

## **Supplier Selection Problem Considering Relationships between Suppliers and Supply Disruption Risk in complex products**

**Zohreh Karimmian**

M.Sc., Dept. of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir University  
of Technology, Tehran, Iran, karimmian@aut.ac.ir

**Seyed Hasan Ghodsypour**

Professor, Dept. of Industrial Engineering and Management Systems, Amirkabir  
University of Technology, Tehran, Iran, ghodsipou@aut.ac.ir

**Jafar Gheidar-Kheljani \***

Assistant professor Management and soft Technology Complex, Malek Ashtar  
University of Technology, Tehran, Iran, heljani@mut.ac.ir

### **Abstract:**

Coordination and integration between components and subsystems in complex products such as computers, special simulators, aircraft has especial importance. Therefore, it is necessary to pay special attention to the selection of the suppliers for components and subsystems of these products. In other words, in the selection of suppliers for critical and complex components and subsystems, other criteria such as levels of compliance and coordination between suppliers should be considered. The main reason for the inclusion of these criteria in the supplier selection problem is that in the occurrence of supply disruption in sensitive and complex components and subsystems, it's not easy to switch to other similar suppliers. In this article the amount of compatibility and co-evolutionary between suppliers and their ability to establish interaction with each other as a criteria in supplier selection is modeled using mathematical programming and past performance of suppliers in disruption situation to preserve the most compatibility.

**Keywords:** mathematical programming, relationships between suppliers, supplier selection, supply chain, the risk of supply disruption

---

\* Corresponding author

مدیریت تولید و عملیات، دوره ۸، پیاپی ۱۵، شماره ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۶

دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۹/۰۷

صص: ۱۳۵-۱۵۰

## انتخاب تأمین کننده با در نظر گرفتن ارتباطات میان تأمین کنندگان و ریسک اختلال تأمین در محصولات پیچیده

زهره کریم‌میان<sup>۱</sup>، سید حسن قدسی پور<sup>۲</sup>، جعفر قیدر خلیجانی<sup>۳\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، karimmian@aut.ac.ir

۲- استاد، دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌های مدیریت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، ghodsipou@aut.ac.ir

۳- استادیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و فناوری‌های نرم، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، تهران، ایران، kheljani@mut.ac.ir

**چکیده:** هماهنگی و یکپارچگی بین قطعات و زیرسیستم‌ها در محصولات پیچیده مانند کامپیوترها، شبیه‌سازهای خاص، هواپیماها و ... اهمیت خاصی دارد؛ از همین رو لازم است در انتخاب تأمین کنندگان قطعات و زیرسیستم‌های این نوع محصولات توجه خاصی به این موضوع صورت گیرد. به عبارت دیگر در انتخاب تأمین کنندگان قطعات و زیرسیستم‌های حساس و پیچیده باید معیارهای دیگری مانند میزان تطابق و هماهنگی بین تأمین کنندگان نیز به‌عنوان یک معیار در نظر گرفته شود. دلیل اصلی گنجاندن این معیارها در مسأله انتخاب تأمین کننده این است که در صورت رویداد اختلال در تأمین قطعات و زیرسیستم‌های حساس و پیچیده نمی‌توان به راحتی به سراغ سایر تأمین کنندگان مشابه رفت. در این مقاله میزان هم‌خوانی و هم‌تکاملی بین تأمین کنندگان و توانمندی آنها در ایجاد تعامل با یکدیگر به صورت یک معیار در انتخاب تأمین کنندگان با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و عملکرد گذشته تأمین کنندگان در حالت اختلال با هدف حفظ بیشترین هم‌خوانی مدل‌سازی شده است.

**واژه‌های کلیدی:** ارتباطات میان تأمین کنندگان، انتخاب تأمین کننده، برنامه‌ریزی ریاضی، ریسک اختلال تأمین، زنجیره تأمین

## ۱- مقدمه

در دهه ۶۰ و ۷۰ میلادی سازمان‌ها جهت افزایش توان رقابتی خود تلاش می‌کردند با استانداردسازی و بهبود فرایندهای داخلی، محصولی با کیفیت بهتر و هزینه کمتر تولید کنند. در دهه ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای موردانتظار مشتریان، سازمان‌ها به‌طور فزاینده‌ای علاقه‌مند به افزایش انعطاف در خطوط تولید و توسعه محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان شدند. در دهه ۹۰ میلادی به‌همراه بهبود در فرایندهای تولید و به‌کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافتند که برای ادامه حضور در بازار تنها بهبود فرایندهای داخلی و انعطاف‌پذیری شرکت کافی نیست؛ بلکه تأمین‌کنندگان قطعات و مواد باید با بهترین کیفیت و کمترین هزینه تولید کنند و توزیع‌کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعه بازار تولیدکننده داشته باشند. با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیره تأمین و مدیریت آن پا به عرصه وجود نهاد. البته، انتخاب تأمین‌کننده مسأله جدیدی نیست و تحقیقات زیادی بر مدل‌سازی و مباحث مفهومی آن صورت پذیرفته است. در حقیقت، قبل از اینکه عبارت «مدیریت زنجیره تأمین» به وجود بیاید، تحقیقات زیادی با موضوع انتخاب فروشنده انجام گرفته است (وانگ و همکاران<sup>۱</sup> ۲۰۰۴). محصولات پیچیده از زیرسیستم‌های مختلفی تشکیل شده‌اند که باید در هماهنگی با هم، هدف و مأموریت اصلی محصول را به انجام برسانند. ماهواره‌ها، هواپیماها، کشتی‌های بزرگ، شبیه‌سازهای پیچیده و ... نمونه‌هایی از محصولات پیچیده هستند. انتخاب تأمین‌کننده در

محصولات پیچیده حساسیت‌ها و دقت‌های خاص خود را می‌طلبد. بعد از مشخص شدن ساختار این نوع محصولات در مرحله طراحی و قبل از ورود به مرحله تولید<sup>۲</sup> باید درباره خرید زیرسیستم‌هایی که نمی‌تواند تولید کند تصمیم بگیرد. برای دستیابی به این هدف، لازم است فرایندی برای انتخاب تأمین‌کننده هر زیرسیستم با توجه به هماهنگی بودن کل محصول و با در نظر گرفتن مشخصات لازم برای هر زیرسیستم توسط تأمین‌کنندگان تدوین شود. این بدان معنی است که نمی‌توان برای هر یک از زیرسیستم‌ها به‌طور جداگانه و بدون توجه به سایر زیرسیستم‌ها تأمین‌کننده مناسب را انتخاب کرد؛ بلکه باید هم‌خوانی بین زیرسیستم‌ها و قطعات نیز به‌عنوان یک معیار مدنظر قرار گیرد. به عبارت دیگر انتخاب تأمین‌کننده وابسته به هم‌خوانی بین زیرسیستم‌ها و قطعات است (کیم و وانگر<sup>۳</sup> ۲۰۱۲).

تأمین‌کنندگان رده اول متفاوتی قطعات مختلف یک محصول را می‌توانند تأمین کنند. بسیاری از محصولات، مانند هواپیماها، اتومبیل‌ها و تجهیزات الکترونیکی احتیاج به یکپارچگی بین قطعات از تأمین‌کنندگان رده اول دارند؛ بنابراین، هنگام توسعه محصول خریدار باید ارتباطات تأمین‌کنندگان رده اولی را که قطعات «دارای وابستگی»<sup>۴</sup> شان به یکدیگر وصل می‌شود، مدیریت کند (هانگ و هارتلی<sup>۵</sup> ۲۰۱۱). در صورت تطابق نداشتن قطعات در محصول نهایی، محصول مناسب مشتری نهایی نیست و هزینه این تطابق نداشتن به خریدار تحمیل خواهد شد.

واضح است که توجه به هم‌خوانی بین قطعات شاید درباره همه زیرسیستم‌ها و قطعات یک محصول

تأمین را با توجه به ضرورت هماهنگی برای تأمین قطعات در نظر بگیرد.

## ۲- مرور ادبیات

ارتباط میان تأمین‌کنندگان حوزه مهمی است که توجه زیادی را در ادبیات مدیریت زنجیره تأمین به خود جلب کرده است. چوی و وو<sup>۷</sup> (۲۰۰۹)، بیان کرده‌اند که ارتباط میان تأمین‌کنندگان معمولاً به صورت مستقل از ارتباط هریک از تأمین‌کنندگان با خریدار در نظر گرفته می‌شود که در عمل کارایی لازم را ندارد؛ مثلاً برخی خودروسازان ژاپنی، تأمین‌کنندگان خود را تشویق به رقابت می‌کردند تا از این طریق به بهترین طراحی برای قطعه موردنظر دست پیدا کنند. این نوع روابط میان تأمین‌کنندگان می‌تواند بر مسائل مختلفی اثرگذار باشد؛ یکی از مهم‌ترین آنها، تأثیری است که بر قدرت چانه‌زنی نسبی تأمین‌کنندگان با خریدار دارد. موارد دیگر می‌تواند نقش آنها در اثرگذاری بر ایجاد هم‌افزایی و کاهش هزینه باشد.

وو و چوی (۲۰۰۵)، ویژگی‌های روابط تأمین‌کننده-تأمین‌کننده و تأثیراتی را که در سود یا زیان عملکرد خریدار ایجاد می‌کنند بررسی کرده‌اند. در روابط همکارانه که تأمین‌کنندگان تبادل اطلاعات صریح دارند، لیدتایم تأمین کوتاه‌تر، قیمت محصول کمتر و کیفیت محصول بالاتر نتیجه خواهد شد. در روابط صمیمی میان تأمین‌کنندگان که تبادل اطلاعات ضمنی دارند، خریدار می‌تواند اتکای خود به یک تأمین‌کننده را کاهش دهد. در اتحاد و شراکت استراتژیک که همراه با تبادل اطلاعات کامل است، کیفیت بیشتر و هزینه خرید کمتر و ظرفیت تأمین انعطاف‌پذیرتر به دست می‌آید.

اهمیت نداشته باشد؛ بنابراین این بحث صرفاً در حوزه قطعات بحرانی مطرح می‌شود. یک قطعه بحرانی قطعه‌ای است که اختلال در آن به کاهش زیاد یا از بین رفتن کامل عملکرد محصول نهایی منجر می‌شود؛ بنابراین این قطعات باید در سطح بالایی از تطابق باشند. مشخص است که تعداد اندکی از این نوع قطعات در یک سیستم یا محصول وجود دارد.

موضوع دیگری که در این نوع از محصولات مهم است نگرانی از تأمین‌نشدن قطعات یا ازدست‌دادن تأمین‌کنندگان است؛ زیرا با توجه به هماهنگی که از قطعات تأمین‌کنندگان مختلف انتظار می‌رود، در صورتی که تأمین قطعات اولیه با اختلال مواجه شود، جایگزین کردن تأمین‌کننده مناسب کار آسانی نخواهد بود و ممکن است منجر به کاهش هم‌خوانی قطعات تأمین‌کنندگان جایگزین شده شود یا هزینه اضافی برای هماهنگ‌سازی تأمین‌کننده جدید با تأمین‌کنندگان قطعات مرتبط ایجاد کند. در بررسی مسأله اختلال در زنجیره تأمین، بررسی وجه تأمین دارای اهمیت ویژه‌ای است. در نظر گرفتن مسأله اختلال در مواردی که به وجه تأمین مربوط می‌شود منجر به آن خواهد شد که زنجیره‌های تأمین در برابر ریسک اختلال مقاوم‌تر باشند؛ بنابراین، سازمان‌ها باید به گونه‌ای تأمین‌کنندگان خود را انتخاب کنند و روابط خود را افزایش دهند که بتوانند زنجیره تأمین خود را در برابر اختلالاتی احتمالی مقاوم کنند (دارایی<sup>۶</sup>، ۲۰۱۱).

هدف از این پژوهش ارائه مدلی است که ارتباط میان اجزای مختلف یک محصول و ضرورت هم‌خوانی فنی آنها و به تبع آن ارتباط میان تأمین‌کنندگان را در مسأله انتخاب تأمین‌کننده لحاظ کند و ریسک اختلال

برهم‌کنش‌های تأمین‌کنندگان را در ارتباطات تأمین‌کننده-تأمین‌کننده بررسی کرده است.

هونگ و هارتلی<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۱)، سه راهکاری را که خریدار برای مدیریت ارتباطات میان تأمین‌کنندگان می‌تواند استفاده کند به صورت زیر معرفی کرده‌اند: استفاده از تیم‌های ترکیبی، ترغیب تأمین‌کنندگان به برقراری ارتباط با یکدیگر و طراحی‌های ماژولار. تأمین‌کنندگان رده اول متفاوتی قطعات مختلف مرتبط یک محصول را می‌توانند تأمین کنند؛ بنابراین، هنگام توسعه محصول خریدار باید ارتباطات تأمین‌کنندگان رده اولی را که قطعات «دارای وابستگی»شان به یکدیگر وصل می‌شود مدیریت کند.

کیم و واگنر (۲۰۱۲)، مطرح کرده‌اند که با توجه به مشخصات محصول و با در نظر گرفتن اینکه قطعات مختلف یک محصول باید بتوانند به خوبی در کنار یکدیگر قرار بگیرند تا محصول نهایی آن‌طور که انتظار می‌رود عمل کند، ارتباطات تأمین‌کننده-تأمین‌کننده باید طی فرایند انتخاب تأمین‌کننده مدنظر قرار گیرد. در واقع وقتی قطعات دارای وابستگی با یکدیگر هستند، انتخاب به راحتی امکان‌پذیر نخواهد بود؛ زیرا ممکن است برخی گزینه‌های موجود برای یک قطعه با گزینه‌های موجود برای قطعه دیگر ناهم‌خوان باشند.

شی و همکاران<sup>۱۲</sup> (۲۰۱۴)، مسأله تبادل اطلاعات میان دو تأمین‌کننده را تحلیل کرده‌اند. تأمین‌کنندگان در این مسأله به طور ضمنی یک ائتلاف تشکیل می‌دهند و حتی اطلاعات خصوصی هزینه‌ای خود را به اشتراک می‌گذارند. اگرچه این ارتباط تأمین‌کننده-تأمین‌کننده برای تأمین‌کننده برای تأمین‌کنندگان مفید بوده است، برای خریدار موجب ضرر بوده و اجتناب از ایجاد این ارتباط به خریدار توصیه شده است.

وانگ<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۸)، مدلی ارائه داده است که جهت تعویض یک قطعه در محصولی که قطعات آن با یکدیگر باید به خوبی متصل شوند و تأمین‌کنندگان متفاوتی برای هر قطعه وجود دارند زمان سرهم‌کردن و هزینه سرهم‌کردن به عنوان معیارهای ارزیابی در نظر گرفته می‌شوند. تغییر یک قطعه می‌تواند به تغییر قطعات دیگر بینجامد و به یک واکنش زنجیره‌ای دامن بزند. قضاوت نادقیق کارکرد محصول را دچار خرابی می‌کند یا منجر به کیفیت نامرغوب می‌شود. ممکن است محصول نتواند از آزمون مشتریان سربلند بیرون آید و واجد شرایط برای توزیع نباشد. ممکن است قطعاتی که لازم نیست تعویض شوند بی دلیل احتیاج به تعویض پیدا کنند و مشکلات مالی و زمانی به بار بیاورند.

چوی و وو (۲۰۰۹)، نشان داده‌اند که برای داشتن ماهیت شبکه‌ای، تعیین اینکه یک رابطه چه تأثیری بر رابطه دیگر دارد مهم است (مثلاً اینکه یک رابطه تأمین‌کننده-خریدار چه تأثیری بر یک رابطه تأمین‌کننده-تأمین‌کننده دارد). البته فراتر از آن لازم است مشخص شود که در ماهیت شبکه یک گره چگونه بر رابطه‌ای که به طور مستقیم به آن متصل نیست تأثیر می‌گذارد (مثلاً اینکه یک خریدار چگونه بر رابطه میان دو تأمین‌کننده تأثیر می‌گذارد). بنابراین لازم است در مدیریت ارتباطات در زنجیره تأمین، حداقل یک سه‌گانه تأمین‌کننده-تأمین‌کننده-خریدار به عنوان کوچک‌ترین ساختار سازنده شبکه بررسی شود. روزریا و همکاران<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۰)، سه‌گانه خریدار-تأمین‌کننده-تأمین‌کننده را به عنوان محصول جانبی دوگانه خریدار-تأمین‌کننده در شبکه‌های تأمین در دو شرکت بزرگ بررسی کرده است. ویلهلم<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۱)، با تمرکز بر تنش میان همکاری و رقابت،

تنها مدل کمی مناسب برای انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن ارتباط میان تأمین‌کنندگان ارائه نداده‌اند، بلکه ماهیت و روش‌های اندازه‌گیری ارتباط را نیز نشان نداده‌اند.

### ۳- روش تحقیق

در مدل ارائه‌شده در این مقاله هدف اصلی وارد کردن ارتباط میان تأمین‌کنندگان در یک مسأله انتخاب تأمین‌کننده است. در این مسأله فرض می‌شود که تعدادی تأمین‌کننده برای تأمین قطعات مختلف یک محصول وجود دارند که لازم است تأمین‌کنندگان مناسب از میان آنها انتخاب شود. قطعات در این مسأله باید دارای درجه تطابق‌پذیری بالایی با یکدیگر باشد؛ بنابراین باید ارتباط بین آنها در نظر گرفته شود. همچنین در این مسأله هریک از تأمین‌کنندگان دارای احتمالی از اختلال هستند که هر ترکیبی از اختلالات یک وضعیت نامیده می‌شود. هر وضعیت نشان‌دهنده اتفاق افتادن یا نیفتادن اختلال برای هریک از تأمین‌کنندگان در مجموعه تأمین‌کنندگان است.

مدل پایه برای توسعه، مقاله قدسی‌پور و ابرایان<sup>۱۵</sup> (۲۰۱۱) است؛ همچنین در زمینه مدل‌سازی ریسک اختلال از ساویک<sup>۱۶</sup> (2011a) و ساویک (2011b) استفاده شده است. سعی شده است در مدل پایه ارتباط میان تأمین‌کنندگان به صورت یک پارامتر که تعریف خواهد شد، گنجانده شود. ضروری است که مدل‌سازی به نوعی صورت بگیرد که: ۱. احتمال وقوع ریسک اختلال تأمین حداقل شود؛ ۲. با در نظر گرفتن احتمال آن برای هریک از

کافی و فاطمی قمی<sup>۱۳</sup> (۲۰۱۴)، با ارائه یک مدل نظریه بازی برای تحلیل ارتباطات خریدار-تأمین‌کننده و تأمین‌کننده-تأمین‌کننده، خلق ارزش را در زنجیره تأمین بررسی کرده‌اند. در زمینه ارتباطات تأمین‌کنندگان این‌طور نتیجه گرفته‌اند که در نظر گرفتن ارتباط میان تأمین‌کنندگان و برقراری هم‌زمان رقابت و همکاری میان آنان از مدل‌های پیشین ارزش بیشتری ایجاد می‌کند.

کاپور و مک‌گرت<sup>۱۴</sup> (۲۰۱۴)، تحقیق و توسعه مبتنی بر ادغام تکنولوژی را مورد بحث و بررسی قرار داده‌اند. آنها با یک بررسی آماری نشان داده‌اند که در این مسأله همچنان که همکاری عمودی میان تأمین‌کنندگان و خریداران ضروری به نظر می‌رسد، همکاری افقی میان تأمین‌کنندگان قطعات مکمل نیز مهم است. آنها اهمیت ارتباطات میان تأمین‌کنندگان را ناشی از وابستگی‌های متقابل در سیستم‌های نوآوری دانسته‌اند.

مدل‌های بررسی‌شده در مرور ادبیات نشان می‌دهد که اغلب پژوهش‌های موجود: (۱) از جنبه کسب و کار به ارتباطات میان تأمین‌کنندگان پرداخته‌اند و در قالب همکارانه یا رقابتی بودن روابط میان تأمین‌کنندگان و درجات مختلف این دو وضعیت بیان شده‌اند. به عبارت دیگر به مشخصات فنی محصول تولیدشده توسط این تأمین‌کنندگان و لزوم ارتباط بین قطعات توجهی نکرده‌اند و بیشتر روابط تجاری مطرح بوده است. (۲) این ارتباطات را بعد از انتخاب تأمین‌کنندگان لحاظ کرده‌اند و در زمان انتخاب تأمین‌کننده، به الزامات آن توجهی نداشته‌اند. (۳) مدل‌هایی که مشخصات فنی محصولات (هم‌خوانی فنی) را در نظر گرفته‌اند، نه

تأمین کنندگان و با توجه به تمامی وضعیت‌های اتفاق افتاده بیشترین هم‌خوانی ممکن اتفاق بیفتد؛ بنابراین مسأله با در نظر گرفتن ریسک اختلال تأمین مدل‌سازی می‌شود.

قلمروی موضوعی مسأله به شرح زیر است:

۱. مدل‌سازی به منظور انتخاب تأمین کنندگان مناسب و مشخص کردن میزان خرید از آنها و با در نظر گرفتن ارتباط میان تأمین کنندگان و ریسک اختلال تأمین انجام می‌شود.

۲. در این مسأله معیار حداقل هزینه با در نظر گرفتن حداقلی از کیفیت برای خریدار مدنظر است.

۳. مدل‌سازی برای بازه زمانی یک سال خواهد بود.

۴. کلیه پارامترها و متغیرهای مسأله قطعی هستند.

۵. می‌توان یک قطعه را از چند تأمین کننده مختلف تهیه کرد.

فرضیات مدل‌سازی نیز بدین شرح است:

• تقاضای سالانه خریدار ثابت است.

• کلیه تأمین کنندگان دارای ظرفیت محدودی هستند.

• بعد از دریافت حجم سفارش یک تأمین کننده و مصرف آن، سفارش از تأمین کننده بعد دریافت می‌شود.

• دوره سفارش دهی قطعات یکسان است.

• فرض می‌شود که تأمین کنندگان اختلالات محلی تصادفی<sup>۱۷</sup> دارند که ممکن است از خرابی ماشین آلات، ورشکستگی، بلایای طبیعی مانند زلزله، آتش سوزی، سیل و غیره منتج شده باشد.

• اختلالات محلی تأمین کنندگان از یکدیگر مستقل‌اند.

بر این اساس، پارامترها و متغیرهای مسأله به شرح زیر است:

D: تقاضای سالانه محصول نهایی

$i$ : نرخ هزینه نگهداری موجودی برای خریدار  
 Q: مجموع مقدار سفارش به تأمین کنندگان در هر دوره. با توجه به اینکه سفارش به صورت دوره‌ای انجام می‌شود و مقدار تقاضای سالانه ثابت و مشخص است، مقدار Q در دوره‌های مختلف ثابت و برابر  $Q=DT$  خواهد بود. در این مسأله فرض می‌شود که Q مقادیر اعشاری هم می‌تواند داشته باشد.

$Q_{ij}$ : مقدار سفارش  $j$  امین قطعه به تأمین کننده  $i$  ام.  

$$\sum_i^n \sum_j^m Q_{ij} = Q$$
  
 n: تعداد تأمین کنندگان

m: تعداد قطعات موجود در محصول

TAPC: هزینه کل سالانه‌ی خرید

$P_{ij}$ : قیمت  $i$  امین تأمین کننده برای  $j$  امین قطعه

$A_{ij}$ : هزینه سفارش دهی به  $i$  امین تأمین کننده برای  $j$  امین قطعه

$C_{ij}$ : ظرفیت سالانه  $i$  امین تأمین کننده برای  $j$  امین قطعه  
 $q_{ij}$ : نرخ تحویل کالای سالم از  $i$  امین تأمین کننده برای  $j$  امین قطعه به خریدار

$q_{ai}$ : حداقل نرخ قابل قبول تحویل کالای سالم برای  $i$  امین قطعه به خریدار

$e_j$ : هزینه جبران سفارش تأمین نشده محصول نهایی به دلیل کمبود قطعه‌ی  $j$

$\alpha_k$ : ضریب هماهنگی بین تأمین کنندگان  
 $(k=1, 2, \dots, f)$

TAIC: هزینه‌ای که براساس داده‌های تاریخی در طول یک سال به دلیل ناهم‌خوانی‌های موجود به شرکت تحمیل شده است.

f: تعداد ترکیبات شدنی تأمین کنندگان

Tk: عدد باینری که در صورت انتخاب ترکیب  $k$  ام از تأمین کنندگان برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.

$\pi_i$ : احتمال اختلالات محلی تأمین کننده  $i$ ، قطعات

کیفیت برای خریدار و در نظر گرفتن ارتباطات تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال برآورده شود.

### ۳-۱-۱-۱- تابع هدف

مدل تک‌هدفه است و هدف حداقل کردن هزینه‌های خریدار شامل هزینه خرید، هزینه سفارش‌دهی، هزینه نگهداری موجودی، هزینه تطابق‌نداشتن قطعات در محصول نهایی و هزینه کمبود قطعات در اثر ریسک اختلال است.

هزینه‌های خریدار = هزینه خرید + هزینه سفارش‌دهی + هزینه نگهداری موجودی + هزینه تطابق‌نداشتن قطعات در محصول نهایی + هزینه کمبود قطعات در اثر ریسک اختلال

معیار هزینه در بیشتر مسائل مطرح در انتخاب تأمین‌کننده به صورت حداکثر کردن سود یا حداقل کردن هزینه و... به‌عنوان یکی از اهداف مورد توجه بوده است (خلجانی<sup>۱۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۹؛ قدسی‌پور و ابرایان، ۲۰۰۱؛ سارما<sup>۱۹</sup> و همکاران، ۲۰۰۸).

هزینه خرید: همان‌طور که اشاره شد، مجموع درصد خریدی که به صورت سالانه از تأمین‌کننده نام انجام می‌شود برابر  $\sum_{j=1}^m X_{ij}$  است. با توجه به اینکه قیمت خرید هر واحد کالای  $j$  از تأمین‌کننده نام برابر  $P_{ij}$  است، مجموع سالانه هزینه خرید برابر است با:

$$\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ij} X_{ij} D \quad (2)$$

هزینه سفارش‌دهی: هر بار سفارش قطعه  $j$  نام به تأمین‌کننده نام هزینه‌ای معادل  $A_{ij}$  برای خریدار ایجاد خواهد کرد. بنابراین با توجه به اینکه در هر سال تعداد دوره‌ها و دفعات سفارش برابر  $\frac{1}{T}$  یا  $\frac{D}{Q}$  است، مجموعه هزینه سالانه سفارش‌دهی خریدار به کلیه تأمین‌کنندگان برابر است با:

$$\left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A_{ij} Y_{ij} \right) \times D/Q \quad (3)$$

سفارش‌داده شده از تأمین‌کننده  $i$  با احتمال  $(1-\pi_i)$  بدون اختلالات و با احتمال  $\pi_i$  هیچ کدامشان تأمین نخواهند شد.

$P_s^*$ : احتمال این است که وضعیتی اختلال  $s$  تحقق پیدا کند. هر وضعیتی  $s \in S$  شامل مجموعه یکتای  $I_s \subset I$  تأمین‌کنندگانی است که قطعات را بدون اختلال تأمین می‌کنند و  $S$  مجموعه اندیس تمامی وضعیت‌ها است. در اینجا  $2^n$  وضعیت وجود دارد، به این صورت که در هر وضعیت برای هر یک از تأمین‌کنندگان یا اختلال اتفاق می‌افتد یا اتفاق نمی‌افتد.

متغیرهای مسأله به شرح زیر هستند:

$X_{ij}$ : درصد مقدار تقاضای سالانه قطعه  $j$  که توسط تأمین‌کننده  $i$  تأمین می‌شود.

$Y_{ij}$ : متغیر باینری که در صورت انتخاب تأمین‌کننده  $i$  ام برای قطعه نام یک و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

با این تفاسیر روابط زیر را خواهیم داشت: (مقدار  $\frac{1}{T}$  نمایانگر تعداد دوره‌ها در یک سال است)

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \forall j=1, 2, \dots, m; x_{ij} = \frac{Q_{ij}}{DT}$$

$P_s^*$  احتمال وضعیتی اختلال  $s$  هنگام بروز اختلالات مستقل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_s^* = \prod_{i \in I_s} (1-\pi_i) \cdot \prod_{i \notin I_s} \pi_i \quad (1)$$

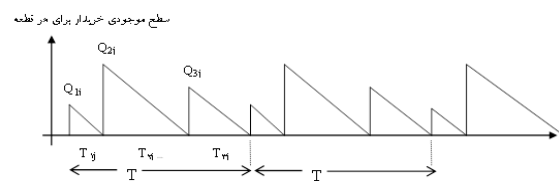
### ۳-۱-۱-۳ مدل‌سازی

یک خریدار در نظر دارد تا برای تهیه یک محصول قطعات آن را از تأمین‌کنندگان بالقوه تأمین کند به‌گونه‌ای که حداقل هزینه با محدودیت حداقل



هزینه نگهداری موجودی: همان‌طور که در فرضیات مسئله مطرح شد، همواره بعد از دریافت حجم سفارش داده شده به یک تأمین‌کننده و مصرف آن، سفارش از تأمین‌کننده بعدی دریافت می‌شود. به‌عنوان نمونه در حالتی که کل نیاز خریدار برای هر قطعه از طریق سه تأمین‌کننده با مقادیر  $Q_{1j}$ ،  $Q_{2j}$ ،  $Q_{3j}$  در هر دوره تأمین شود، نمودار موجودی خریدار به‌صورت شکل (۱) خواهد بود:

هزینه نگهداری موجودی: همان‌طور که در فرضیات مسئله مطرح شد، همواره بعد از دریافت حجم سفارش داده شده به یک تأمین‌کننده و مصرف آن، سفارش از تأمین‌کننده بعدی دریافت می‌شود. به‌عنوان نمونه در حالتی که کل نیاز خریدار برای هر قطعه از طریق سه تأمین‌کننده با مقادیر  $Q_{1j}$ ،  $Q_{2j}$ ،  $Q_{3j}$  در هر دوره تأمین شود، نمودار موجودی خریدار به‌صورت شکل (۱) خواهد بود:



شکل ۱- نمودار موجودی خریدار

هزینه تطابق‌نداشتن قطعات در محصول نهایی: همان‌طور که اشاره شد در صورت تطابق‌نداشتن قطعات در محصول نهایی، محصول مناسب مشتری نهایی نیست و هزینه این تطابق‌نداشتن به خریدار تحمیل خواهد شد. در این مسئله، ارتباط میان تأمین‌کنندگان روی قطعات مشخص در نظر گرفته می‌شود. این هزینه بین یک قطعه بحرانی از یک تأمین‌کننده و قطعه مرتبط با آن از تأمین‌کننده دیگر به‌صورت زیر مشخص می‌شود.

ابتدا باید با توجه به انتخاب تأمین‌کننده‌های صورت‌گرفته در گذشته و میزان خسارات سالانه وارده به شرکت در گذشته به‌دلیل مشکلات عدم‌هم‌خوانی یا فاصله از بیشترین کیفیت و هم‌افزایی ممکن، با گرفتن میانگین سالانه، پارامتر  $TAIC_0$  مشخص شود. با در نظر گرفتن این پارامتر و میزان خرید، هزینه سالانه تطابق‌نداشتن قطعات در محصول نهایی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$TAIC_0 - (TAIC_0 \times \sum_{k=1}^f \alpha_k T_k) = TAIC_0 (1 - \sum_{k=1}^f \alpha_k T_k) = TAIC_0 \times \sum_{k=1}^f \beta_k T_k \quad (6)$$

که در آن  $TAIC_0$  میانگین هزینه‌ای است که سالانه به‌دلیل ناهم‌خوانی‌های موجود به خریدار تحمیل می‌شود. تعداد تأمین‌کنندگانی که می‌توانند قطعه  $j$  را تأمین کنند  $n_j$  است؛ بنابراین  $2^{n_j}$  حالت برای انتخاب تأمین‌کننده وجود دارد. با توجه به محدودیت‌های ظرفیت تأمین‌کنندگان تعدادی از حالات حذف می‌شود، فرض می‌شود تعداد ترکیبات

همان‌طور که مشخص است متوسط موجودی خریدار به‌دلیل خرید قطعه  $j$  از تأمین‌کننده  $i$  نام برابر است با  $\frac{1}{2} T_{ij} Q_{ij}$  از طرفی با در نظر گرفتن این مسئله که نرخ مصرف موجودی توسط خریدار ثابت است، همواره تساوی  $\frac{Q_{ij}}{T_{ij}} = \frac{Q}{T}$  به ازای هر  $i$  و  $j$  برقرار است. با جای‌گذاری  $T$  از رابطه  $Q=TD$  در تساوی اخیر خواهیم داشت:  $T_{ij} = \frac{Q_{ij}}{D}$ . بدین ترتیب متوسط موجودی قطعه  $j$  از خریدار که به‌دلیل خرید از تأمین‌کننده  $i$  به دست می‌آید، برابر است با  $\frac{1}{2} \frac{Q_{ij}^2}{D}$ . با در نظر گرفتن این مسئله که نرخ هزینه نگهداری در هر واحد کالا برای خریدار برابر  $r$  بوده و هزینه هر واحد خرید قطعه  $j$  از تأمین‌کننده  $i$  نام نیز برابر  $P_{ij}$  است، کل هزینه موجودی برای خریدار در هر دوره برابر است با:

$$\sum_i \sum_j r P_{ij} \left( \frac{1}{2} \frac{Q_{ij}^2}{D} \right) = \frac{r}{2D} \sum_i \sum_j P_{ij} Q_{ij}^2 \quad (4)$$

با ضرب رابطه بالا در تعداد دوره‌ها  $\left(\frac{1}{T}\right)$  و همچنین در نظر گرفتن رابطه  $Q=TD$  و  $Q_i = T x_{ij}$  به‌ازای هر

نهایی برابر  $D$  واحد است و برای اینکه برای هر محصول نهایی به یک واحد قطعه نیازمندیم، باید مجموع خرید از تأمین‌کنندگان برابر میزان تقاضا باشد؛ بنابراین داریم:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1 \quad \forall j=1,2,\dots,m \quad (9)$$

محدودیت مربوط به ظرفیت تأمین‌کنندگان: هر تأمین‌کننده محدودیتی در تأمین تعداد تقاضاها دارد که این محدودیت‌ها به شکل زیر در مسأله اعمال خواهد شد:

$$X_{ij} D \leq C_{ij} \quad \forall i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m \quad (10)$$

محدودیت‌های منطقی جهت تبیین رابطه بین  $X_{ij}$ ها و  $Y_{ij}$ ها: همان‌طور که دیدیم،  $Y_{ij}$ ها مقادیر صفر و یک هستند که براساس انتخاب یا عدم‌انتخاب تأمین‌کننده  $i$ م برای تأمین قطعه  $j$ م به ترتیب مقدار یک یا صفر می‌گیرند. این رابطه در قالب سه نامساوی به صورت زیر در مسأله اعمال خواهد شد:

$$X_{ij} \leq Y_{ij}, \quad \forall i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m \quad (11)$$

$$X_{ij} \geq \varepsilon Y_{ij}, \quad \forall i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m \quad (12)$$

$$Y_{ij} = 0, 1 \quad \forall i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m \quad (13)$$

که تضمین می‌کنند که اگر  $Y_{ij}$  صفر باشد  $X_{ij}$  نیز صفر باشد، و اگر  $Y_{ij}$  برابر با یک باشد  $X_{ij}$  بزرگ‌تر از صفر باشد.

در روابط اخیر،  $\varepsilon$  یک مقدار به اندازه کافی کوچک است.

$$\sum_{k=1}^f T_k = 1 \quad (14)$$

تساوی فوق باعث می‌شود در هر بار یک ترکیب از تأمین‌کنندگان انتخاب شود. بنابراین مدل نهایی به صورت زیر است:

شدنی تأمین‌کنندگان  $f$  باشد. با توجه به اینکه  $T_k$ ها متغیر صفر و یک با مجموع ۱ ( $\sum_{k=1}^f T_k = 1$ ) هستند، هر بار فقط یکی از  $T_k$ ها مقدار ۱ خواهد گرفت و بنابراین یک ترکیب یکتا از تأمین‌کنندگان انتخاب خواهد شد.

نحوه محاسبه  $\alpha_k$  یا ضریب هم‌خوانی بین تأمین‌کنندگان در ادامه مسأله تعریف خواهد شد.

هزینه کمبود قطعات در اثر ریسک اختلال: این هزینه حاصل هزینه سفارش‌های انجام‌نشده منهای هزینه قطعات تحویل داده نشده است.  $e_j$  هزینه جبران سفارش تأمین‌نشده محصول نهایی به دلیل کمبود قطعه  $j$  است که با در نظر گرفتن تمامی وضعیت‌ها (هر وضعیتی SES) برای تمامی قطعات کل هزینه سفارش‌های انجام‌نشده را تشکیل می‌دهد. از این عدد باید هزینه خرید قطعات تحویل نشده که طبیعتاً پرداخت نمی‌شود، کم شود.

$$\sum_{s \in S} \sum_{j=1}^m \sum_{i \in I_s} P_s^* (e_j - X_{ij} P_{ij} D) \quad (7)$$

### ۳-۱-۲- محدودیت‌ها

چهار دسته محدودیت در این مسأله تعریف شده است:

محدودیت کیفیت:  $q_{aj}$  حداقل نرخ قابل قبول تحویل کالای سالم برای  $j$ مین قطعه به خریدار و  $q_{ij}$  نرخ تحویل کالای سالم از  $i$ مین تأمین‌کننده برای  $j$ مین قطعه به خریدار، و حجم خرید سالانه قطعه  $j$ م برابر با  $X_{ij} D$  است، محدودیت کیفیت را می‌توان به صورت زیر نشان داد:

$$\sum_{i=1}^n X_{ij} q_{ij} \geq q_{aj} \quad \forall j=1,2,\dots,m \quad (8)$$

محدودیت مربوط به ارضای تقاضای سالانه: همان‌طور که اشاره شد، تقاضای سالانه محصول

$$\min (TAPC) = \left( \frac{D}{Q} \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A_{ij} Y_{ij} \right) + \frac{rQ}{2} \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 P_{ij} \right) + \left( \sum_{s \in S} \sum_{j=1}^m \sum_{i \in I_s} P_s^* (e_j - X_{ij} P_{ij} D) \right) \right) \quad (15)$$

Subject to:  $\sum_{k=1}^f T_k = 1$   $\sum_{i=1}^n X_{ij} q_{ij} \geq q_{aj}, \forall j=1,2,\dots,m$   
 $X_{ij} D \leq C_{ij}, \forall i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m$   $X_{ij} \leq Y_{ij}, i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m$   
 $X_{ij} \geq \varepsilon Y_{ij}, i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m$   $\sum_{i=1}^n X_{ij} = 1, \forall j=1,2,\dots,m$   
 $X_{ij} \geq 0, j=1,2,\dots,n, i=1,2,\dots,n, Y_{ij} = 0,1, i=1,2,\dots,n, j=1,2,\dots,m$

### ۳-۱-۳- تبیین $\alpha_k$ ها

اعدادی که از این طریق به دست می‌آیند نرمال‌سازی می‌شوند. ابتدا حداکثر مقادیر  $\alpha_k$  با توجه به محدودیت‌ها باید مشخص شوند. بیشترین مقدار  $\alpha_k$  ها وقتی اتفاق می‌افتد که تمامی قطعات با بیشترین هماهنگی (مثلاً از یک تأمین‌کننده) خریداری شوند در این شرایط مقدار عبارت

$$\alpha_k = \sum_{s \in S} \sum_{j=1}^m \sum_{i \in I_s} \sum_{p \in I_s} P_s^* (X_{ij} * X_{pq}) * \alpha_{ijpq} \quad (17)$$

برابر  $\alpha_{ijst}(\max) * m^2$  خواهد بود. بنابراین با تقسیم مقادیر  $\alpha_{ijst}$  بر  $\alpha_{ijst}(\max) * m^2$  حداکثر مقدار  $\alpha_k$  یک خواهد بود. حداقل مقدار  $\alpha_k$  هم برابر صفر خواهد بود.

### ۳-۲- ساده‌سازی و حل مدل

برای ساده‌سازی مدل به دست آمده، اگر بتوان متغیر  $Q$  را از مسأله حذف کرد، حل مسأله براساس  $x_i$  ها ساده‌تر خواهد شد (قدسی پور و ابرایان، ۲۰۰۱). می‌دانیم اگر اولاً مشتق اول تابع  $Z(x)$  در نقطه  $x^*$  برابر صفر باشد (شرط لازم)، و ثانیاً مشتق دوم تابع  $Z(x)$  همواره به‌ازای کلیه مقادیر غیرصفر  $x$  یک عدد مثبت باشد (محدب)،  $x^*$  جواب بهینه کلی مسأله  $Min Z(x)$  است (قدسی پور، ۲۰۰۶). بنابراین داریم:

$$\frac{\partial F}{\partial Q} = \left( \frac{D}{Q^2} \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A_{ij} Y_{ij} \right) + \frac{r}{2} \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 P_{ij} \right) \right) \quad (18)$$

$$\frac{\partial^2 F}{\partial Q^2} = \left( \frac{D}{Q^3} \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A_{ij} Y_{ij} \right) \right) \quad (19)$$

بعد از اتفاق افتادن اختلال تأمین، باید برای سفارش تأمین‌نشده از تأمین‌کنندگان جدیدی استفاده کرد. بنابراین ضروری است با در نظر گرفتن احتمال اختلال تأمین، انتخاب بهینه با توجه به عدم حضور سفارش‌های دچار اختلال، انجام شود. با توجه به  $2^n$  وضعیتی موجود برای اتفاق افتادن اختلال، برای تعیین میزان  $\alpha_k$  که ضریب هم‌خوانی میان تأمین‌کنندگان در هر یک از  $f$  وضعیت شدنی ( $f = 1, 2, \dots, f$ ) انتخاب تأمین‌کنندگان است، می‌توان به‌روش زیر عمل کرد.

تعیین مقدار  $\alpha_k$  با استفاده از عملکرد گذشته تأمین‌کنندگان: در این روش از داده‌های خرابی (کیفیت نامناسب) گذشته در محصول نهایی که ناشی از هم‌خوانی نداشتن دو قطعه از محصول و زمان و هزینه اصلاح یا تعویض مشکل قطعات خراب است، استفاده می‌شود. برای هر قطعه  $i$  از هر تأمین‌کننده  $j$  با هر قطعه مرتب  $s$  از هر تأمین‌کننده  $t$  دیگر هزینه خرابی ( $DC_{ijst}$ ) و زمان خرابی از دست‌رفته به‌دلیل وقوع این خرابی ( $TC_{ijst}$ ) تعریف می‌شود. به‌منظور ساده‌سازی می‌توان زمان ناشی از تطابق نداشتن را به هزینه تبدیل نمود. برای سایر قطعات  $\alpha_{ijst}$  صفر در نظر گرفته می‌شود.  $\alpha_{ijst}$  نشان‌دهنده هم‌خوانی قطعه  $i$  از تأمین‌کننده  $j$  با قطعه مرتب  $s$  از تأمین‌کننده  $t$  است.

$$\alpha_{ijst} = \frac{1}{(DC_{ijst} + TC_{ijst})} \quad (16)$$

تابعی مانند  $\sqrt{(\sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 P_{ij})}$  تابع هزینه و به تبع آن، مدل به‌دست‌آمده به‌ازای مقادیر مشخص برای  $Y_{ij}$ ها محدب خواهد بود و می‌توان از روش‌های معمول برنامه‌ریزی چندهدفه به جواب بهینه رسید. در قدسی‌پور و ابرایان (۲۰۰۱)، تحدب تابعی مانند تابع گفته‌شده اثبات شده است؛ بنابراین به‌ازای مقادیر مشخص برای  $Y_{ij}$ ها، مدل اخیر یک مدل محدب است.

برای یافتن جواب بهینه مسئله اخیر می‌توان به‌ازای کلیه حالات  $Y_{ij}$ ها، یک مسئله بهینه‌سازی محدب را حل کرد و از میان جواب‌های به‌دست‌آمده، جواب بهینه را انتخاب کرد. با توجه به اینکه هر  $Y_{ij}$  دو حالت صفر و یک می‌تواند داشته باشد، برای یافتن جواب بهینه مسئله باید کلیه ترکیبات  $Y_{ij}$ ها که برابر  $2^{nm}$  است بررسی شود. برای  $n^*m$ های کوچک می‌توان کلیه حالات را بررسی کرد و جواب بهینه را یافت.

الگوریتم زیر از قدسی‌پور و ابرایان (۲۰۰۸)، برای حل مدل ارائه می‌شود:

۱. لیستی از تمام ترکیبات  $Y_{ij}$  برای هر قطعه تهیه کنید.
۲. وضعیت‌هایی که محدودیت‌های تقاضا را برای هر قطعه برآورده نمی‌کنند حذف کنید.
۳.  $Y_{ij}$ ها را برای قطعات مختلف ترکیب کنید تا لیست کاملی از  $Y_{ij}$ های شدنی به دست آید.
۴. مقادیر  $Y_{ij}$ ها را در مدل جای‌گذاری کنید تا برنامه‌ریزی عدد صحیح به PNP تبدیل شود.
۵. از نرم‌افزار برای حل PNPها استفاده کنید و بهترین جواب را بیابید.

با توجه به اینکه مقدار  $Q$  بزرگ‌تر یا مساوی صفر است، واضح است که مشتق دوم  $F$  نامنفی است؛ بنابراین، مقدار بهینه  $Q$  برای مقادیر ثابت  $X_{ij}$ ها به‌صورت زیر به دست می‌آید و می‌توان آن را در مسئله پایه جای‌گذاری کرد:

$$\frac{\partial f}{\partial Q} = 0 \Rightarrow Q^* = \sqrt{\frac{2D \sum_i \sum_j A_{ij} Y_{ij}}{r \sum_i \sum_j P_{ij} X_{ij}^2}} \quad (20)$$

با جای‌گذاری این مقدار در تابع هدف، مدل نهایی به‌صورت زیر خواهد بود.

(21)

$$\begin{aligned} \min \text{TAPC} = & \left( \sqrt{2D r \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n A_{ij} Y_{ij} \right) \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 P_{ij} \right)} \right) \\ & + \left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n P_{ij} X_{ij} D \right) + \left( \text{TAIC}_0 \times \sum_{k=1}^f \beta_k T_k \right) \\ & + \left( \sum_{s \in S} \sum_{j=1}^m \sum_{i \in I_s} P_s^* (e_j - X_{ij} P_{ij} D) \right) \end{aligned}$$

Subject to:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^f T_k &= 1 \\ \left( \sum_{i=1}^n X_{ij} q_{ij} \geq q_{aj} \right), \forall j=1,2,\dots,m \\ X_{ij} D &\leq C_{ij}, \forall i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m \\ X_{ij} &\leq Y_{ij}, \quad i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m \\ X_{ij} &\geq \varepsilon Y_{ij}, \quad i=1,2,\dots,n, \forall j=1,2,\dots,m \\ \sum_{i=1}^n X_{ij} &= 1, \forall j=1,2,\dots,m \\ X_{ij} &\geq 0, \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,m \\ Y_{ij} &= 0,1, \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,m \end{aligned}$$

همان‌طور که می‌بینید، تابع هدف به‌دلیل وجود متغیرهای گسسته ( $Y_{ij}$ ها)، غیرمحدب است و در حالت کلی مدل به‌دست‌آمده غیرمحدب است. البته به‌ازای مقادیر مشخصی برای  $Y_{ij}$ ها، شکل کلی تابع هزینه به‌صورت

$$B \cdot \sqrt{\left( \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n X_{ij}^2 P_{ij} \right) + K_{ij} \cdot \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n X_{ij} + L_{ij} \cdot X_{ij}^2}$$

تبدیل خواهد شد و با توجه به اینکه بخش دوم این تابع محدب است، در صورت اثبات تحدب

## ۳-۳- بررسی مثال عددی

در این مثال مسأله‌ای با ۵ تأمین‌کننده و تقاضای ۱۰۰۰ تایی برای محصول نهایی بررسی می‌شود. اطلاعات تأمین‌کنندگان به شرح جدول (۱) است. در این مسأله قطعات ۱ و ۲ بحرانی محسوب می‌شوند. سایر پارامترهای مسأله به شرح زیر است:

$$r=0.2; TAIC_0=1000 \$, q_{1j}=0.92; q_{2j}=0.90; q_{3j}=0.92; \pi_1=0,1, \pi_2=0,2, \pi_3=0,1, \pi_4=0,3, \pi_5=0,2; e_1=100, e_2=200, e_3=300$$

اطلاعات مربوط به ضریب هم‌خوانی میان تأمین‌کنندگان به شرح جدول (۲) است. به عنوان مثال در جدول فوق میزان هم‌خوانی قطعه ۲ از تأمین‌کننده ۱ و قطعه ۲ از همان تأمین‌کننده  $\alpha_{1112}$  است. ت-۱ نشان دهنده قطعه ۱ از تأمین‌کننده ۱ است.

## ۳-۳-۱- نتایج حاصل از مدل

بعد از حذف کردن وضعیت‌هایی که محدودیت اولیه ظرفیت را برآورده نمی‌کنند، در روش شاخه‌کردن  $Y_{ij}$ ها، برای قطعه اول و دوم و سوم از ۳۲ وضعیت موجود برای هر یک به ترتیب ۶، ۴، و ۶ وضعیت شدنی باقی ماند؛ بنابراین تعداد وضعیت‌های شدنی برای کل محصول که از حاصل ضرب این مقادیر به دست می‌آید ۱۴۴ است. با این روش به جای حل  $2^{10}$  وضعیت فقط ۱۴۴ وضعیت بررسی می‌شود که هر یک با محدودیت‌های مسأله حل شده و جواب‌های شدنی از میان آنها حذف شد. در جواب‌های شدنی به دست آمده کمترین آنها انتخاب می‌شود و به عنوان جواب مدل معرفی می‌شود.

جواب به دست آمده از حل مدل، هزینه خرید ۲۵۹۵,۷۷۲ دلار است.

همان‌طور که پیش از این اشاره شد، برای یافتن جواب بهینه مسأله باید کلیه ترکیبات  $hY_{ij}$  که برابر  $2^{n*m}$  است بررسی شود که برای  $n*m$ های کوچک می‌توان کلیه حالات را بررسی کرد و جواب بهینه را یافت؛ اما برای  $n*m$ های بزرگ‌تر، تابع پیچیدگی زمانی الگوریتم حل مسأله دارای مرتبه زمانی نمایی است.

به عبارتی با توجه به اینکه برای هر یک از ترکیبات  $Y_{ij}$ ، حل مسأله در زمان چندجمله‌ای  $p$  به جواب می‌رسد، زمان دستیابی به جواب بهینه مسأله برابر  $2^{n*m}p$  خواهد بود و از این رو مسأله متعلق به «کلاس NP»<sup>۲۱</sup> است و با یک مسأله NP-Hard مواجه خواهیم بود. برای حل مسأله در مقادیر بزرگ  $n*m$ ، با توجه به محدودیت‌های زمانی، نمی‌توان کلیه حالات ممکن مسأله را بررسی کرد و جواب بهینه را به دست آورد. از این رو برای حل مسأله در ابعاد بزرگ باید از روش‌های ابتکاری کمک گرفت. در این مقاله از روش معرفی شده توسط قدسی پور و همکاران (۲۰۱۱)، برای حل این مسأله استفاده شده است. جواب به دست آمده از حل مدل در این وضعیت برابر ۲۸۹۷,۳۳۲ دلار است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با استفاده از الگوریتم ابتکاری جواب بدتری به دست آمد که با توجه به اختلاف ۱۱/۶ درصدی با جواب حل قطعی و کاهش چشمگیر زمان حل، جواب مناسبی به نظر می‌رسد.

جدول ۱- اطلاعات تأمین‌کنندگان

ظرفیت تأمین‌کنندگان $C_{ij}$	کیفیت $q_{ij}$	قیمت بر حسب دلار $P_{ij}$	هزینه سفارش‌دهی بر حسب دلار $A_{ij}$	
۳۰۰	۰,۹۲	۹	۹	تأمین‌کننده ۱- قطعه ۱
۲۰۰	۰,۹۲	۱۰	۶	تأمین‌کننده ۱- قطعه ۲
۲۰۰	۰,۹۵	۳۰	۵	تأمین‌کننده ۱- قطعه ۳
۳۰۰	۰,۹۵	۱۶	۴	تأمین‌کننده ۲- قطعه ۱
۲۰۰	۰,۹۰	۸	۵	تأمین‌کننده ۲- قطعه ۲
۲۰۰	۰,۹۲	۲۸	۶	تأمین‌کننده ۲- قطعه ۳
۳۰۰	۰,۹۸	۲۰	۸	تأمین‌کننده ۳- قطعه ۱
۳۰۰	۰,۹۵	۶	۳	تأمین‌کننده ۳- قطعه ۲
۳۰۰	۰,۹۰	۲۵	۸	تأمین‌کننده ۳- قطعه ۳
۲۰۰	۰,۹۸	۱۵	۶	تأمین‌کننده ۴- قطعه ۱
۳۰۰	۰,۹۵	۱۲	۳	تأمین‌کننده ۴- قطعه ۲
۳۰۰	۰,۹۵	۳۲	۵	تأمین‌کننده ۴- قطعه ۳
۳۰۰	۰,۹۲	۱۸	۸	تأمین‌کننده ۵- قطعه ۱
۲۰۰	۰,۹۲	۱۰	۶	تأمین‌کننده ۵- قطعه ۲
۳۰۰	۰,۹۰	۲۸	۸	تأمین‌کننده ۵- قطعه ۳

جدول ۲- ضریب هم‌خوانی میان تأمین‌کنندگان

ت-۵	ت-۴	ت-۳	ت-۲	ت-۱	ت-۵	ت-۴	ت-۳	ت-۲	ت-۱	
ق ۲	ق ۲	ق ۲	ق ۲	ق ۲	ق ۱	ق ۱	ق ۱	ق ۱	ق ۱	
۱۷	۱۸	۱۵	۱۵	۱۰	-	-	-	-	-	ت-۱ ق ۱
۱۶	۱۲	۱۶	۲۰	۱۸	-	-	-	-	-	ت-۲ ق ۱
۱۹	۱۳	۱۶	۱۵	۱۲	-	-	-	-	-	ت-۳ ق ۱
۱۲	۱۴	۱۸	۱۵	۱۳	-	-	-	-	-	ت-۴ ق ۱
۱۵	۱۵	۱۸	۱۵	۳	-	-	-	-	-	ت-۵ ق ۱
-	-	-	-	-	۱۳	۱۳	۱۲	۱۸	۱۰	ت-۱ ق ۲
-	-	-	-	-	۱۵	۱۵	۱۵	۲۰	۱۵	ت-۲ ق ۲
-	-	-	-	-	۱۸	۱۸	۱۶	۱۶	۱۵	ت-۳ ق ۲
-	-	-	-	-	۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۸	ت-۴ ق ۲
-	-	-	-	-	۱۵	۱۲	۱۹	۱۶	۱۷	ت-۵ ق ۲

#### ۴- بحث

مسأله انتخاب تأمین‌کننده به خریدار تحمیل خواهد شد و باید هزینه‌های تحمیل‌شده به مدل در صورت در نظر گرفتن ارتباطات تأمین‌کنندگان با حالتی که در آن ارتباط تأمین‌کنندگان دیده نشده است مقایسه شود. همچنین فرض‌هایی جهت نزدیک‌تر شدن مسأله به

کاهش هزینه‌های خریدار با در نظر گرفتن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان هدف اصلی این پژوهش است. برای بررسی کارایی مدل، باید نشان داد که هزینه کمتری با در نظر گرفتن ارتباطات تأمین‌کنندگان در

تأمین‌کننده نشان داده شد. هدف اصلی تعیین شده در این تحقیق تهیه مدلی بود که در آن هماهنگی مؤثر بین تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال تأمین در نظر گرفته شود به نحوی که بتوان از هزینه‌های احتمالی آتی تأمین‌کنندگان جلوگیری کرد و بهترین هم‌خوانی را در نظر گرفت تا هم‌افزایی برای محصول نهایی بیشینه باشد. مشاهده شد که مدل تدوین شده نسبت به حالت در نظر گرفته نشدن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان منافع را در سطوح بالاتری برآورده می‌کند.

#### ۶- پیشنهاد تحقیقات آتی

برای انجام تحقیقات مدل ارائه شده، برخی محدودیت‌ها سبب شده که ساده‌سازی‌هایی صورت بگیرد و یا زوایایی از مسأله پوشش داده نشود. مهم‌ترین مواردی که می‌تواند در تحقیقات آتی مورد کنکاش قرار بگیرد به شرح زیر است:

تمرکز بر مدل تهیه شده و ساده‌سازی فرضیات صورت گرفته: برخی فرضیات باید به شرایط واقعی نزدیک‌تر شوند. فرضیاتی مانند تأمین چند نوع قطعه از یک تأمین‌کننده، وجود یک عدد از هر نوع قطعه در محصول، و تقاضای ثابت خریدار، می‌تواند با توجه به شرایط واقعی کسب و کار تغییر کنند.

توسعه توابع هدف: در نظر گرفتن کیفیت به صورت تابع هدف مستقل، در نظر گرفتن تحویل به موقع به عنوان یکی از اهداف مهم در واقعیت، حداکثر کردن سود به جای حداقل کردن هزینه و مسائلی از این دست زمینه مناسبی برای تحقیقات آتی است. همچنین به دلیل زمان زیاد حل این نوع مسائل که از درجه ۲<sup>n</sup> است، راه‌حل‌های ابتکاری موجود در ادبیات می‌تواند از زمان حل بکاهد.

دنیای واقعی مانند در نظر گرفتن ریسک اختلال تأمین، به مسأله افزوده شده است که به کارایی مدل کمک می‌کند.

همان‌طور که اشاره شد، در صورت در نظر گرفته نشدن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان در زمان انتخاب تأمین‌کننده، هزینه‌ای معادل  $TAIC_0$  به خریدار در هنگام ساخت محصول تحمیل خواهد شد، در صورتی که با در نظر گرفتن این ارتباطات این هزینه به میزان  $\alpha_k$  برابر کم خواهد شد. به عبارت دیگر در وضعیتی که انتخاب تأمین‌کننده بدون توجه به این ارتباطات انجام شود هزینه خرید به صورت زیر است:

$$f(x_{ij}) + (TAIC_0) \quad (22)$$

که  $f(x_{ij})$  عبارات تشکیل دهنده هزینه به جز هزینه مربوط به ارتباطات تأمین‌کنندگان است. و در وضعیتی که ارتباطات میان تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شود، هزینه خرید به صورت زیر خواهد بود:

$$f(x_{ij}) + (TAIC_0 \times \sum_{k=1}^f \beta_k T_k) \quad (23)$$

از آن جایی که همواره  $\alpha_k$  بین صفر و یک و  $T_k$  نیز متغیر صفر و یک است، عبارت  $(TAIC_0 \times \sum_{k=1}^f \beta_k T_k)$  همواره میان صفر و  $TAIC_0$  قرار دارد، همواره در حالتی که ارتباطات میان تأمین‌کنندگان لحاظ نشود هزینه‌های بزرگ‌تر مساوی حالتی است که انتخاب تأمین‌کننده با توجه به ارتباطات تأمین‌کنندگان انجام شود.

#### ۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، رهیافتی جهت مدل‌سازی و حل مسائل مربوط به انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال مدل‌سازی شد و با ساده‌سازی مدل، الگوریتمی جهت حل مسأله ارائه شد. سپس مثال عددی برای مسأله‌ای شامل ۵ تأمین‌کننده بررسی شد و کارایی مدل نسبت به حالت در نظر نگرفتن ارتباطات هنگام انتخاب

Choi, Thomas Y, & Wu, Zhaohui. (2009). "Triads in supply networks: theorizing buyer-supplier-supplier relationships". *Journal of Supply Chain Management*, 45(1), 8-25.

Daraei, Mobin. (2011). *Supplier selection Considering the risk of disruption in the supply chain*. (Ms. C.), Amirkabir University of Technology, Tehran.

Ghodsypour, Seyed Hassan. (2006). *Multi-objective programming*. Tehran: Amirkabir University of Technology.

Ghodsypour, Seyed Hassan, & O'Brien, Christopher. (1998). "A decision support system for supplier selection using an integrated analytic hierarchy process and linear programming". *International journal of production economics*, 56, 199-212.

Ghodsypour, Seyed Hassan, & O'Brien, C. (2001). "The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint". *International journal of production economics*, 73(1), 15-27.

Hong, Yunsook, & Hartley, Janet L. (2011). "Managing the supplier-supplier interface in product development: The moderating role of technological newness". *Journal of Supply Chain Management*, 47(3), 43-62.

Jazemi, Reza, Ghodsypour, SH, & Gheidarkheljani, Jafar. (2011). "Considering supply chain benefit in supplier selection problem by using information sharing benefits". *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, 7(3), 517-526.

Kafi, F, & Fatemi Ghomi, SMT. (2014). "A Game-Theoretic Model to Analyze Value Creation with Simultaneous Cooperation and Competition of Supply Chain Partners". *Mathematical Problems in Engineering*

Kapoor, Rahul, & McGrath, Patia J. (2014). "Unmasking the interplay between technology evolution and R&D collaboration: Evidence from the global semiconductor manufacturing industry, 1990-2010". *Research Policy*, 43(3), 555-569.

در نظر گرفتن جنبه‌ها و جزئیات بیشتر ارتباط میان تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال: غیر از مشخصات فنی قطعات تولیدشده توسط تأمین‌کنندگان و ضرورت هم‌خوانی میان آنها، هماهنگی در مسائلی مثل فرهنگ سازمانی و انطباق اقتصادی نیز می‌تواند در کارایی محصول نهایی اثر بگذارد. همچنین با بررسی دلایل هم‌خوانی و عدم هم‌خوانی تأمین‌کنندگان مختلف با یکدیگر به‌عنوان مثال به دلیل نوع تجهیزات، می‌توان کارایی مدل انتخاب تأمین‌کننده را بالا برد. همچنین تمایل‌های شرکت‌های تأمین‌کننده به همکاری با یکدیگر و ارتباطات آنها پیش از خرید فعلی و شرایط محیطی مثل نزدیکی محل تولید قطعات مختلف به هم می‌تواند به‌نحوی بر کارایی محصول نهایی و به دنبال آن منافع خریدار تأثیرگذار باشد. از روش‌های دیگری نیز مانند استفاده از نظرات خبرگان برای تعیین ضریب هماهنگی بین تأمین‌کنندگان می‌شود استفاده کرد. همچنین با در نظر گرفتن وجوه دیگر ریسک اختلال یا در نظر گرفتن انبار و غیره می‌توان مسأله را گسترش داد.

توسعه شرایط غیرقطعی مسأله: معمولاً متغیرها و پارامترها در شرایط واقعی غیرقطعی هستند. در شرایط واقعی می‌توان بر توسعه شرایط غیرقطعی متغیرهای تصمیم‌گیری و همچنین تقاضای سالانه متمرکز شد.

## References

- داری، مبین. (۱۳۹۰). انتخاب تأمین‌کننده با در نظر گرفتن ریسک اختلال در زنجیره تأمین. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- قدسی‌پور، سیدحسین. (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی چندهدفه. چاپ دوم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.



- Kheljani, J Gheidar, Ghodsypour, SH, & O'Brien, C. (2009). "Optimizing whole supply chain benefit versus buyer's benefit through supplier selection". *International Journal of Production Economics*, 121(2), 482-493.
- Kim, Duck Young, & Wagner, Stephan M. (2012). "Supplier selection problem revisited from the perspective of product configuration". *International Journal of Production Research*, 50(11), 2864-2876.
- Roseira, Catarina, Brito, Carlos, & Henneberg, Stephan C. (2010). "Managing interdependencies in supplier networks". *Industrial Marketing Management*, 39(6), 925-935.
- Sarmah, SP, Acharya, D, & Goyal, SK. (2008). "Coordination of a single-manufacturer/multi-buyer supply chain with credit option". *International Journal of Production Economics*, 111(2), 676-685.
- Sawik, Tadeusz. (2011a). "Selection of supply portfolio under disruption risks". *Omega*, 39(2), 194-208.
- Sawik, Tadeusz. (2011b). "Supplier selection in make-to-order environment with risks". *Mathematical and Computer Modelling*, 53(9), 1670-1679.
- Shi, Ning, Zhou, Shaorui, Wang, Fan, Xu, Shenghao, & Xiong, Shuping. (2014). "Horizontal cooperation and information sharing between suppliers in the manufacturer-supplier triad". *International Journal of Production Research*, 52(15), 4526-4547.
- Wang, Ge, Huang, Samuel H, & Dismukes, John P. (2004). "Product-driven supply chain selection using integrated multi-criteria decision-making methodology". *International journal of production economics*, 91(1), 1-15.
- Wang, HS. (2008). "Configuration change assessment: Genetic optimization approach with fuzzy multiple criteria for part supplier selection decisions". *Expert Systems with Applications*, 34(2), 1541-1555.
- Wilhelm, Miriam M. (2011). "Managing competition through horizontal supply chain relations: Linking dyadic and network levels of analysis". *Journal of Operations Management*, 29(7), 663-676.
- Wu, Zhaohui, & Choi, Thomas Y. (2005). "Supplier-supplier relationships in the buyer-supplier triad: building theories from eight case studies". *Journal of Operations Management*, 24(1), 27-52.

---

<sup>1</sup>-Wang

<sup>۲</sup>- واضح است که برای این نوع محصولات نمی توان از واژه تولید انبوه استفاده کرد؛ زیرا برخی از آنها در حد ۱۰۰ الی ۲۰۰ عدد و یا حتی کمتر تولید می شود.

<sup>3</sup>-Kim & Wagner

<sup>4</sup>- Interdependent

<sup>5</sup>-Hong & Hartley

<sup>6</sup>-Daraei

<sup>7</sup>-Choi & Wu

<sup>8</sup>-Wang

<sup>9</sup>-Roseira, Brito & Henneberg

<sup>10</sup>-Wilhelm

<sup>11</sup>-Hong & Hartley

<sup>12</sup>-Shi et al.

<sup>13</sup>-Kafi & Fatemi Ghomi

<sup>14</sup>-Kapoor & McGrath

<sup>15</sup>-Ghodsypour & O'brien

<sup>16</sup>-Sawik

<sup>17</sup> Random local disruption

<sup>18</sup>-Kheljani

<sup>19</sup>-Sarmah

<sup>20</sup>- Pure Nonlinear Programming

<sup>۲۱</sup>- عموماً مسائل تصمیم گیری دارای دو قسمت هستند که در قسمت اول

یک نمونه عمومی از مسئله مشخص شده و در قسمت دوم یک سؤال بله-

خیر را درباره نمونه مسئله عمومی بیان می کند. مسائل کلاس NP کلاسی از

تمامی مسائل تصمیم است که در آن به کمک یک برنامه معقول، واریسی یک

جواب نمونه در زمان چندجمله ای امکان پذیر است.