده برای تأمین‌کننده $k$
$B_t$	میزان بودجه پیش‌بینی‌شده برای خرید در هر دوره

$A_k$  حداقل درصد قابل قبول از ظرفیت تراک (با توجه به اینکه هزینه حمل بر عهده تأمین کننده است).

$C_k$  ظرفیت تراک تأمین کننده  $k$  (هر تراک)

د) تعیین اهداف: مرور ادبیات نشان می دهد که سه هدف کمینه کردن زمان انتظار تحویل (رابطه ۱۴)، کمینه کردن اقلام ردی یا بیشینه کردن کیفیت (رابطه ۱۵) و کمینه کردن هزینه کل (روابط ۹ تا ۱۳)، در ادبیات از بیشترین تکرار برخوردار بوده اند، و بنابراین، اهداف اصلی در نظر گرفته می شوند. به منظور لحاظ سایر معیارها در تحقیق، از تلفیق روش های دیمتل و فرایند تحلیل شبکه استفاده شده و با گنجاندن این معیارها در پرسشنامه ای استاندارد و توزیع پرسشنامه بین کارشناسان و خبرگان شرکت تحت بررسی و خبرگان عضو انجمن لجستیک ایران (در حدود ۴۷ پرسشنامه)، و تعریف هدف چهارم (رابطه ۲۴)، یعنی بیشینه کردن خروجی رویکرد تحلیل شبکه ای (رابطه ۱۶)، زمینه به منظور اجرای گام های بعدی تحقیق فراهم شد. بیان ریاضی اهداف مذکور به صورت زیر است:

د-۱) تابع هدف اول؛ حداقل کردن هزینه کل  $(Z_1)$ : هزینه کل شامل چهار جزء است: هزینه خرید، هزینه ثابت سفارش، هزینه نگهداری، و هزینه کمبود.

هزینه خرید کل: برابر است با مجموع هزینه خرید کلیه اقلام سالم منتخب از تأمین کنندگان برگزیده طی دوره های زمانی برنامه ریزی و در سطوح متفاوت قیمتی. هزینه مذکور به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\sum_i \sum_k \sum_m \sum_t p_{ikm} \cdot X_{ikmt} (1 - q_{ik}) \quad \text{رابطه ۹}$$

هزینه سفارش: هزینه ثابت سفارش مرتبط با انتخاب تأمین کننده  $k$  در دوره  $t$  برابر است با:

$$\sum_k \sum_t F_k \cdot Z_{kt} \quad \text{رابطه ۱۰}$$

هزینه نگهداری: هزینه نگهداری برای اقلامی محاسبه می شود که به دوره بعدی منتقل می شوند. نحوه محاسبه آن به صورت رابطه ۱۸ بیان می شود:

$$\sum_i \sum_t h_i \cdot I^+_{it} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

هزینه کمبود<sup>۱</sup>: نحوه محاسبه هزینه کمبود به صورت زیر است:

$$\sum_i \sum_t \pi_i \cdot I^-_{it} \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

در نهایت، هزینه کل برابر خواهد بود با مجموع هزینه‌های فوق:

$$TC = \sum_i \sum_k \sum_m \sum_t p_{ikm} \cdot X_{ikmt} (1 - q_{ik}) + \sum_k \sum_t F_k \cdot Z_{kt} \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$+ \sum_i \sum_t h_i \cdot I^+_{it} + \sum_i \sum_t \pi_i \cdot I^-_{it}$$

د-۲) تابع هدف ۲؛ کمینه کردن زمان انتظار ( $Z_p$ ): کمینه کردن زمان انتظار به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sum_i \sum_k \sum_m \sum_t l_{ik} \cdot X_{ikmt} \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

د-۳) تابع هدف ۳؛ کمینه کردن ارقام ردی (بیشینه کردن کیفیت) ( $Z_q$ ): کمینه کردن ارقام ردی به صورت تابع زیر بیان می‌شود:

$$\sum_i \sum_k \sum_m \sum_t q_{ik} \cdot X_{ikmt} \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

طبق تعریف، کیفیت بر اساس درصد محصولات برگشتی (معیوب) محاسبه می‌شود.

۱. اندازه‌گیری هزینه کمبود، یا هزینه عدم ارضای سفارش یک مشتری بسیار مشکل است. به منظور محاسبه این هزینه از اطلاعات آرشیوی شرکت (هزینه‌های توقف خط، ... استفاده شده است (Shortage cost).

د-۴) تابع هدف ۴؛ بیشینه کردن مطلوبیت ( $Z_p$ ): بیشینه کردن مطلوبیت، خروجی فرایند تحلیل شبکه است و به صورت تابع زیر بیان می‌شود:

$$\sum_i \sum_k \sum_m \sum_t S_k \cdot X_{ikmt} \quad \text{رابطه ۱۶}$$

ه) محدودیت‌های مدل: به منظور مشخص کردن محدودیت‌های مدل، از رویکردی مشابه رویکرد به کار گرفته شده در گام قبل استفاده شد. بدین ترتیب، با مطالعه ادبیات، مدارک و اسناد موجود، و همچنین برگزاری جلسات با مدیران و کارشناسان شرکت، محدودیت‌های مدل استخراج شد.

و) محدودیت ظرفیت: هر تأمین کننده  $k$  بیشینه ظرفیتی برای تولید محصول  $i$  در هر دوره  $t$  ( $CAP_{ik}$ ) دارد. بنابراین، کل سفارش تخصیص یافته به هر تأمین کننده در هر دوره  $t$  باید کمتر یا مساوی با حداکثر ظرفیت وی باشد. خواهیم داشت:

$$\sum_m X_{ikmt} \leq CAP_{ik} \quad \forall i, k, t \quad \text{رابطه ۱۷}$$

ز) معادلات موجودی: موجودی خالص انتهای دوره  $t$  برابر است با موجودی ابتدای دوره به اضافه مقدار محصول سالم خریداری شده منهای تقاضای دوره. جهت سهولت این مجموعه معادلات را می‌توان به صورت مجموع مقدار محصول  $i$  سالم خریداری شده منهای تقاضاها تا دوره  $t$  نشان داد (رابطه ۱۸). نتیجه معادله فوق مثبت (مازاد) و یا منفی (کمبود) خواهد بود (رابطه ۱۹).

$$I_{it} = \sum_k \sum_m \sum_{j=1}^t X_{ikmj} (1 - q_{ik}) - \sum_{j=1}^t d_{ij} \quad \forall i, t \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$I_{it} = I^+_{it} - I^-_{it} \quad \forall i, t \quad \text{رابطه ۱۹}$$

با توجه به اینکه  $h_i$  و  $\pi_i$  مثبت هستند و بردار ضرایب محدودیت‌ها برای متغیر  $I^+_{it}$ ، با متغیر  $I^-_{it}$  وابستگی خطی دارد، پس هر دو متغیر نمی‌توانند، به صورت همزمان، در جواب پایه

وجود داشته باشند. این بدین معنی است که محدودیت  $I_{it}^+ \times I_{it}^- = 0$  به صورت ذاتی ارضا می‌شود و نیازی به لحاظ کردن جداگانه آن در مدل نیست.

ح) حداکثر تعداد تأمین‌کنندگان: با توجه به خطامشی شرکت در مورد کاهش تعداد تأمین‌کنندگان، بیشینه تعداد تأمین‌کنندگان منتخب در هر دوره  $t$ ، باید کمتر یا مساوی عددی مشخص باشد. این محدودیت به شکل زیر تعریف می‌شود:

$$\sum_k Z_{kt} \leq N \quad \forall t \quad \text{رابطه ۲۰}$$

ط) محدودیت بودجه خرید در هر ماه: با توجه به پیش‌بینی‌های فروش انجام‌شده در ابتدای سال (و جریان نقدینگی شرکت)، در هر ماه بودجه‌ای برای خرید مواد اولیه در نظر گرفته می‌شود. محدودیت بودجه ماهیانه به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\sum_i \sum_k \sum_m p_{ikm} X_{ikmt} (1 - q_{ik}) \leq B_t \quad \forall t \quad \text{رابطه ۲۱}$$

ی) محدودیت حداقل و حداکثر سفارش از هر تأمین‌کننده در هر دوره: با توجه به اینکه در شرکت مورد بررسی، هزینه حمل سفارش بر عهده تأمین‌کننده است، هر تأمین‌کننده (به دلیل لزوم اثربخشی هزینه‌های حمل‌ونقل) کمیتی را برای کمینه مقدار سفارش در نظر می‌گیرد. از سوی دیگر، متأثر از سیاست‌های تأمین و تدارکات، شرکت سقفی را برای بیشینه مقدار سفارش در هر دوره از هر تأمین‌کننده در نظر می‌گیرد که این محدودیت‌ها به صورت روابط ۲۲ و ۲۳ تعریف می‌شوند.

$$\sum_i \sum_m w_i X_{ikmt} \geq A_k C_k * Z_{kt} \quad \forall k, t \quad \text{رابطه ۲۲}$$

$$\sum_i \sum_m w_i X_{ikmt} \leq M Z_{kt} \quad \forall k, t \quad \text{رابطه ۲۳}$$

ک) محدودیت‌های خطی کردن مدل: با وجود تخفیف‌های صعودی قیمت، تابع هدف غیرخطی است. مجموعه محدودیت‌های زیر به منظور خطی کردن تابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد:

$$X_{ikmt} \leq (b_{ikm} - b_{ikm-1}) * Y_{ikmt} \quad \forall i, k, t, 1 \leq m \leq m_k \quad \text{رابطه ۲۴}$$

$$X_{ikmt} \geq (b_{ikm} - b_{ikm-1}) * Y_{ik(m+1)t} \quad \forall i, k, t, 1 \leq m \leq m_{k-1} \quad \text{رابطه ۲۵}$$

می‌شود.  $p_{ikm}$  هزینه هر واحد برای سفارش  $X_{ikmt}$  عدد از تأمین کننده  $k$  در سطح  $m$  در دوره  $t$  است، اگر  $b_{i,k,m-1} < X_{ikmt} \leq b_{i,k,m}$  و داریم  $1 \leq m \leq m_k$ .

ل) محدودیت انبارش: با توجه به شکل و ماهیت قطعات، فضای انبار بر اساس قطعات قفسه‌بندی شده است. به عبارتی، هر بخش از انبار به منظور انبارش محصولی خاص تعبیه شده و امکان انبارش محصول مذکور در بخش دیگری از انبار وجود ندارد. محدودیت مذکور در رابطه ۲۶ به نمایش درآمده است.

$$w_i \left( \sum_i \sum_m \sum_j^t X_{ikmj} (1 - q_{ik}) - \sum_{j=1}^t d_{ij} \right) \leq W_i \quad \forall i, t \quad \text{رابطه ۲۶}$$

م) محدودیت ارضای تقاضای طی دوره  $T$ : سیاست شرکت در بخش تولید و فروش بر این اساس است که در انتهای دوره شش ماهه تمامی تقاضاها ارضا شد و تقاضای ارضاننده‌ای باقی نماند.

$$\sum_k \sum_m \sum_t X_{ikmj} (1 - q_{ik}) \geq \sum_t d_{it} \quad \forall i \quad \text{رابطه ۲۷}$$

ن) محدودیت مثبت، صحیح و یا صفر و یک بودن متغیرها: متغیرهای به کار رفته در مدل حاضر به دو دسته مثبت و عدد صحیح و صفر و یک دسته‌بندی می‌شوند که تعریف آنها در رابطه ۲۸ ارائه شده است.

$$X_{ikmt}, I_{it}^+, I_{it}^- \geq 0 \ \& \ Integer, Z_{kt}, Y_{ikmt} \in (0,1) \quad \text{رابطه ۲۸}$$

### ساخت مدل چندمحصوله - چنددوره‌ای در حالت غیرقطعی

پس از ساخت و اجرای مدل قطعی و استوار مبتنی بر سناریو در تحقیق نوبت به ساخت مدل استوار نوع دوم (لحاظ عدم اطمینان در متغیرهای طراحی) می‌رسد. همان‌طور که در فصل‌های دوم و سوم اشاره شد، به منظور عملی کردن این مدل لازم است تغییراتی در مدل قطعی تحقیق صورت گیرد. با توجه به مطالب بیان‌شده باید بیان داشت که در این رویکرد فقط تابع هدف به شکل رابطه<sup>۱</sup> زیر تغییر می‌یابد و هدف مسئله حداقل کردن نسبت فوق خواهد بود.

$$R(X) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{\hat{\sigma}_f}{\hat{\sigma}_{x_j}} \quad \text{رابطه ۲۹}$$

لازم به توضیح است که هرچه عدد حاصل کوچک‌تر باشد، تابع هدف در مقابل تغییرات متغیرهای تصمیم استواری و قوام بیشتری خواهد داشت. به منظور حل مسئله بهینه‌سازی استوار مدل مذکور (با استفاده از تک‌تک اهداف و تلفیق اهداف در قالب تابع هدف با استفاده از روش حداقل انحراف<sup>۲</sup>) با استفاده از الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب مدل‌سازی و اجرا شد<sup>۳</sup>.

جدول ۳. مقادیر پارامترهای مدل الگوریتم ژنتیک

مقدار	پارامتر	ردیف
۵۰۰۰	تکرار	۱
۰/۸	نرخ تقاطع	۲
۰/۱	نرخ جهش	۳
۱۰۰	تعداد اعضای جمعیت	۴

در جدول ۳، مقادیر پارامترهای مدل و در جدول ۴ بده‌بستان توابع هدف ارائه شده است<sup>۴</sup>.

۱. منظور از  $f$  و  $X$  در رابطه مذکور، تابع هدف و متغیر اصلی مسئله ( $X_{ikmt}$ ) است.

## 2. Minimum deviation

- برای کسب اطلاعات بیشتر درباره این روش می‌توان به (Gupta and Sivikumar (2002) مراجعه کرد.
۳. به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک از یک تابع معروفی استفاده شد که برای آزمودن الگوریتم‌های بهینه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.
۴. به منظور نمایش پایداری مدل می‌توان از بده‌بستان نهایی توابع هدف نیز به‌عنوان مبنایی برای ارزیابی استفاده کرد که در اینجا ارائه نشده است.

جدول ۴. جدول بده‌بستان اهداف مدل تحقیق در حالت غیرقطعی

شرح	تابع هدف اول (Z <sub>۱</sub> )	تابع هدف دوم (Z <sub>۲</sub> )	تابع هدف سوم (Z <sub>۳</sub> )	تابع هدف چهارم (Z <sub>۴</sub> )
تابع هدف اول (Z <sub>۱</sub> )	۹۴۲۴۴/۸ *	۹۷۶۷۱/۶	۹۶۷۸۹/۶	۹۸۲۰۷/۳
تابع هدف دوم (Z <sub>۲</sub> )	۱۶۹۶۶/۱	۱۵۱۸۵/۴ *	۱۶۳۱۵/۲	۱۷۵۰۹/۵
تابع هدف سوم (Z <sub>۳</sub> )	۱۴۸۴/۴	۷۵۵/۱	۵۴۷/۵ *	۱۵۳۴/۴
تابع هدف چهارم (Z <sub>۴</sub> )	۱۱۹۸۶/۹	۱۰۴۲۹/۹	۱۰۳۶۷/۱	۱۲۵۶۶/۲ *

\*. مقادیر بهینه تابع هدف

پس از اجرای مدل با توابع هدف لحاظ شده به صورت مجزا و یکپارچه و محاسبه اندازه انباشته به ازای هر تأمین کننده، و همچنین مقادیر توابع هدف لازم است تا مقادیر نهایی توابع هدف (پس از اجرای مدل با تابع هدف یکپارچه) و همچنین درصد پوشش هر یک از توابع (در مقایسه با مقدار بهینه حاصل از اجرای اهداف به صورت مجزا) محاسبه شود. در جدول ۵، مقادیر تابع هدف حاصل از حل نهایی مدل ارائه شده است.

جدول ۵. مقادیر توابع هدف محاسبه شده در حل نهایی مدل

ردیف	هدف	مقدار تابع هدف	مقدار بهینه تابع هدف	درصد پوشش تابع هدف
۱	حداقل نمودن هزینه کل	۹۵۱۰۰/۷۱	۹۴۲۴۴/۸ *	۹۹/۱
۲	حداقل نمودن زمان انتظار	۱۷۳۵۴/۷۴	۱۵۱۸۵/۴ *	۸۷/۸
۳	حداقل نمودن اقلام ردی	۱۰۰۲/۷۵	۵۴۷/۵ *	۵۴/۶
۴	حداکثر نمودن مطلوبیت	۱۳۱۹۹/۷۹	۱۲۵۶۶/۲ *	۹۵/۲

\*. مقادیر بهینه تابع هدف

همان طور که ملاحظه می شود، تابع هدف اول تقریباً به صورت کامل بهینه شده و اهداف حداقل کردن زمان انتظار و حداکثر کردن مطلوبیت نیز تا حد قابل قبولی بهبود یافته اند. فقط درصد پوشش هدف سوم، یعنی حداقل کردن اقلام ردی کمتر از ۶۰ درصد است.

### تخصیص سفارش به تأمین کنندگان

در نهایت، پس از اجرای تمامی مراحل فوق، خروجی مدل های مذکور به منظور تخصیص اندازه انباشته هر تأمین کننده در هر دوره در اختیار تصمیم گیرندگان قرار داده خواهد شد.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به اینکه انتخاب تأمین‌کننده یکی از مهم‌ترین ارکان موفقیت شرکت‌ها در دنیای کسب‌وکار امروز به شمار می‌رود، لازم است تا سیستم مناسبی را به منظور ارزیابی و انتخاب آنان به کار گرفت. بررسی‌ها حاکی از آن است که انتخاب تأمین‌کنندگان مسئله‌ای چندمعیاره و متأثر از عوامل مختلف و متفاوتی چون محیط صنعت، محیط فعالیت شرکت، و غیره است. چندین تحقیق به ماهیت چندمعیاره مسئله توجه و به منظور رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان از روش‌های وزن‌دهی همچون فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرایند تحلیل شبکه استفاده کرده‌اند. مزیت‌های مدل ارائه‌شده را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

۱. ارائه لیستی جامع از معیارها و زیرمعیارهای انتخاب تأمین‌کننده؛
۲. استفاده از روش دیمتل به منظور شناسایی روابط و وابستگی میان سطوح مختلف؛
۳. استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه؛ زیرا هم از نظر علمی روشی شناخته‌شده و توانمند است و هم درک و کاربرد آن در عمل ساده است؛
۴. تلفیق تمامی موارد مذکور در قالب مدلی چند هدفی؛
۵. لحاظ نوع خاصی از عدم اطمینان در مدل.

درنهایت، در مقاله حاضر ۳۶ معیار در پنج دسته تحویل، پاسخگویی و انعطاف‌پذیری، هزینه و مالی، دارایی و زیرساخت، و سازمان و مدیریت شناسایی شده که پس از اجرای روش ناپارامتری آزمون علامت یک‌نمونه‌ای، ۱۶ زیرمعیار، به دلیل اهمیت کمتر، حذف شده‌اند. نتایج حاصل از مقایسات نشانگر آن است که معیارهای هزینه و مالی (۰/۳۸)، تحویل (۰/۳۵) و دارایی و زیرساخت (۰/۱۱) به ترتیب، بیشترین میزان اهمیت را در میان معیارهای اصلی به خود اختصاص داده‌اند. در بین زیرمعیارهای گروه تحویل، تحویل به موقع با ۰/۵۴ مهم‌ترین زیرمعیار بوده است. در میان زیرمعیارهای گروه پاسخگویی و انعطاف‌پذیری نیز سرعت و توانایی در بازگشت و جایگزینی محصولات معیوب (۰/۲۶۵) بیشترین اهمیت را به خود اختصاص داده است. در میان زیرمعیارهای هزینه و مالی، روند افزایشی (کاهش) قیمت (۰/۴۸) بیشترین اهمیت را دارد. در گروه دارایی و زیرساخت نیز ارزیابی سیستم/گواهینامه‌های کیفیت (۰/۳۹)، مهم‌ترین معیار بوده است. درنهایت، در گروه معیارهای مرتبط با سازمان و مدیریت قابلیت مذاکره (۰/۲۹)، در رده اول بیشترین میزان اهمیت معیارها قرار دارد.

پس از محاسبه اوزان مربوط به اهمیت معیارها، لازم بود تا امتیاز نهایی تأمین‌کنندگان با توجه به معیارهای لحاظ‌شده، محاسبه شود. در این راستا، با در نظر گرفتن وابستگی داخلی در

بین برخی از معیارها (نتایج حاصل از اجرای روش دیمتل)، از رویکرد تحلیل شبکه‌ای استفاده شد، و در نهایت امتیاز تأمین‌کنندگان در قبال معیارهای کمی و کیفی محاسبه شد که بر اساس آن تأمین‌کنندگان ۱، ۲، و ۳ بیشترین امتیازات را به خود اختصاص دادند.

به منظور پاسخ به سؤالات دوم و سوم تحقیق مدل برنامه‌ریزی چندهدفی طراحی شد که پارامترها، محدودیت‌ها، و به‌طور کلی اطلاعات مورد نیاز برای ساخت این مدل از ادبیات تحقیق، مصاحبه با خبرگان، و بررسی اسناد و مدارک موجود در شرکت استخراج شد. مدل مذکور مدلی چندمحصوله، با چند تأمین‌کننده، چنددوره‌ای و با لحاظ تخفیف افزایشی، کمبود و مازاد بود که اجرای آن به سه سؤال اصلی مطرح‌شده در ادبیات (تعیین مقدار خرید از هر تأمین‌کننده در هر دوره، با مد نظر داشتن محدودیت‌های لحاظ‌شده) پاسخ داد. اهداف مدل مذکور شامل حداقل کردن هزینه کل (شامل هزینه‌های خرید، سفارش، نگهداری، و کمبود) بوده است. اجرای مدل مذکور به دستیابی به جواب بهینه برای مسئله طراحی‌شده در حالت قطعی منجر شد. به‌طور مشخص، در صورتی که تقاضای آتی معادل با تقاضای پیش‌بینی‌شده شرکت باشد، پاسخ مذکور بهترین جواب، حداقل هزینه‌ها، حداقل زمان انتظار، حداقل اقلام ردی، و حداکثر مطلوبیت را برای شرکت به همراه خواهد داشت. بدین ترتیب، هدف‌های فرعی دوم و سوم نیز محقق شدند. در مرحله بعدی، محقق به منظور لحاظ عدم اطمینان ذاتی در مسئله انتخاب تأمین‌کننده، مسئله را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی استواری کهجین و سندھوف (۲۰۰۳)، ارائه دادند، دوباره تعدیل و اجرا کرد. مدل برنامه‌ریزی استوار طراحی‌شده (لحاظ عدم اطمینان در متغیرهای طراحی) با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل شد. اجرای مدل و مقایسه آن با مدل قطعی نشانگر تحمیل هزینه‌های بیشتر به تصمیم‌گیرنده است، در عوض، پاسخ حاصل (با توجه به لحاظ عدم اطمینان) به تأمین و تدارک بهتری برای شرکت منجر خواهد شد. مدل مذکور فرایند تأمین و تدارکات شرکت را در مقابل تغییرات در متغیرهای طراحی (متأثر از متغیرهای برون‌زا) استوار خواهد کرد.

بررسی و مقایسه مدل با سایر مدل‌ها<sup>۱</sup> نشانگر آن است که مدل‌های ارائه‌شده توسط بسنت و لئونگ (۲۰۰۵)، رضایی و داوودی (۲۰۰۸) و صادقی‌مقدم، مؤمنی و نالچیگر (۱۳۸۸) بیشترین شباهت را با مقاله حاضر داشته‌اند. به منظور نمایش تمایزات مدل‌های ذکر شده نیز از جدول ۶ استفاده شده است.

۱. با تأکید خاص بر مقالات منتشرشده در مجله مدیریت صنعتی.

جدول ۶. مقایسه مدل تحقیق با مدل‌های موجود

بسنبت و لئونگ (۲۰۰۵)	رضایی و داوودی (۲۰۰۸)	صادق‌مقدم و همکاران (۱۳۸۸)	تحقیق حاضر	مدل
هزینه‌های خرید، سفارش	هزینه‌های خرید، سفارش، نگهداری	هزینه‌های خرید، نگهداری، ساخت، و حمل	هزینه‌های خرید، سفارش، نگهداری، و کمیود	تابع حداقل نمودن هزینه
لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ شده است	تابع حداقل نمودن زمان انتظار
لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ شده است	تابع حداقل نمودن اقلام ردی
لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ شده است	تابع حداکثر نمودن مطلوبیت
لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ شده است	ظرفیت تأمین‌کننده
با فرض وجود مازاد و با استفاده از یک	با فرض وجود مازاد و با استفاده از یک	با فرض وجود مازاد و با استفاده از دو دسته	با فرض وجود مازاد و کمیود با استفاده از دو دسته محدودیت مدل شده است	توازن موجودی
یک دسته محدودیت مدل شده است.	دسته محدودیت مدل شده است	دسته محدودیت (مربوط به قطعات و محصول نهایی) مدل شده است	با توجه به لحاظ کمیود و مازاد، رضای تقاضا در پایان دوره $t$ مدنظر قرار گرفته است	ارضای تقاضا
با توجه به لحاظ مازاد، رضای تقاضا در پایان هر دوره $t$ مدنظر قرار گرفته است	با توجه به لحاظ مازاد، رضای تقاضا در پایان هر دوره $t$ مدنظر قرار گرفته است	با توجه به لحاظ مازاد، رضای تقاضا در پایان هر دوره $t$ مدنظر قرار گرفته است	لحاظ شده است	انبارش
قرار گرفته است	لحاظ شده است	لحاظ شده است	لحاظ شده است	حداقل و حداکثر سفارش از هر تأمین‌کننده
لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ شده است	حداکثر تعداد تأمین‌کننده‌ی همکار در هر دوره
لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ شده است	محدودیت بودجه در هر دوره
با توجه به عدم لحاظ تخفیف لحاظ نشده است	با توجه به عدم لحاظ تخفیف لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ شده است	محدودیت خطی کردن مدل
لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ نشده است	لحاظ شده است	لحاظ عدم اطمینان در مدل

توصیه می‌شود سازمان‌ها و مؤسساتی که خرید در آنها نقشی اساسی ایفا می‌کند از مدل مذکور به منظور انتخاب تأمین‌کنندگان خود استفاده کنند. به منظور بهبود پژوهش‌های آتی پیشنهاد می‌شود:

- توسعه مدل ارائه‌شده با هدف حداکثر کردن منافع کلیه اعضای زنجیره تأمین؛
- توسعه مدل مذکور با مد نظر قرار دادن برنامه‌ریزی تولید و توزیع در مسئله به صورت یکپارچه؛
- لحاظ سایر انواع عدم اطمینان موجود در ادبیات به صورت مجزا و ترکیبی و توسعه مدل بر اساس آن و ارائه روش‌های حل با استفاده از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری؛
- تلفیق مدل با رویکردهای پیش‌بینی (برای مثال، استفاده از شبکه عصبی، و شبکه عصبی فازی)؛
- حل مدل استوار ارائه‌شده با استفاده از سایر روش‌های ابتکاری و فراابتکاری و مقایسه نتایج.

## منابع

- امیری، م. و جهانی، س. (۱۳۸۹). به‌کارگیری یک روش IDEA/AHP برای ارزیابی و انتخاب تأمین‌کنندگان. نشریه مدیریت صنعتی، ۲ (۵): ۱۸-۵.
- شاه‌بندرزاده، ح.؛ جعفرنژاد، ا. و ریسی، ر. (۱۳۹۰). به‌کارگیری تکنیک بهبودیافته تخصیص بدیهی با ترکیب دو حالت فازی و قطعی در انتخاب عرضه‌کنندگان زنجیره تأمین. نشریه مدیریت صنعتی، ۳ (۷): ۵۴-۳۷.
- صادقی مقدم، م. ر.؛ مؤمنی، م. نالچگیر، س. (۱۳۸۸). برنامه‌ریزی یکپارچه تأمین، تولید و توزیع زنجیره تأمین با به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک. نشریه مدیریت صنعتی، ۱ (۲): ۸۸-۷۱.
- فارسیجانی، ح. و عبدوس، م. ر. (۱۳۹۰). استفاده از مدل‌های فازی در سیستم‌های سفارش‌دهی کنترل موجودی. نشریه مدیریت صنعتی، ۳ (۶): ۱۱۲-۹۹.
- فراست، ع. ر. (۱۳۸۶). طراحی و کنترل هوشمند فرایندهای تولیدی: به‌کارگیری هوش مصنوعی در مهندسی کیفیت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران.
- هوشمندی ماهر، م. (۱۳۹۱). مدلی برای انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره در شرایط عدم قطعیت. رساله دکتری دانشکده مدیریت و حسابداری دانشگاه علامه طباطبائی.

- Aissaoui, N., Haouari, M., Hassini, E. (2007). Supplier selection and order lot sizing modeling: A review. *Journal of Computers & Operations Research*, 4 (34): 3516-3540.
- Basnet, C., Leung, J. M. Y. (2005). Inventory lot sizing with supplier selection. *Journal of Computers & Operations Research*, 32 (1): 1-14.
- Beyer, H.G and Sendhoff, B. (2007). Robust optimization – A comprehensive survey. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, 196 (33-34): 3190-3218.
- Ghodsypour, S.H. (1996). *A decision support system for supplier selection integrating analytical hierarchy process with operations research methods*. Theses (Ph.D.), University of Nottingham, Dept of manufacturing engineering and operations management, U.K.
- Guillen, G., Mele, E., Bagajewicz, M.J., Espuna, A., Puigjaner, L. (2005). Multiobjective supply chain design under uncertainty. *Chemical Engineering Science*, 60 (6): 1535-1553.
- Gupta, Amit K., Sivikumar, A.I. (2002). *Simulation based multiobjective schedule optimization in semiconductor manufacturing*. Proceeding of the 2002 winter simulation conference. Retrieved from: <http://www.informs-sim.org/wsc02/papers/257.pdf>.
- Min, H., Zhou, G. (2002). Supply chain modeling: past, present and future. *Journal of Computers and Industrial Engineering*, 43 (1-2): 231-249.
- Jin, Y. & Sendhoff, B. (2003). Trade-off between Performance and Robustness: An Evolutionary Multiobjective Approach. 2nd International Conference on Evolutionary Multicriterion Optimization, *Springer*, 2632: 237-252.
- Mendoza, E. (2007). *Effective methodologies for supplier selection and order quantity allocation*. A Thesis document submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of philosophy in industrial engineering and operation research, University of Pennsylvania.
- Monczka, R.M., Trent, R. and Handfield, R.M. (2005). *Purchasing & Supply Chain Management*. Thomson, Mason, OH.
- Peidro, D., Mula, J. Poler, R., Cruz Lario, F. (2009). Quantitative models for supply chain planning under uncertainty: a review. *The international Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 43 (3-4): 400-420.
- Quayle, M. (2006). *Purchasing and Supply Chain Management: Strategies and Realities*. (1<sup>th</sup> ed.), IRM Press.

- Rezaei, J., Davoodi, M. (2008). A deterministic, multi-item inventory model with supplier selection and imperfect quality. *Journal of Applied Mathematical Modelling*, 32 (10): 2106–2116.
- Van Weele A. (2009). *Purchasing and supply chain management*. (5<sup>th</sup> ed.), Cengage Learning press.
- Weber, C. A., Current, J. R. and Desai, A. (1998). Non-Cooperative Negotiation Strategies for Vendor Selection. *European Journal of Operational Research*, 108 (1): 208-223.
- Zhang, Zh., Lei, J., Cao, N., To, K. and Kengpo, N.G. (2004). *Evolution of supplier selection criteria and methods*. Proceedings of the Second Globelics Conference Innovation Systems and Development Emerging Opportunities and Challenges.