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 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

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* 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: ۱۵۰-۱۳۵

انتخاب تأمین‌کننده با درنظرگرفتن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال تأمین در محصولات پیچیده

زهره کریم‌میان[۱]، سید حسن قدسی‌پور[۲]، جعفر قیدر خلجانی[۳*]

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 تأمین‌کنندگان قطعات و زیرسیستم‌های این نوع محصولات توجه خاصی به این موضوع صورت گیرد. به عبارت دیگر در انتخاب تأمین‌کنندگان قطعات و زیرسیستم‌های حساس و پیچیده باید معیارهای دیگری مانند میزان تطابق و هماهنگی بین تأمین‌کنندگان نیز به‌عنوان یک معیار در نظر گرفته شود. دلیل اصلی گنجاندن این معیارها در مسأله انتخاب تأمین‌کننده این است که در صورت رویداد اختلال در تأمین قطعات و زیرسیستم‌های حساس و پیچیده نمی‌توان به‌راحتی به سراغ سایر تأمین‌کنندگان مشابه رفت. در این مقاله میزان هم‌خوانی و هم‌تکاملی بین تأمین‌کنندگان و توانمندی آنها در ایجاد تعامل با یکدیگر به‌صورت یک معیار در انتخاب تأمین‌کنندگان با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و عملکرد گذشتهٔ تأمین‌کنندگان در حالت اختلال با هدف حفظ بیشترین هم‌خوانی مدل‌سازی شده است.

واژه‌های کلیدی: ارتباطات میان تأمین‌کنندگان، انتخاب تأمین‌کننده، برنامه‌ریزی ریاضی، ریسک اختلال تأمین، زنجیرهٔ تأمین

---

* نویسنده مسؤول

۱- مقدمه

در دهۀ ٦۰ و ۷۰ میلادی سازمان‌ها جهت افزایش توان رقابتی خود تلاش می‌کردند با استانداردسازی و بهبود فرایندهای داخلی، محصولی با کیفیت بهتر و هزینۀ کمتر تولید کنند. در دهۀ ۸۰ میلادی با افزایش تنوع در الگوهای موردانتظار مشتریان، سازمان‌ها به‌طور فزاینده‌ای علاقه‌مند به افزایش انعطاف در خطوط تولید و توسعۀ محصولات جدید برای ارضای نیازهای مشتریان شدند. در دهۀ ۹۰ میلادی به‌همراه بهبود در فرایندهای تولید و به‌کارگیری الگوهای مهندسی مجدد، مدیران بسیاری از صنایع دریافتند که برای ادامۀ حضور در بازار تنها بهبود فرایندهای داخلی و انعطاف‌پذیری شرکت کافی نیست؛ بلکه تأمین‌کنندگان قطعات و مواد باید موادی با بهترین کیفیت و کمترین هزینه تولید کنند و توزیع‌کنندگان محصولات نیز باید ارتباط نزدیکی با سیاست‌های توسعۀ بازار تولیدکننده داشته باشند. با چنین نگرشی، رویکردهای زنجیرۀ تأمین و مدیریت آن پا به عرصۀ 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 زنجیرۀ تأمین» به وجود بیاید، تحقیقات زیادی با موضوع انتخاب فروشنده انجام گرفته است(وانگ و همکاران[1] ۲۰۰٤). 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 مشخص‌شدن ساختار این نوع محصولات در مرحلۀ طراحی و قبل از ورود به مرحلۀ تولید[2] باید دربارۀ خرید زیرسیستم‌هایی که نمی‌تواند تولید کند تصمیم بگیرد. برای دست‌یابی به این هدف، لازم است فرایندی برای انتخاب تأمین‌کنندۀ هر زیرسیستم با توجه به هماهنگ‌بودن کل محصول و با درنظرگرفتن مشخصات لازم برای هر زیرسیستم توسط تأمین‌کنندگان تدوین شود. این بدان معنی است که نمی‌توان برای هریک از زیرسیستم‌ها به‌طور جداگانه و بدون توجه به سایر زیرسیستم‌ها تأمین‌کنندۀ 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[3] 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 توسعۀ محصول خریدار باید ارتباطات تأمین‌کنندگان رده اولی را که قطعات «دارای وابستگی»[4]شان به یکدیگر وصل می‌شود، مدیریت کند (هانگ و هارتلی[5] ۲۰۱۱). در صورت تطابق‌نداشتن قطعات در محصول نهایی، محصول مناسب مشتری نهایی نیست و هزینۀ این تطابق‌نداشتن به خریدار تحمیل خواهد شد.

واضح است که توجه به هم‌خوانی بین قطعات شاید دربارۀ همۀ زیرسیستم‌ها و قطعات یک محصول

اهمیت نداشته باشد؛ بنابراین این بحث صرفاً در حوزهٔ قطعات بحرانی مطرح می‌شود. یک قطعهٔ بحرانی قطعه‌ای است که اختلال در آن به کاهش زیاد یا ازبین‌رفتن 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، جایگزین‌کردن تأمین‌کنندهٔ مناسب کار آسانی نخواهد بود و ممکن است منجر به کاهش هم‌خوانی قطعات تأمین‌کنندگان جایگزین‌شده شود یا هزینهٔ اضافی برای هماهنگ‌سازی تأمین‌کنندهٔ جدید با تأمین‌کنندگان قطعات مرتبط ایجاد کند. در بررسی مسأله اختلال در زنجیرهٔ تأمین، بررسی وجه تأمین دارای اهمیت ویژه‌ای است. درنظرگرفتن 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 به‌گونه‌ای تأمین‌کنندگان خود را انتخاب کنند و روابط خود را افزایش دهند که بتوانند زنجیرهٔ تأمین خود را در برابر اختلالاتی احتمالی مقاوم کنند (دارایی[۶]، ۲۰۱۱).

هدف از این پژوهش ارائهٔ مدلی است که ارتباط میان اجزای مختلف یک محصول و ضرورت هم‌خوانی فنّی آنها و به تبع آن ارتباط میان تأمین‌کنندگان را در مسأله انتخاب تأمین‌کننده لحاظ کند و ریسک اختلال تأمین را با توجه به ضرورت هماهنگی برای تأمین قطعات در نظر بگیرد.

۲- مرور ادبیات

ارتباط میان تأمین‌کنندگان حوزهٔ مهمی است که توجه زیادی را در ادبیات مدیریت زنجیرهٔ تأمین به خود جلب کرده است. چوی و وو[۷] (۲۰۰۹)، بیان کرده‌اند که ارتباط میان تأمین‌کنندگان معمولاً به‌صورت 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 قطعهٔ 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 هزینهٔ خرید کمتر و ظرفیت تأمین انعطاف‌پذیرتر به دست می‌آید.

وانگ[۸] (۲۰۰۸)، مدلی ارائه داده است که جهت تعویض یک قطعه در محصولی که قطعات آن با یکدیگر باید به‌خوبی متصل شوند و تأمین‌کنندگان متفاوتی برای هر قطعه وجود دارند زمان سرهم‌کردن و هزینهٔ سرهم‌کردن به‌عنوان 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 بی‌دلیل 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 رابطهٔ دیگر دارد مهم است (مثلاً اینکه یک رابطهٔ تأمین‌کننده–خریدار چه تأثیری بر یک رابطهٔ تأمین‌کننده–تأمین‌کننده دارد). البته فراتر از آن لازم است مشخص شود که در ماهیت شبکهٔ یک گره چگونه بر رابطی که به‌طور مستقیم به آن متصل نیست تأثیر می‌گذارد (مثلاً اینکه یک خریدار چگونه بر رابطهٔ میان دو تأمین‌کننده تأثیر می‌گذارد). بنابراین لازم است در مدیریت ارتباطات در زنجیرهٔ تأمین، حداقل یک سه‌گانهٔ تأمین‌کننده–تأمین‌کننده–خریدار به عنوان کوچک‌ترین ساختار سازندهٔ شبکه بررسی شود. روزریا و همکاران[۹](۲۰۱۰)، سه‌گانهٔ خریدار–تأمین‌کننده–تأمین‌کننده را به‌عنوان محصول جانبی دوگانهٔ خریدار–تأمین‌کننده در شبکه‌های تأمین در دو شرکت بزرگ بررسی کرده است. ویلهلم[۱۰] (۲۰۱۱)، با تمرکز بر تنش میان همکاری و رقابت، برهم‌کنش‌های تأمین‌کنندگان را در ارتباطات تأمین‌کننده–تأمین‌کننده بررسی کرده است.

هونگ و هارتلی[۱۱](۲۰۱۱)، سه راهکاری را که خریدار برای مدیریت ارتباطات میان تأمین‌کنندگان می‌تواند استفاده کند به‌صورت 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 توسعهٔ 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 درنظرگرفتن اینکه قطعات مختلف یک محصول باید بتوانند به‌خوبی 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. درواقع وقتی قطعات دارای وابستگی با یکدیگر هستند، انتخاب به‌راحتی امکان‌پذیر نخواهد بود؛ زیرا ممکن است برخی گزینه‌های موجود برای یک قطعه با گزینه‌های موجود برای قطعهٔ دیگر ناهم‌خوان باشند.

شی و همکاران[۱۲] (۲۰۱٤)، مسأله تبادل اطلاعات میان دو تأمین‌کننده را تحلیل کرده‌اند. تأمین‌کنندگان در این مسأله به‌طور ضمنی یک ائتلاف تشکیل می‌دهند و حتی اطلاعات خصوصی هزینه‌ای خود را به اشتراک می‌گذارند. اگرچه این ارتباط تأمین‌کننده–تأمین‌کننده برای تأمین‌کنندگان مفید بوده است، برای خریدار موجب ضرر بوده و اجتناب از ایجاد این ارتباط به خریدار توصیه شده است.

کافی و فاطمی قمی[۱۳] (۲۰۱٤)، با ارائهٔ یک مدل نظریه بازی برای تحلیل ارتباطات خریدار-تأمین کننده و تأمین‌کننده-تأمین‌کننده، خلق ارزش را در زنجیرهٔ تأمین بررسی کرده‌اند. در زمینهٔ ارتباطات تأمین‌کنندگان این‌طور نتیجه گرفته‌اند که درنظرگرفتن ارتباط میان تأمین‌کنندگان و برقراری هم‌زمان رقابت و همکاری میان آنان از مدل‌های پیشین ارزش بیشتری ایجاد می‌کند.

کاپور و مک‌گرث[۱٤] (۲۰۱٤)، 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 جنبهٔ کسب‌وکار به ارتباطات میان تأمین‌کنندگان پرداخته‌اند و در قالب همکارانه یا رقابتی‌بودن روابط میان تأمین‌کنندگان و درجات مختلف این دو وضعیت بیان شده‌اند. به عبارت دیگر به مشخصات فنّی 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 فنّی) را در نظر گرفته‌اند، نه تنها مدل کمّی مناسب برای انتخاب تأمین‌کننده با درنظرگرفتن 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 واردکردن 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 درجهٔ 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 نشان‌دهندهٔ اتفاق‌افتادن یا نیفتادن اختلال برای هریک از تأمین‌کنندگان در مجموعهٔ تأمین‌کنندگان است.

مدل پایه برای توسعه، مقالهٔ قدسی‌پور و ابرایان[۱۵](۲۰۱۱) است؛ همچنین در زمینهٔ مدل‌سازی ریسک اختلال از ساویک[۱٦] (2011a) و ساویک (2011b) استفاده شده است. سعی شده است در مدل پایه ارتباط میان تأمین‌کنندگان به‌صورت یک پارامتر که تعریف خواهد شد، گنجانده شود. ضروری است که مدل‌سازی به‌نوعی صورت بگیرد که: ۱. احتمال وقوع ریسک اختلال تأمین حداقل شود؛ ۲. با درنظرگرفتن احتمال آن برای هریک از

تأمین‌کنندگان و با توجه به تمامی وضعیت‌های اتفاق افتاده بیشترین هم‌خوانی ممکن اتفاق بیفتد؛ بنابراین مسأله با درنظرگرفتن ریسک اختلال تأمین مدل‌سازی می‌شود.

قلمروی موضوعی مسأله به شرح زیر است:

۱. مدل‌سازی به‌منظور انتخاب تأمین‌کنندگان مناسب و مشخص‌کردن میزان خرید از آنها و با در نظرگرفتن ارتباط میان تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال تأمین انجام می‌شود.

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

۳. مدل‌سازی برای بازهٔ زمانی یک سال خواهد بود.

٤. کلیهٔ پارامترها و متغیرهای مسأله قطعی هستند.

۵. می‌توان یک قطعه را از چند تأمین‌کنندهٔ مختلف تهیه کرد.

فرضیات مدل‌سازی نیز بدین شرح است:

- تقاضای سالانهٔ خریدار ثابت است.
- کلیهٔ تأمین‌کنندگان دارای ظرفیت محدودی هستند.
- بعد از دریافت حجم سفارش یک تأمین‌کننده و مصرف آن، سفارش از تأمین‌کنندهٔ بعد دریافت می‌شود.
- دورهٔ سفارش‌دهی قطعات یکسان است.
- فرض می‌شود که تأمین‌کنندگان اختلالات محلی تصادفی[۱۷] دارند که ممکن است از خرابی ماشین‌آلات، ورشکستگی، بلایای طبیعی مانند زلزله، آتش سوزی، سیل و غیره منتج شده باشد.
- اختلالات محلی تأمین‌کنندگان از یکدیگر مستقل‌اند.

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

D: تقاضای سالانهٔ محصول نهایی

r: نرخ هزینهٔ نگهداری موجودی برای خریدار

Q: مجموع مقدار سفارش به تأمین‌کنندگان در هر دوره. با توجه به اینکه سفارش به‌صورت 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 تأمین‌کنندهٔ i ام.

$\sum_i^n \sum_j^m Q_{ij} QQ$

n: تعداد تأمین‌کنندگان

m: تعداد قطعات موجود در محصول

TAPC: هزینهٔ کل سالانه‌ی خرید

P_{ij}: قیمت iامین تأمین‌کننده برای jامین قطعه

A_{ij}: هزینهٔ سفارش‌دهی به iامین تأمین‌کننده برای jامین قطعه

C_{ij}: ظرفیت سالانهٔ iامین تأمین‌کننده برای jامین قطعه

q_{ij}: نرخ تحویل کالای سالم از iامین تأمین‌کننده برای jامین قطعه به خریدار

q_{aj}: حداقل نرخ قابل‌قبول تحویل کالای سالم برای jامین قطعه به خریدار

e_j: هزینهٔ جبران سفارش تأمین‌نشدهٔ محصول نهایی به‌دلیل کمبود قطعه‌ی j

$_k$: ضریب هماهنگی بین تأمین‌کنندگان $(k= 1, 2. . .f)$

$_{\circ}$TAIC: هزینه‌ای که براساس داده‌های تاریخی در طول یک سال به‌دلیل ناهم‌خوانی‌های موجود به شرکت تحمیل شده است.

f: تعداد ترکیبات شدنی تأمین‌کنندگان

Tk: عدد باینری که در صورت انتخاب ترکیب kام از تأمین‌کنندگان برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.

π_i: احتمال اختلالات محلی تأمین‌کنندهٔ i، قطعات

سفارش‌داده‌شده از تـأمین‌کننـدۀ i بـا احتمـال $(1-\pi_i)$ بدون اختلالات و با احتمال π_i هیچ کدامشان تـأمین نخواهند شد.

P_s^*: احتمال این است که وضـعیتی اخـتلال s تحقـق پیدا کند. هر وضـعیتی $s\in S$ شـامل مجموعـۀ یکتـای $I_s\subset I$ تأمین‌کنندگانی است که قطعات را بدون اختلال تأمین می‌کنند و S مجموعۀ اندیس تمامی وضعیت‌ها اسـت. در اینجـا 2^n وضـعیت وجـود دارد، بـه ایـن صـورت کـه در هـر وضـعیت بـرای هریـک از تأمین‌کننـدگان یـا اخـتلال اتفـاق مـی‌افتـد یـا اتفـاق نمی‌افتد.

متغیرهای مسأله به شرح زیر هستند:

X_{ij}: درصد مقدار تقاضای سالانۀ قطعـۀ j کـه توسـط تأمین‌کنندۀ i تأمین می‌شود.

Y_{ij}: متغیر باینری که در صورت انتخاب تأمین‌کنندۀ i ام برای قطعۀ jام یـک و در غیـر ایـن صـورت صـفر خواهد بود.

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

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

P_s^* احتمال وضعیتی اختلال s هنگام بروز اختلالات مستقل به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_s^*=\prod_{i\in I_s}(1-\pi_i).\prod_{i\notin I_s}\pi_i \qquad (۱)$$

۳-۱- مدل‌سازی

یک خریدار در نظر دارد تا برای تهیۀ یک محصول قطعات آن را از تأمین‌کنندگان بالقوه تأمین کند به‌گونه‌ای که حداقل هزینه با محدودیت حداقل کیفیت برای خریدار و درنظرگرفتن ارتباطات تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال برآورده شود.

۳-۱-۱- تابع هدف

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

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

معیار هزینه در بیشتر مسائل مطرح در انتخاب تأمین‌کننده به‌صورت حداکثرکردن سود یا حداقل‌کردن هزینه و... به‌عنوان یکی از اهداف مورد توجه بوده است (خلجانی[۱۸] و همکاران،۲۰۰۹؛ قدسی‌پور و ابرایان،۲۰۰۱؛ سارما[۱۹] و همکاران، ۲۰۰۸).

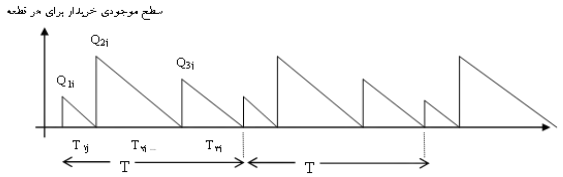
هزینۀ خرید: همان‌طور که اشاره شد، مجموع درصد خریدی که به‌صورت سالانه از تأمین‌کنندۀ iام انجام می‌شود برابر $\sum_{i=1}^{m} X_{ij}$ است. با توجه به اینکه قیمت خرید هر واحد کالای j از تأمین‌کنندۀ iام برابر P_{ij} است، مجموع سالانۀ هزینۀ خرید برابر است با:

$$\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} P_{ij}X_{ij}\ D \qquad (۲)$$

هزینۀ سفارش‌دهی: هر بار سفارش قطعۀ jام به تأمین‌کنندۀ iام 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، مجموعۀ هزینۀ سالانۀ سفارش‌دهی خریدار به کلیۀ تأمین‌کنندگان برابر است با:

$$\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} A_i\ Y_{ij}\right)\ D/Q \qquad (۳)$$

هزینهٔ نگه‌داری موجودی: همان‌طور که در فرضیات مسأله مطرح شد، همواره بعد از دریافت حجم سفارش داده شده به یک تأمین‌کننده و مصرف آن، سفارش از تأمین‌کنندهٔ 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

همان‌طور که مشخص است متوسط موجودی خریدار به‌دلیل خرید قطعهٔ jام از تأمین‌کنندهٔ iام برابر است با $\frac{1}{2}T_{ij}Q_{ij}$. از طرفی با درنظرگرفتن این مسأله 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 رابطهٔ QTTD در تساوی اخیر خواهیم داشت: $T_{ij}=\frac{Q_{ij}}{D}$. بدین ترتیب متوسط موجودی قطعهٔ jام خریدار که به‌دلیل خرید از تأمین‌کنندهٔ iام به دست می‌آید، برابر است با $\frac{1}{2}\frac{Q_{ij}^2}{D}$. با درنظرگرفتن این مسأله که نرخ هزینهٔ نگهداری در هر واحد کالا برای خریدار برابر r بوده و هزینهٔ هر واحد خرید قطعهٔ jام از تأمین‌کنندهٔ iام نیز برابر P_{ij} است، کل هزینهٔ موجودی برای خریدار در هر دوره برابر است با:

$$\sum_i \sum_j rP_{ij}\left(\frac{1}{2}\frac{Q_{ij}^2}{D}\right) \quad \frac{r}{2D}\sum_i \sum_j P_{ij}Q_{ij}^2 \qquad (٤)$$

با ضرب رابطهٔ بالا در تعداد دوره‌ها $\left(\frac{1}{T}\right)$ و همچنین درنظرگرفتن رابطهٔ $Q_i=Tx_{ij}$ و $Q=TD$ به‌ازای هر n ,هههه i=هههه، کل هزینهٔ سالانهٔ نگهداری موجودی برای خریدار برابر است با:

$$\frac{r}{T}\left(\frac{DD}{2}\sum_i \sum_j {}_i \left(T\,x_{ij}\right)^2\right)=$$
$$\frac{TTT}{2}\sum_i \sum_j P_{ij}\,x_{ij}{}^2= \qquad (٥)$$
$$\left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} X_{ij}^2 P_{ij}\right)rr\ Q/2$$

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

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

$$TAIC_{\circ}\text{-}(TAIC_{\circ}\ \sum_{=1}^{f}{}_k T_k) =$$
$$TAIC_{\circ}(1\text{-}\sum_{=1}^{f}{}_k T_k)= \qquad (٦)$$
$$TAIC_{\circ}\ \sum_{=1}^{f}{}_k T_k$$

که در آن $TAIC_{\circ}$ میانگین هزینه‌ای است که سالانه به‌دلیل ناهم‌خوانی‌های موجود به خریدار تحمیل می‌شود. تعداد تأمین‌کنندگانی که می‌توانند قطعهٔ jام را تأمین کنند n_j است؛ بنابراین $\prod_{=1}^{m} 2^{n_j}$ حالت برای انتخاب تأمین‌کننده وجود دارد. با توجه به محدودیت‌های ظرفیت تأمین‌کنندگان تعدادی از حالات حذف می‌شود، فرض می‌شود تعداد ترکیبات

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

نحوهٔ محاسبهٔ α_k یا ضریب هم‌خوانی بین تأمین‌کنندگان در ادامهٔ مسأله تعریف خواهد شد.

هزینهٔ کمبود قطعات در اثر ریسک اختلال: این هزینه حاصل هزینهٔ سفارش‌های انجام‌نشده منهای هزینهٔ قطعات تحویل داده نشده است. e_j، هزینهٔ جبران سفارش تأمین‌نشدهٔ محصول نهایی به‌دلیل کمبود قطعهٔ j است که با درنظرگرفتن تمامی وضعیت‌ها (هر وضعیتی $s\in S$) برای تمامی قطعات کل هزینهٔ سفارش‌های انجام‌نشده را تشکیل می‌دهد. از این عدد باید هزینهٔ خرید قطعات تحویل نشده که طبیعتاً پرداخت نمی‌شود، کم شود.

$$\sum_{s\in S}\sum_{m=1}\sum_{i\in I_s} P_s^{*}(e_j-X_{ij}P_{ij})) \qquad (۷)$$

۳-۱-۲- محدودیت‌ها

چهار دسته محدودیت در این مسأله تعریف شده است:

محدودیت کیفیت: q_{aj} حداقل نرخ قابل‌قبول تحویل کالای سالم برای jامین قطعه به خریدار و q_{ij} نرخ تحویل کالای سالم از iامین تأمین‌کننده برای j امین قطعه به خریدار، و حجم خرید سالانهٔ قطعهٔ jام برابر با $X_{ij}D$ است، محدودیت کیفیت را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij}q_{ij}\geq q_{aj} \qquad \forall j=1,2,\ldots,m \qquad (۸)$$

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

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij}=1 \qquad \forall j=1,2,\ldots,m \qquad (۹)$$

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

$$X_{ij}\leq C_{ij} \qquad \forall i=1,2,\ldots,n, \quad \forall j=1,2,\ldots,m \qquad (۱۰)$$

محدودیت‌های منطقی جهت تبیین رابطهٔ بین X_{ij}ها و Y_{ij}ها: همان‌طور که دیدیم، Y_{ij}ها مقادیر صفر و یک هستند که براساس انتخاب یا عدم‌انتخاب تأمین‌کنندهٔ iام برای تأمین قطعهٔ jام به‌ترتیب مقدار یک یا صفر می‌گیرند. این رابطه در قالب سه نامساوی به‌صورت زیر در مسأله اعمال خواهد شد:

$$X_{ij}\leq Y_{ij}, \qquad \forall i=1,2,\ldots,n, \quad \forall j=1,2,\ldots,m \qquad (۱۱)$$

$$X_{ij}\geq Y_{ij}, \qquad \forall i=1,2,\ldots,n, \quad \forall j=1,2,\ldots,m \qquad (۱۲)$$

$$Y_{ij}=0,1 \qquad \forall i=1,2,\ldots,n, \quad \forall j=1,2,\ldots,m \qquad (۱۳)$$

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، ε یک مقدار به‌اندازهٔ کافی کوچک است.

$$\sum_{k=1}^{f} T_k=1 \qquad (۱۴)$$

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

$$\min((TACC)= \left(\frac{D}{Q}\left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} A_{ij}\, Y_{ij}\right)+ \frac{QQ}{2}\left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} X_{ij}^{2} P_{ij}\right)+ \sum_{=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} P_{ij} X_{ij}\, D ++ (AAIC_{\circ} \sum_{=1}^{f}{}_{k} T_{k} ++ \left(\sum_{s\in} \sum^{m} \sum_{i\in I_s} P_{s}^{*}(e_{j}-X_{ij}P_{ij})\right)\right)\right) \quad (۱۵)$$

Subject to: $\sum_{=1}^{f} T_{=1}$ $\sum_{i=1}^{n} X_{ij} q_{ij} \text{ع} q_{aj}$, $\forall$=1,2,,m

X_{ij}ع C_{ij}, $\forall$i=2,2,, ,n, $\forall$ 2,2,, ,m X_{ij}ع Y_{ij}, i 2,2,,n, $\forall$2,2,, ,m

X_{ij} i , , ,n,$\forall$=2,2,, ,m $\sum_{i=1}^{n} X_{ij}$ 1,$\forall$=1,2,, ,m

X_{ij}ع , ,, ,n i 1,2,,n Y_{ij}=1,1, i ,, ,n , 1,2,,m

۳-۱-۳- تبیین α_kها

بعد از اتفاق‌افتادن اختلال تأمین، باید برای سفارش تأمین‌نشده از تأمین‌کنندگان جدیدی استفاده کرد. بنابراین ضروری است با درنظرگرفتن احتمال اختلال تأمین، انتخاب بهینه با توجه به عدم‌حضور سفارش‌های دچار اختلال، انجام شود. با توجه به 2^n وضعیتی موجود برای اتفاق‌افتادن اختلال، برای تعیین میزان $_k$ که ضریب هم‌خوانی میان تأمین‌کنندگان در هریک از f وضعیت شدنی (k= 1, 2. . .f) انتخاب تأمین‌کنندگان است، می‌توان به‌روش زیر عمل کرد.

تعیین مقدار با استفاده از عملکرد گذشتهٔ تأمین‌کنندگان: در این روش از داده‌های خرابی (کیفیت نامناسب) گذشته در محصول نهایی که ناشی از هم‌خوانی‌نداشتن دو قطعه از محصول و زمان و هزینهٔ اصلاح یا تعویض مشکل قطعات خراب است، استفاده می‌شود. برای هر قطعه i از هر تأمین‌کننده j با هر قطعهٔ مرتبط s از هر تأمین‌کنندهٔ t دیگر هزینهٔ خرابی (DC_{ijst}) و زمان خرابی ازدست‌رفته به‌دلیل وقوع این خرابی (TC_{ijst}) تعریف می‌شود. به‌منظور ساده‌سازی می‌توان زمان ناشی از تطابق‌نداشتن را به هزینه تبدیل نمود. برای سایر قطعات α_{ijst} صفر در نظر گرفته می‌شود. α_{ijst} نشان‌دهندهٔ هم‌خوانی قطعهٔ i از تأمین‌کنندهٔ j با قطعهٔ مرتبط s از تأمین‌کنندهٔ t است.

$$_{ijst}=\frac{1}{(CC_{ijst}+CC_{ijst})} \quad (۱٦)$$

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

$$\sum_{s\in} \sum^{m} \sum_{i\in\ s} \sum_{=}^{m} \sum_{p\in\ s} P_s \left(\ _{i\ \ p}\right) \quad (۱۷)$$

برابر $\alpha_{ijst}(max)$ *m² خواهد بود. بنابراین با تقسیم مقادیر $_{ijst}$ بر $_{i\ st}$ max *m² ، حداکثر مقدار α_k یک خواهد بود. حداقل مقدار α_k هم برابر صفر خواهد بود.

۳-۲- ساده‌سازی و حل مدل

برای ساده‌سازی مدل به‌دست‌آمده، اگر بتوان متغیر Q را از مسأله حذف کرد، حل مسأله براساس x_iها ساده‌تر خواهد شد(قدسی‌پور و ابریان،۲۰۰۱). می‌دانیم اگر اولاً مشتق اول تابع $Z(x)$ در نقطهٔ x^* برابر صفر باشد (شرط لازم)، و ثانیاً مشتق دوم تابع $Z(x)$ همواره به‌ازای کلیهٔ مقادیر غیرصفر x یک عدد مثبت باشد (محدب)، x^* جواب بهینهٔ کلی مسأله $MinZ(x)$ است(قدسی پور، ۲۰۰٦). بنابراین داریم:

$$\frac{}{QQ}\left(\left(\frac{-D}{Q}\left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} A_{ij}\ \ _{ij}\right)\right.\right. \quad (۱۸)$$
$$\left.\left.\frac{r}{2}\left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i=}^{n} X_{i}\ \ _{i}\right)\right)\right.$$

$$\frac{F}{\text{غ}Q} \quad -\left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i}^{n} \ \ _{i}\, Y_{ij}\right) \quad (۱۹)$$

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

$$\frac{ff}{QQ}=0 \Rightarrow Q^*=\sqrt{\frac{2D\sum_i\sum_j A_{ij}Y_{ij}}{r\sum_i\sum_j P_{ij}X_{ij}^2}} \qquad (۲۰)$$

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

(۲۱)

$$\min TAPC = \left(\sqrt{2rr\ \left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} A_i\ \ Y_{ij}\right)\left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} X_{ij}^2 P_{ij}\right)}\right) \left(\left(\left(\sum_{=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} P_{ij}X_{ij}\right)\right)\ \left(\left(\ TAIC_{\circ}\ \sum_{=1}^{f}{}_{k}T_k\right)\left(\sum_{s\in S}\sum_{=1}^{m}\sum_{i\in I_s} P_s^*(e_j - X_{ij}P_{ij})\right)\right)\right)$$

Subject to:

$$\sum_{=1}^{f} T_k = 1$$

$$\left(\sum_{i=1}^{n} X_{ij}q_{ij}\ \text{ع}\ {}_{a}, \forall \quad ,, \quad ,m\right.$$

$$X_i \quad {}_{ij}, \forall i\ 2,2, \ ,n, \forall \quad ,, \quad ,m$$

$$X_{ij} \quad {}_{ij}, \quad i,,\text{ھ}\ ,n, \forall\ 2,2, \ ,m$$

$${}_{ij} \quad Y_{ij},\ i=2,2, ,n, \quad \forall\ 2,2,\text{ھ}\ ,m$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1, \forall = 2,2,\text{ھ}\ ,m$$

$$X_{ij}\text{ع}0,\ i=2,2,\text{ھ}\ ,nj,jjjj\ 2,2,\text{ھ},m$$

$$Y_{ij}=0,1,\ i=2,2,\text{ھ}\ ,nj,jjjj\ 2,2,\text{ھ},m$$

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

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

تبدیل خواهد شد و با توجه به اینکه بخش دوم این تابع محدب است، در صورت اثبات تحدب تابعی مانند $\sqrt{\left(\sum^{m}\ \sum_{i}^{n}\ X_{ij}^2 P_i\right)}$، 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 بهینهٔ مسأله اخیر می‌توان به‌ازای کلیهٔ حالات Y_{ij}ها، یک مسأله بهینه‌سازی محدب را حل کرد و از میان جواب‌های به‌دست‌آمده، جواب بهینه را انتخاب کرد. با توجه به اینکه هر Y_{ij}ها دو حالت صفر و یک می‌تواند داشته باشد، برای یافتن جواب بهینه مسأله باید کلیهٔ ترکیبات Y_{ij}ها که برابر 2^{nm} است بررسی شود. برای n*mهای کوچک می‌توان کلیهٔ 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.

٤. مقادیر Y_{ij}ها را در مدل جای‌گذاری کنید تا برنامه‌ریزی عدد صحیح به PNP[۲۰] تبدیل شود.

۵. از نرم‌افزار برای حل PNPها استفاده کنید و بهترین جواب را بیابید.

۳-۳-بررسی مثال عددی

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

r=0.2; TAIC$_{\circ}$=۱۰۰۰ \$, q_{1j}=0.92; q_{2j}= 0.90; q_{3j}=0.92; π_1 =۰,۱, π_2 =۰,۲, π_3 =۰,۱, π_4 =۰,۳, π_5 =۰,۲; e_1= ۱۰۰, e_2= ۲۰۰, e_3= ۳۰۰

اطلاعات مربوط به ضریب هم‌خوانی میان تأمین‌کنندگان به‌شرح جدول (۲) است. به‌عنوان مثال در جدول فوق میزان هم‌خوانی قطعهٔ ۲ از تأمین‌کنندهٔ ۱ و قطعهٔ ۲ از همان تأمین‌کنندهٔ α_{1112} است. ت۱-ق۱ نشان دهندهٔ قطعهٔ ۱ از تأمین‌کنندهٔ ۱ است.

۳-۳-۱-نتایج حاصل از مدل

بعد از حذف‌کردن وضعیت‌هایی که محدودیت اولیهٔ ظرفیت را برآورده نمی‌کنند، در روش شاخه‌کردن Y_{ij}ها، برای قطعهٔ اول و دوم و سوم از ۳۲ وضعیت موجود برای هریک به‌ترتیب ٦، ٤، و ٦ وضعیت شدنی باقی ماند؛ بنابراین تعداد وضعیت‌های شدنی برای کل محصول که از حاصل‌ضرب این مقادیر به دست می‌آید ۱٤٤ است. با این روش به جای حل ۲[۱۵] وضعیت فقط ۱٤٤ وضعیت بررسی می‌شود که هریک با محدودیت‌های مسأله حل شده و جواب‌های نشدنی از میان آنها حذف شد. در جواب‌های شدنی به‌دست‌آمده کمترین آنها انتخاب می‌شود و به‌عنوان جواب مدل معرفی می‌شود.

جواب به‌دست‌آمده از حل مدل، هزینهٔ خرید ۲۵۹۵,۷۷۲ دلار است.

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

به عبارتی با توجه به اینکه برای هریک از ترکیبات Y_{ij}، حل مسأله در زمان چندجمله‌ای p به جواب می‌رسد، زمان دستیابی به جواب بهینه مسأله برابر $p^{(n*m)}$ خواهد بود و از این رو مسأله متعلق به «کلاس NP»[۲۱] است و با یک مسأله NP-Hard مواجه خواهیم بود. برای حل مسأله در مقادیر بزرگ n*m، با توجه به محدودیت‌های زمانی، نمی‌توان کلیهٔ 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 معرفی‌شده توسط قدسی پور و همکاران (۲۰۱۱)، برای حل این مسأله استفاده شده است. جواب به‌دست‌آمده 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 ۱۱/٦ درصدی با جواب حل قطعی و کاهش چشمگیر زمان حل، جواب مناسبی به نظر می‌رسد.

جدول ۱- اطلاعات تأمین‌کنندگان

	هزینهٔ سفارش‌دهی بر حسب دلار A_{ij}	قیمت بر حسب دلار P_{ij}	کیفیت q_{ij}	ظرفیت تأمین‌کنندگان C_{ij}
تأمین‌کنندهٔ ۱- قطعهٔ ۱	۹	۹	۰,۹۲	۳۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۱- قطعهٔ ۲	٦	۱۰	۰,۹۲	۲۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۱- قطعهٔ ۳	۵	۳۰	۰,۹۵	۲۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۲- قطعهٔ ۱	٤	۱٦	۰,۹۵	۳۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۲- قطعهٔ ۲	۵	۸	۰,۹۰	۲۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۲- قطعهٔ ۳	٦	۲۸	۰,۹۲	۲۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۳- قطعهٔ ۱	۸	۲۰	۰,۹۸	۳۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۳- قطعهٔ ۲	۳	٦	۰,۹۵	۳۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۳- قطعهٔ ۳	۸	۲۵	۰,۹۰	۳۰۰
تأمین‌کنندهٔ ٤- قطعهٔ ۱	٦	۱۵	۰,۹۸	۲۰۰
تأمین‌کنندهٔ ٤- قطعهٔ ۲	۳	۱۲	۰,۹۵	۳۰۰
تأمین‌کنندهٔ ٤- قطعهٔ ۳	۵	۳۲	۰,۹۵	۳۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۵- قطعهٔ ۱	۸	۱۸	۰,۹۲	۳۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۵- قطعهٔ ۲	٦	۱۰	۰,۹۲	۲۰۰
تأمین‌کنندهٔ ۵- قطعهٔ ۳	۸	۲۸	۰,۹۰	۳۰۰

جدول ۲- ضریب هم‌خوانی میان تأمین‌کنندگان

	ت۱- ق۱	ت۲- ق۱	ت۳- ق۱	ت٤- ق۱	ت۵- ق۱	ت۱- ق۲	ت۲- ق۲	ت۳- ق۲	ت٤- ق۲	ت۵- ق۲
ت۱- ق۱	-	-	-	-	-	۱۰	۱۵	۱۵	۱۸	۱۷
ت۲- ق۱	-	-	-	-	-	۱۸	۲۰	۱٦	۱۲	۱٦
ت۳- ق۱	-	-	-	-	-	۱۲	۱۵	۱٦	۱۳	۱۹
ت٤- ق۱	-	-	-	-	-	۱۳	۱۵	۱۸	۱٤	۱۲
ت۵- ق۱	-	-	-	-	-	۳	۱۵	۱۸	۱۵	۱۵
ت۱- ق۲	۱۰	۱۸	۱۲	۱۳	۱۳	-	-	-	-	-
ت۲- ق۲	۱۵	۲۰	۱۵	۱۵	۱۵	-	-	-	-	-
ت۳- ق۲	۱۵	۱٦	۱٦	۱۸	۱۸	-	-	-	-	-
ت٤- ق۲	۱۸	۱۲	۱۳	۱٤	۱۵	-	-	-	-	-
ت۵- ق۲	۱۷	۱٦	۱۹	۱۲	۱۵	-	-	-	-	-

٤- بحث

کاهش هزینه‌های خریدار با درنظرگرفتن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان هدف اصلی این پژوهش است. برای بررسی کارایی مدل، باید نشان داد که هزینهٔ کمتری با درنظرگرفتن ارتباطات تأمین‌کنندگان در مسأله انتخاب تأمین‌کننده به خریدار تحمیل خواهد شد و باید هزینه‌های تحمیل‌شده به مدل در صورت درنظرگرفتن ارتباطات تأمین‌کنندگان با حالتی که در آن ارتباط تأمین‌کنندگان دیده نشده است مقایسه شود. همچنین فرض‌هایی جهت نزدیک‌ترشدن مسأله به

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

همان‌طور که اشاره شد، در صورت درنظرگرفته‌نشدن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان در زمان انتخاب تأمین‌کننده، هزینه‌ای معادل $TAIC_{\circ}$ به خریدار در هنگام ساخت محصول تحمیل خواهد شد، در صورتی که با درنظرگرفتن این ارتباطات این هزینه به‌میزان α_kبرابر کم خواهد شد. به عبارت دیگر در وضعیتی که انتخاب تأمین‌کننده بدون توجه به این ارتباطات انجام شود هزینهٔ خرید به‌صورت زیر است:

$$((x_{ij})(((AAIC_{\circ}) \qquad (۲۲)$$

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

$$f(x_{ij})((AAIC_{\circ} \sum_{=1}^{f} {}_{k}T_{k}) \qquad (۲۳)$$

از آن جایی که همواره α_k بین صفر و یک و T_k نیز متغیر صفر و یک است، عبارت $AAIC_{\circ} \sum_{=1}^{f} {}_{k}T_{k})$ همواره میان صفر و $TAIC_{\circ}$ 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 درنظرگرفتن 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 درنظرنگرفتن ارتباطات هنگام انتخاب تأمین‌کننده نشان داده شد. هدف اصلی تعیین‌شده در این تحقیق تهیهٔ مدلی بود که در آن هماهنگی مؤثر بین تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال تأمین در نظر گرفته شود به‌نحوی 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 درنظرگرفته‌نشدن ارتباطات میان تأمین‌کنندگان منافع را در سطوح بالاتری برآورده می‌کند.

۶- پیشنهاد تحقیقات آتی

برای انجام تحقیقات مدل ارائه‌شده، 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 به‌شرح زیر است:

تمرکز بر مدل تهیه‌شده و ساده‌سازی فرضیات صورت‌گرفته: 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، می‌توانند با توجه به شرایط واقعی کسب و کار تغییر کنند.

توسعهٔ توابع هدف: درنظرگرفتن کیفیت به‌صورت تابع هدف مستقل، درنظرگرفتن تحویل به‌موقع به‌عنوان یکی از اهداف مهم در واقعیت، حداکثرکردن سود به جای حداقل‌کردن هزینه و مسائلی از این دست زمینهٔ مناسبی برای تحقیقات آتی است. همچنین به‌دلیل زمان زیاد حل این نوع مسائل که از درجه ۲^{n} است، راه‌حل‌های ابتکاری موجود در ادبیات می‌تواند از زمان حل بکاهد.

درنظرگرفتن جنبه‌ها و جزئیات بیشتر ارتباط میان تأمین‌کنندگان و ریسک اختلال: غیر از مشخصات فنّی 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 عدم‌هم‌خوانی تأمین‌کنندگان مختلف با یکدیگر به‌عنوان مثال به‌دلیل 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 تأمین کنندگان می‌شود استفاده کرد. همچنین با درنظرگرفتن وجوه دیگر ریسک اختلال یا درنظرگرفتن انبار و غیره می‌توان مسأله را گسترش داد.

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

References

دارائی، مبین. (۱۳۹۰). انتخاب تأمین‌کننده با درنظرگرفتن ریسک اختلال در زنجیره‌ی تأمین. پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکدهٔ مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

قدسی‌پور، سیدحسن. (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی چندهدفه. چاپ دوم، تهران: انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

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.

GhodsypouÇ 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, & Gheidar-Kheljani, 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.

Kheljani, J Gheidar, Ghodsypour, SH, & O Brien,CQ((2))9) . "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 coopetition 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.

[1]-Wang

[۲]- واضح است که برای این نوع محصولات نمی‌توان از واژهٔ تولید انبوه استفاده کرد؛ زیرا برخی از آنها در حد ۱۰۰ الی ۲۰۰ عدد و یا حتی کمتر تولید می‌شود.

[3]-Kim & Wagner
[4]- Interdependent
[5]-Hong & Hartley
[6]-Daraei
[7]-Choi & Wu
[8]-Wang
[9]-Roseira, Brito & Henneberg
[10]-Wilhelm
[11]-Hong & Hartley
[12]-Shi etal.
[13]-Kafi & Fatemi Ghomi
[14]-Kapoor & McGrath
[15]-Ghodsypou & O ben
[16]-Sawik
[17] Random local disruption
[18]-Kheljani
[19]-Sarmah
[20]- Pure Nonlinear Programming

[۲۱]- عموماً مسائل تصمیم‌گیری دارای دو قسمت هستند که در قسمت اول یک نمونهٔ عمومی از مسئله مشخص شده و در قسمت دوم یک سؤال بله- خیر را دربارهٔ نمونه مسئله عمومی بیان می‌کند. مسائل کلاس NP کلاسی از تمامی مسائل تصمیم است که در آن به کمک یک برنامه معقول، وارسی یک جواب نمونه در زمان چندجمله‌ای امکان‌پذیر است.