**طراحی مدل احتمالی و استوار یکپارچه سه مرحله­ای برای انتخاب تامین‏کننده با رویکرد عدم قطعیت**

**عادل آذر 1، سیدفاضل موسوی[[1]](#footnote-1) 2**

1- استاد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس،گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

2- دکتری مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس،گروه مدیریت صنعتی، تهران، ایران

رسيد مقاله: 7 مرداد 1392

پذيرش مقاله: 4 دی 1392

|  |
| --- |
| **چکیده**یکی از مهمترین تصمیماتی که در زنجیره تامین گرفته می­شود؛ مساله­ی کارایی و اثربخشی این زنجیره توأم با پارامتر­­­ها و متغیرهای دارای عدم قطعیت است. عدم قطعیت در زنجیره تامین منجر به غیر بهینه شدن تصمیماتی است که با فرض قطعیت گرفته می­شوند؛ از این رو در این تحقیق مدلی با رویکرد استوار و یک مدل یکپارچه سه مرحله­­ی برای تطابق با عدم قطعیت در زنجیره تامین به کار رفت. در مرحله­­ی اول فاکتور­های کلیدی در انتخاب تامین­کننده شناسایی شدند. در مرحله بعد با تحلیل سلسله مراتبی فازی تامین­کنندگان، با توجه به این شاخص­های شناسایی شده، تامین­کنندگانی را که حداقل نمره قابل قبول کسب کردند؛ وارد مدل استوار و احتمالی دو مرحله­ای عدد صحیح چند دوره­ای- چند محصولی برای تخصیص کوتاه مدت تقاضای دارای عدم قطعیت به محصولات شدند. در نهایت به مقایسه­ی نتایج پرداخته شد و نتایج نشان داد که مدل حاصل از قدرت بالایی برخوردار بوده؛ منجر به تطابق با تقاضای دارای عدم قطعیت می­شود.**کلمات کلیدی:** زنجیره تامین، برنامه­ریزی احتمالی، انتخاب تامین­کننده، تحلیل سلسله مراتبی فازی، مدل استوار. |

**1 مقدمه**

زنجیره ­تامین شامل هماهنگی و یکپارچه­سازی فعالیت­های کلیدی تجاری از فعالیت­های خرید مواد اولیه تا توزیع محصولات نهایی به مشتریان است که فرآیند برنامه­ریزی زنجیره تامین را ایجاب می­کند]1و2[. در فرآیند­های تصمیم­گیری در زنجیره ­تامین فاکتور اصلی که ممکن است اثربخشی پیکربندی و هماهنگی را در طول زنجیره تحت تاثیر قرار دهد؛ عدم قطعیت است. در حقیقت توجه به بهینه­سازی در زنجیره­ تامین در شرایط عدم قطعیت منجر به کاهش هزینه­ها و بهبود کیفیت و در نتیجه رسیدن به یک مزیت و موقعیت رقابتی خواهد شد ]3[ همچنین تحقیقات تجربی نشان می­دهند که یکپارچه­سازی زنجیره­ تامین عملکرد تجاری و عملیاتی بهتری را ارایه می­دهند ]4[. مدیران ارشد سازمان­ها همواره در جستجوی راه­ حلی برای مرتفع کردن مسایل واحد­های مختلف سازمانی می­باشند. در این میان انتخاب تامین­کننده مناسب به یکی از اساسی­ترین مسایل در زنجیره تامین سازمان­ها تبدیل شده است. مساله انتخاب تأمین­کننده شامل تجزیه تحلیل و اندازه­گیری عملکرد مجموعه­ای از تأمین­کنندگان به منظور رتبه­­بندی آن­ها با هدف بهبود وضعیت رقابتی در کل سیستم تأمین است. در واقع انتخاب تامین­کننده مناسب کلید اصلی به دست آوردن کیفیت مطلوب به­جای قیمت مناسب، سطح لازم حمایت فنی و سطح مطلوب خدمات است.

**1-1 مدل­های برنامه­ریزی احتمالی**

کارهای انجام شده در زمینه­ی انتخاب تامین­کننده در دو دسته­ی مدل­های سخت (Hard) و نرم (MADM) طبقه­بندی می­شوند. مدل­های برنامه­ریزی احتمالی اولین بار به‏وسیله­ی دنزیک و بیل در سال 1995 ] 5و6[ ابداع شد. آن­ها یک دید احتمالی برای جانشینی قطعیت در زمانی­که ضرایب و پارامتر­های ناشناخته، احتمالی هستند ارایه می­دهند با این شرط که توزیع احتمالی فرض شده مستقل از متغیرهای تصمیم است. تعداد زیادی از مدل‏های دارای عدم قطعیت از توزیع­های آماری برای عدم قطعیت داده­ها استناد می کنند. مانند کار میر حسنی و دیگران ]7[ در سال 1999 و احمد و دیگران ]8[ در اوایل سال 2000 که برای برنامه­ریزی تولید استفاده کردند. نکته­ی مهم استفاده از این مدل­ها در سطح تاکتیکی است نه استراتژیک. در سال­های اخیر استفاده از برنامه­ریزی احتمالی عدد صحیح دو مرحله­ای در اکثر موارد به­کار رفته است. مانند کار میر حسنی و دیگران (1999)، احمد و دیگران (2000)، گوبتا و موناماس ]9و10[ بین سال­های 2002 و 2003 و تسیاکیس و دیگران ]11[ در سال 2001 از برنامه­ریزی احتمالی دو مرحله­ای تحت تقاضای دارای عدم قطعیت استفاده کردند.

درباره­ی سایر کارهای صورت گرفته و توجه شده در این تحقیق، می­توان به ازرون و دیگران ]12[ در سال 2008، السید و دیگران ]13[ در 2010، سانتوسو و دیگران ]14[ در 2005 و فلتن ]15[ و دیگران در رابطه­ی برنامه­ریزی تولید در سال 2008 اشاره کرد.

**1-2 رویکرد استوار**

رویکرد استوار برای حل مسایل بهینه­سازی با عدم قطعیت داده­ها در اوایل دهه­ی 1970 پیشنهاد شد و اخیراً به­طور گسترده­ای مورد مطالعه قرار گرفت و توسعه یافت. تحت این رویکرد تمایل به پذیرش یک جواب زیر بهینه برای ارزش­های اسمی داده­ها برای تضمین اینکه جواب موجه و بهینه وقتی که داده­ها تغییر می­کند؛ تضمین شود ]16[. دو محقق به نام­های مدل داگلاس خوزه الم و رینالدومورابیتو دو دلیل را برای استفاده از بهینه­سازی استوار ذکر کردند:

1. بهینه­سازی استوار نسبت به رویکرد احتمالی از لحاظ حل مدل راحت­تر است.
2. دانش واضحی از توزیع احتمالی از داده­های دارای عدم قطعیت نیاز نیست و از داده­های تاریخی و تجربه­های تصمیم­گیرنده می­توان در بعضی موارد برای استنتاج بازه­ی دارای عدم قطعیت استفاده کرد ]17[.

مدل­های استوار اصلی و کلاسیک در چهار دسته زیر خلاصه می­شود:

1. فرمول­بندی استوار سویستر.
2. فرمول­بندی استوار بن تال و نمیروفسکی.

دو مدل فوق در جدول زیر خلاصه می­شود (هر دو مدل محافظه کارانه هستند):

**جدول 1.** مقایسه مدل سویستر و بتنال ] 16[

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| نام مدل | تعداد متغیرها | تعداد محدودیت ها | ویژگی مدل |
| سویستر | N2 | N2+M | مدل خطی |
| بن تال ونمیروفسکی | K2+N | K2+M | مدل غیر خطی |

1. فرمول­بندی برتسمیس و مالوی سیم .
2. فرمول­بندی استوار مالوی سیم و وندربی.

با توجه به ماهیت گسسته و سناریویی داده­ها از مدل مالوی وهمکاران استفاده شد. مدل­های برنامه­ریزی ریاضی با داده­های بیش از حد، دارای پارازیت و عدم قطعیت فراوان در کاربردهای تحقیق در عملیات بسیار معمول است. مشکلات این داده­ها اصولاً با تحلیل حساسیت و فرمول­بندی برنامه­ریزی احتمالی مواجه است. مالوی در سال 1995 دو مطلب یعنی استواری مدل و استواری راه­حل را مطرح کرده است. راه­حل بهینه برنامه­ریزی ریاضی در ارتباط با بهینگی همچنان استوار است اگر برای هر فهم از سناریو خاص همچنان نزدیک به بهینه باقی بماندکه به آن استواری راه­حل گویند. از طرف دیگر راه­حل همچنان در ارتباط با استواری موجه است اگر برای هر فهم از سناریو خاص همچنان تقریباً موجه باقی بماند به این مورد استواری مدل گویند. غیر موجه بودن مدل به‏وسیله­ی تابع جریمه اندازه­گیری می­شود.

نزدیک به بهینگی به معنای بهینگی مجاورت است در حالی که تقریباً موجه به معنای آن است که تابع جریمه مقدار اندکی را به خود اختصاص دهد. مالوی و همکارانش مدل بهینگی استوار را با در نظرگرفتن تحلیل هزینه فایده بین استواری راه­حل و استواری مدل ارایه می دهند. در مدل بهینه­سازی استوار آن­ها دو نوع متغیر وجود دارد: متغیرهای کنترل و متغیرهای طراحی. برای متغیرهای طراحی قبل از فهم پارامترهای احتمالی تصمیم‏گیری می­شود و نمی­توان آن­ها را بعد از فهم تغییر داد. متغیرهای کنترل بعد از یک فهم خاص از پارامترهای عدم قطعیت تعدیل می­شوند. مدل بهینه­سازی استوار که به‏وسیله­ی مالوی و دیگران ارایه شده است مانند زیر فرمول­بندی می­شود. در ابتدا تعدادی از نمادها مرتبط با مدل معرفی می­گردد.

x بردار متغیرهای طراحی و y بردار متغیرهای کنترل است.A ، B و C ضرایب پارامترها، b *و*e بردارهای پارامترهاست (مقادیرسمت راست*)*. A و b مقادیر معین هستند؛ در حالی کهB ، C وe دارای عدم قطعیت می‏باشند. یک فهم خاص از پارامترعدم قطعیت سناریو نامیده می­شود که به آن نماد s اختصاص می­یابد و احتمال آن با $p\_{s}$ مشخص می­شود. برای نشان دادن مجموعه­ای از سناریواز نماد $Ω$ استفاده می­شود. ضرایب عدم قطعیت به­شکل $e\_{s }و C\_{s}، B\_{s}$ برای هر سناریو $s\in Ω$ اختصاص می­یابد. همچنین متغیر کنترل y چون بعد از فهم سناریو تعدیل می­شود؛ می­تواند نماد$y\_{s}$ برای سناریو s تخصیص یابد. به‏خاطر عدم قطعیت پارامترها ممکن است مدل برای تعدادی از سناریوها غیر موجه شود؛ بنابراین $η\_{s}$ غیر موجه بودن مدل را تحت هر سناریو s نشان می دهد. اگر مدل موجه باشد $η\_{s}$ برابر صفر است و در غیر این صورت مقدار مثبتی از معادله­های زیر خواهدگرفت. مدل مالوی مانند زیر فرمول­بندی می­شود:



دو عبارت در تابع هدف فوق وجود دارد : اولین نشان دهنده­ی استواری راه­حل است و دومین استواری مدل را به‏وسیله­ی وزن $γ$ نشان می­دهد. در ادامه این دو عبارت بحث می­شود. برای ارایه­ی $f(x,y)$از نماد $ξ$ که یک تابع هزینه و فایده است، استفاده می­گردد و برای هر سناریو از$ξ\_{s}=f(x,y\_{s})$. واریانس بالا برای $ξ\_{s}=f(x,y\_{s})$ نشان دهنده­ی آن است که تصمیم دارای ریسک بالایی است. به عبارت دیگر یک تغییر کوچک در پارامترهای دارای عدم قطعیت می­تواند سبب تغییرات بزرگ در ارزش تابع اندازه­گیری شود. مالوی و همکارانش از عبارت زیر برای نشان دادن استواری راه حل استفاده کردند و $δ$ وزن اختصاص یافته برای واریانس راه حل است.



همان­طور که می­توان دید یک عبارت درجه­ی دو  در عبارت وجود دارد. یو و لین ]18[ برای کاهش در عملیات کامپیوتری از یک عبارت قدر مطلق انحراف به­جای عبارت درجه دو استفاده می‏کنند که در زیر نشان داده شده است:



اگرچه معادله­ی فوق شامل مقادیر قدر مطلق است با این حال دو متغیر اضافی$Q\_{s}^{+} و Q\_{s}^{-}$ می­تواند برای خطی کردن تابع هدف فوق استفاده شود. اگر بیشتر از $ξ\_{s}$ باشد $ Q\_{s}^{-}$به آن تفسیر می­شود؛ در حالی­که$ Q\_{s}^{+}$ برابر مقداری است که کوچک­تر از است. فرمول­بندی فوق به شکل زیر تغییر می­کند و خطی می­شود:



برطبق تئوری برنامه­ریزی خطی واضح است که همواره یکی از مقادیر $Q\_{s}^{+}وQ\_{s}^{-}$برای$δ\geq 0$ مقدار صفر می‏گیرد ]19[. توجه کنید کهاست.

عبارت دوم تابع هدف فوق $γρ(η\_{1},η\_{2},…,η\_{s})$ است که برای غیر موجه بودن مدل به­کار می­رود و استواری مدل را نشان می­دهد. $ γ$وزن قرار داده شده برای غیر موجه بودن اختصاص یافته است و تحلیل هزینه منفعت را بین استوار مدل و راه­حل نشان می­دهد. در اینجا $η\_{s}$ غیر موجه بودن مدل را نشان می­دهد که به ازای پارامتر دچار عدم قطعیت تحت سناریو s به دلیل محدودیت ظرفیت ایجاد شده است. بر طبق کلیه بحث­های فوق تابع هدف نهایی به شکل زیر فرموله می­شود ]20[.



در دهه­ی اخیر کارهای بسیاری در زمینه­ی رویکرد استوار انجام شد. پنج کار اصلی در این زمینه­ای که اخیراً صورت گرفته و در این پژوهش بیشترین تأثیر را داشته­اند به همراه ویژگی­های آن­ها در جدول زیر خلاصه شده است.

**جدول2 .** مدل­های استوار زنجیره تامین

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| پدید آورندگان | سال انتشار مقاله | ویژگی­های مدل |
| مدل فنگ پن وپاکش ناگی ]20[ | 2010 | این افراد مدل استوار خود را برای طراحی زنجیره­ی تامین تحت عدم قطعیت در تقاضا و در تولید چابک ارایه کردند و بهینه­سازی یکپارچه­ای را از لجستیک و هزینه­های تولید با توجه به اعضای زنجبره تامین آورده­اند. |
| داگلاس خوزه الم و رینالدومورابیتو ]17[ | 2011 | محققان چهار مدل را ارایه می­دهند: مدل اول مدل تحت پیش فرض قطعیت، مدل دوم دارای عدم قطعیت در هزینه به همین ترتیب مدل سوم دارای عدم قطعیت در تقاضا و مدل چهارم مدل ترکیبی عدم قطعیت در تقاضا و هزینه­ی تولید است. لازم به ذکر است که در این مدل­ها از رویکرد بنتال و نمیروفسکی استفاده شده است. |
| مدل عادل آذر- مسعود ربیعه و دیگران ]21 [ | 1389 | در این تحقیق محققان مدل چند هدفه استوار- فازی را برای انتخاب­کنندگان قطعات در شرکت ایران خودرو بررسی کردند. آن­ها در تحقیق خود بیان می کنند که برخی از پارامترهای مدل به صورت متغیر تصادفی است که در بازه­ی متقارن نوسان می­کند. |
| لئونگ و همکاران ]22[ | 2007 | در مقاله­ی آن­ها یک مدل بهینه­سازی استوار برای برنامه­ریزی تولید در چند سایت تولیدی مختلف با عدم قطعیت در داده­ها توسعه پیدا کرد. |
| گویترز و دیگران ]23[ | 1996 | آن­ها یک مساله­ی طراحی زنجیره تامین را با رویکرد استوار در نظر می­گیرند. همچنین یک شکل یا هیأت را توسط این رویکرد که به ازای سناریو­های متفاوت خوب و نزدیک به بهینه بماند؛ پی­گیری می­کند. |

در این تحقیق نیز بعد از فیلتر اولیه تامین­کنندگان با تحلیل سلسله مراتبی فازی از مدل برنامه­ریزی احتمالی دومرحله­ای عدد صحیح و مدل استوار برای تخصیص قطعات استفاده شد. بنابراین در قسمت دوم روش­شنایی تحقیق در قسمت سوم مدل پیشنهاد شده در قسمت چهارم جواب­های تحلیل سلسله مراتبی و مدل و در قسمت آخر نتایج آمده است.

**2 روش­شناسی**

در این تحقیق یک رویکرد سه مرحله­­ی یکپارچه برای انتخاب و تخصیص قطعات صورت گرفته و درشکل 1 این مراحل مشخص شده است. تفاوت مدل استوار و احتمالی علاوه بر مدل­سازی ریاضی آن­ها در محدودیت تعیین تعداد تامین­کنندگان برای مدل احتمالی و محدودیت حداقل مقدار تامین قطعه خاص از تامین­کننده در مدل‏سازی استوار است.

شناسایی تامین­کنندگان بالقوه و بالفعل

شناسایی فاکتور­های کلیدی برای انتخاب تامین­کنندگان و رابطه آن­ها

تشکیل درخت تحلیلی سلسله مراتبی وتعیین حداقل نمره

ارزیابی تامین­کنندگان با پرسشنامه­ی AHP

فیلتر اولیه تامین­کنندگان

مدل سازی شامل شناسایی پارامترها و اجزای مدل (تابع هدف، محدودیت­ها)

تعیین حداکثر تامین­کنندگان برای هر قطعه(N) برای مدل احتمال

یا حداقل سطح خرید از تامین­کننده خاص در مدل استوار

اعلام نیاز شرکت به تامین­کنندگان جدید یا ارزیابی تامین­کنندگان فعلی

حل مدل و تخصیص تقاضا به تامین­کنندگان

 مرحله­­ی اول

 شناسایی استراتژیک

 مرحله دوم

 ارزیابی اولیه

 مرحله سوم

ارزیابی نهایی

شکل1. مدل یکپارچه سه مرحله­ای و استوار

**مرحله­­ی اول (شناسایی استراتژیک)**

الف) شناسایی متغیرهای تاثیر­گذار بر انتخاب تامین­کننده.

در این قسمت با مطالعه­ی ادبیات تحقیق درخت سلسله مراتبی و متغیرهای زیر به‏دست آمد. البته درخت­های مورد بررسی برای انتخاب تامین­کنندگان بزرگ­تر بوده که با نظر خبرگان این درخت در نهایت حاصل شد:

ب) مرحله­­ی شناسایی تامین­کننده بالقوه.

در این مرحله با توجه به دو محصول پژو پارس و 405، 19 قطعه با روش ABC انتخاب شدند و 6 تامین­کننده شناسایی شد.

**مرحله­­ی دوم (پیش ارزیابی)**

در این مرحله تامین­کنندگان که در مرحله­­ی اول شناسایی شده­اند با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد ارزیابی اولیه قرار گرفتند و آن­هایی که حداقل 2/0 نمره نرمالایز شده را کسب نکردند از ورود به مرحله سوم حذف گردیدند.

**مرحله­­ی سوم (ارزیابی نهایی)**

عملکرد محیطی (EP)

عملکرد تحویل (DP)

عملکرد قیمتی (pp)

***انتخاب تامین کننده***

متوسط زمان بین قیمت­های ثابت

روند افزایش قیمت

انعطاف پذیری در پاسخ به نیازهای سایت تولیدی

نرخ پاسخ به

 سفارش

شایستگی در تحویل به­موقع در ضرب العجل

ثبات مالی

تامین کنندگان

حمایت­های مدیران عالی

سیستم­های مدیریت محیطی (ایزوها)

شایستگی­های محیطی

تصور سبز

کیفیت (Q)

قابلیت اطمینان

قابلیت دوام

انطباق با استانداردها

**شکل 2 .** درخت تحلیلی سلسله مراتبی انتخاب تامین­کنندگان

**2-1 برنامه­ریزی احتمالی**

در این مرحله از برنامه­ریزی احتمالی دو مرحله­ای برای تخصیص تقاضای دارای عدم قطعیت به تامین­کنندگان استفاده شد. دو مجموعه تصمیمات در برنامه­ریزی احتمالی دو مرحله­ای گرفته می­شود:

تصمیمات قبل از ورود متغیر دارای عدم قطعیت که به این دسته از متغیرها متغیرهای مرحله­­ی اول گویند. متغیرهای مرحله دوم که پس از تجربه­ی پارامتر­های دارای عدم قطعیت وارد مدل می­شوند ]24[.

 تقسیم متغیرها به این دو دسته صرفاً بر اساس ورود عدم قطعیت صورت گرفته است. اگر متغیرهای مرحله اول را با بردار X نشان دهیم؛ تصمیمات مرحله­­ی دوم با Y یاy(w) و یا y(w,x) نمایش داده می­شود که در آن $ξ(w)$ حادثه احتمالی است؛ بنابراین توالی تصمیمات به­صورت زیر خواهد بود :

X$ ξ(w)$ y(w,x)

به این ترتیب مدلی که توسط برگ و لویکس ارایه شد؛ به شکل زیر خواهد بود ]25[ :



**3 مدل­سازی**

پارامترها و متغیرهای مدل در جدول نمایش داده شده است . با توجه به ماهیت گسسته­ی داده­ها 20 سناریو برای تقاضای قطعات در سایت­های تولیدی ایران خودرو در نظر گرفته شد. برای تولید این 20 سناریو ابتدا با توجه داده­های ماهانه سال­های قبل، توزیع پواسون در نرم افزار spss برای تقاضای دو محصول پژو پارس و 405 در دو سایت در12 ماه سطح  به­دلیل اینکه مقدار $sig$ بزرگ­تر از 025/0 فرض $H\_{0}$ ، تایید شد.

سپس با استفاده از Add-Ins (ZRandom) در نرم افزار Excel 20 عدد تصادفی با میانگین تعیین شده از داده­ها ایجاد شد و مدل در نرم افزار lingo حل گردید. برای اینکه بین سناریوها تفاوتی نباشد احتمال همه­ی سناریو­ها یکسان در نظر گرفته شد. لازم به توضیح است که در این تحقیق دو دسته رابطه با تامین­کنندگان در نظر گرفته شد: رابطه­ی اول بر اساس سیستم پایه است یعنی رابطه با تامین­کنندگانی محدود برای مقدار ثابت و با هزینه ثابت قطعه برای هر دوره از این تامین­کنندگان انتظار کمبود ظرفیتی عادی با توجه به این رابطه نمی رود. رابطه­ی دوم براساس سیستم انتخابی برای مواردی است که نیاز بیش از مقدار برنامه­ریزی تولید در دوره خاص باشد که علاوه بر هزینه­ی ثابت فوق باید هزینه مازادی به این تامین­کنندگان تعلق گیرد] 26[.

تابع هدف هزینه خرید، حمل و نقل، موجودی، قطعات معیوب و دارای دیرکرد را حداقل می­کند. محدودیت اول اشاره به این دارد که تعداد تامین­کننده برای هر ماده نباید بیشتر از N باشد. محدودیت دوم به این نکته اشاره دارد که تا قرارداد پایه بسته نشود قرارداد مازاد نیز بسته نمی­شود. محدودیت سوم اشاره به ظرفیت دارد. محدودیت بعد بیان می­کند مقدار تخصیص به هر تامین­کننده برابر تقاضای محصول در تعداد قطعه به­کار رفته در محصول منهای موجودی دوره قبل و به­علاوه موجودی این دوره است. دو محدودیت آخر محدودیت‏های باز دارنده قطعات دارای دیرکرد و معیوب هستند.

**جدول 3.** پارامترها و متغیرهای مدل

|  |  |
| --- | --- |
| **اندیس­ها** | **توضیحات** |
| $$G=\left(\tilde{E}\right)$$ | شبکه­ی زنجیره تامین. |
| $$\tilde{E}$$ | مجموعه­ی گره­ها در شبکه (شامل تامین­کنندگان، سایت­های تولیدی). |
| $$p\in \tilde{E}$$ | مجموعه­ی کارخانه­ها (سایت­های تولیدی). |
| $$k\in \tilde{E}$$ | مجموعه تامین­کنندگان. |
| $$ψ$$ | مجموعه­ی محصولات. |
| T | مجموعه­ی دوره­های زمانی. |
| **پارامترها** | **توضیحات** |
| $$g\_{k}^{r}$$ | حداکثر مقداری که می­شود قطعه r از تامین­کننده kدر یک دوره یک ماهانه از طریق قرارداد انتخابی خرید (نامحدود). |
| $$C\_{k}^{r}$$ | ظرفیت تامین­کننده k برای قطعه r. |
| $$p^{r}$$ | هزینه یک واحد کمبود قطعه r. |
| $$A\_{k}^{r}$$ | هزینه یک واحد خرید قطعه r از تامین­کننده $k\in K$ که دارای قرارداد پایه است. |
| $$B\_{k}^{r}$$ | هزینه یک واحد خرید قطعه r از تامین­کننده $k\in K$ که دارای قرارداد انتخابی است. |
| $$C\_{kl}^{s}$$ | هزینه حمل ونقل یک واحد از تامین­کننده$ k\in K$ به کارخانه­ی $l\in p$ . |
| $$H\_{l}^{r}$$ | هزینه نگهداری یک واحد قطعه r درکارخانه $l\in p$. |
| $$I\_{lo}^{r}$$ | موجودی قطعه­ی r در ابتدای سال در کارخانه ی $l\in p$. |
| $$τ\_{r}^{ψ}$$ | تعداد قطعاتی که برای ساخت یک واحد محصول $ψ$ نیاز است. |
| $$Z\_{k}^{r}$$ | نرخ معیوبی قطعه r برای تامین­کننده$ k\in K$. |
| $$J^{r}$$ | هزینه جریمه برای قطعه معیوب r . |
| $$N\_{k}^{r}$$ | نرخ دیر کرد قطعه r برای تامین­کننده$ k\in K$. |
| $$ζ^{r}$$ | هزینه جریمه برای دیر کرد قطعه r . |
| $$D\_{tl}^{ψ}$$ | مقدار تقاضا برای محصول $ψ$ در دوره­ی t درکارخانه $l\in p$. |
| $$O\_{2}^{r}$$ | حداکثر نرخ دیرکرد پذیرفته شده برای قطعه r . |
| $$O\_{1}^{r}$$ | حداکثر نرخ معیوب پذیرفته شده برای قطعه r . |

|  |  |
| --- | --- |
| **متغیرهای تصمیم (عدد صحیح)** | **توضیحات** |
| $$x\_{klt}^{br}$$ | مقدار تحویل داده شده قطعه­ی $r$ از تامین کننده $k\in K$ به کارخانه $l\in p$ در دوره­ی t (قرارداد پایه). |
| $$x\_{klt}^{or}$$ | مقدار تحویل داده شده قطعه­ی $r$ از تامین کننده $k\in K$ به کارخانه $l\in p$ در دوره­ی t (قرارداد انتخابی). |
| $$y\_{k}^{r}$$ | متغیر *باینری* انتخاب تامین کننده $k\in K$. |
| $$I\_{lt}^{r}$$ | مقدار موجودی قطعه r در کارخانه $l\in p$ در دوره­ی t. |



*s.t.*



**3-1 *مدل استوار***

*با توجه به اینکه تقاضای سایت­های تولیدی در کوتاه مدت دارای نوسان و یا به عبارت دیگر همراه با عدم قطعیت می­باشد از فرمول­بندی استوار مالوی سیم و وندربی برای استوارسازی مدل استفاده شده است. این مدل دارای سه قسمت هزینه­ی مورد انتظار و استواری راه­حل به ازای تغییر سناریو­ها و استواری مدل برای تقاضای تامین نشده است. همچنین نسبت به مدل قطعی به ازای هر سناریو یک محدودیت به آن برای حداقل کردن عدم استواری ناشی از سناریوها اضافه گردیده است.*

|  |  |
| --- | --- |
| **متغیرهای تصمیم** | **توضیحات** |
|  |  |
| $$v\_{lt}^{r}$$ | تقاضای ارضا نشده در t دوره­ی درکارخانه $l\in p$ برای محصول r. |
| $$y\_{klt}^{Br}$$ | مقدار تحویل داده شده قطعه­ی $r$ از تامین­کننده $k\in K$ به کارخانه $l\in p$ در دوره­ی t با قرارداد پایه. |
| $$y\_{klt}^{or}$$ | مقدار تحویل داده شده قطعه­ی $r$ از تامین­کننده $k\in K$ به کارخانه $l\in p$ در دوره­ی t با قرارداد انتخابی. |
| $$I\_{lt}^{r}$$ | مقدار موجودی قطعه r در کارخانه $l\in p$ در دوره­ی t. |





*محدودیت زیر نیز با توجه به تفاضل سناریوها حاصل شد:*



*3-2 تعریف سناریوها*

*با توجه به تقاضای متفاوت در ماه­های سال همواره سه اتفاق رکود وضعیت، ثبات و رونق در تقاضای مشتریان در ماه­های مختلف سالانه اتفاق می­افتد. در سناریو­ی اول میزان تقاضا کاهش یافته است و با توجه به کاهش تقاضا در هزینه­ی حمل و نقل نیز کاهش می­یابد. در این شرکت میزان هزینه­ی حمل و نقل دارای نوسان می­باشد؛ یعنی با توجه به نوسان در تقاضا هزینه­های حمل و نقل نیز دارای نوسان شده و همچنین که گفته شد سه سناریوی رونق، رکود و رونق تقاضا اتفاق می­افتد. بر خلاف رویکردهای احتمالی همان­طور که در ادبیات تحقیق بیان گردید نیاز به شناسایی توزیع احتمالی این عدم قطعیت درمدل­های استوار نیستیم. البته هرچه پارامترهابه توزیع یکنواخت نزدیک­تر باشند؛ جواب­های بهتری حاصل* می­شود*. این نکته یکی از نقاط قوت رویکرد استوار است با توجه به نکته با مشورت با متخصصان لجستیک در این شرکت احتمال وقوع سناریو اول 1/0، سناریو دوم 6/0 و سناریو سوم 3/0 می­باشد.*

**4 حل مدل**

نتایج حاصل از پرسشنامه­ی تحلیل سلسله مراتبی فازی در جدول زیر خلاصه شده است. تامین­کننده­ی اول، سوم و ششم که حداقل نمره­ی ممکنه را کسب کردند؛ وارد مدل دو مرحله­ای احتمالی شدند.

**جدول 4.** جواب تحلیل سلسله مراتبی

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | *عملکرد قیمتی* | *عملکرد تحویل* | *عملکرد محیطی* | *کیفیت* | *معیارهای اصلی* |
| 447/0 | 203/0 | 17/0 | 18/0 |
| *نمرات نهایی* | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | 4 | 3 | 2 | 1 | 3 | 2 | 1 | *معیارهای فرعی* |
| 432/0 | 20/0 | 368/0 | 367/0 | 318/0 | 315/0 | 005/0 | 433/0 | 371/0 | 191/0 | 206/0 | 288/0 | 506/0 |
| *2128727/0* | 28/0 | 18/0 | 20/0 | 23/0 | 15/0 | 19/0 | 12/0 | 20/0 | 24/0 | 21/0 | 155/0 | 23/0 | 18/0 | *تامین­کننده اول* |
| 14125317/0 | 125/0 | 185/0 | 14/0 | 09/0 | 17/0 | 10/0 | 16/0 | 09/0 | 13/0 | 10/0 | 18/0 | 10/0 | 257/0 | *تامین­کننده دوم* |
| *2025824/0* | 209/0 | 195/0 | 19/0 | 26/0 | 20/0 | 23/0 | 21/0 | 175/0 | 28/0 | 18/0 | 175/0 | 15/0 | 18/0 | *تامین­کننده سوم* |
| 12303006/0 | 10/0 | 13/0 | 13/0 | 19/0 | 11/0 | 19/0 | 14/0 | 085/0 | 125/0 | 19/0 | 165/0 | 19/0 | 01/0 | *تامین­کننده چهارم* |
| 11324387/0 | 11/0 | 13/0 | 15/0 | 03/0 | 1/0 | 10/0 | 24/0 | 16/0 | 05/0 | 10/0 | 155/0 | 16/0 | 09/0 | *تامین­کننده پنجم* |
| *20634196/0* | 176/0 | 18/0 | 19/0 | 20/0 | 27/0 | 19/0 | 13/0 | 29/0 | 175/0 | 22/0 | 17/0 | 17/0 | 283/0 | *تامین­کننده ششم* |

با توجه به نتایج فوق تامین­کننده اول با شماره یک تامین­کننده سوم با شماره دو و تامین­کننده ششم با شماره سه در ادامه مشخص می­شوند.

1.4حل مدل برنامه­ریزی احتمالی:

مدل در سیستم کامپیوتر با CPU برابر با GH 06/3 و RAM برابر G1 حل شد. جواب­های مدل تحت حالت مشارکت هر سه تامین­کننده برای هر قطعه یعنی نامعادله زیر حل شده و در پایین آمده است:



**جدول 5.** *جواب­های* مدل

|  |
| --- |
| سه تامین­کننده برای هر قطعه |
| تابع هدف | **886113400** |
| تعداد متغیرها  | **63954** |
| تعداد ایتریشن  | **228305** |
| مدت حل  | **3442 ثانیه** |
| تامین­کنندگان منتخب برای هر قطعه |
|  قرارداد پایه قرارداد مازاد |
| قطعه 1 : | **اول، دوم، سوم** |  **سوم** |
| قطعه 2 | **اول، دوم** |  **اول** |
| قطعه 3 | **دوم، سوم** |  **دوم، سوم** |
| قطعه 4 | **اول، دوم** |  **اول** |
| قطعه 5 | **اول، دوم** |  **دوم** |
| قطعه 6 | **اول، دوم** |  **اول** |
| قطعه 7 | **اول، دوم، سوم** |  **دوم** |
| قطعه 8 | **اول، دوم، سوم** |  **سوم** |
| قطعه 9 |  **دوم، سوم** |  |
| قطعه 10 | **اول** |  **اول** |
| قطعه 11 | **دوم** |  **دوم** |
| قطعه 12 | **اول** |  **اول** |
| قطعه 13 | **اول، دوم، سوم** |  |
| قطعه 14 | **اول، دوم** |  **اول، دوم** |
| قطعه 15 | **اول، دوم** |  **اول** |
| قطعه 16 | **اول، دوم** |  **اول، دوم** |
| قطعه 17 | **اول، دوم** |  **دوم** |
| قطعه 18 | **اول، دوم** |  |
| قطعه 19 | **اول، دوم، سوم** |  **دوم، سوم** |

مدل استوار طراحی شده تحت دلتا و گاماهای متفاوت حل شد. نتایج در جدول و شکل­های زیر خلاصه شده است. همان­طور که دیده می­شود با افزایش ضریب استواری مدل (گاما) تقاضای ارضا نشده از طریق افزایش هزینه بیشتر در تابع هدف جبران و استواری مدل از لحاظ راه حل افزایش داشت به زبان ساده تغییر در تقاضای دارای عدم قطعیت پوشش داده شده است. نکته­ی بسیار مهم مدل استوار توانایی آن در استفاده بیشتر از ظرفیت پایه است؛ یعنی در مواردی که بیش از 24/0 امکان استفاده وجود داشت این نکته صورت پذیرفت. علت ضریب بالای گاما مقیاس بزرگ داده هاست.

**جدول 6.** حل مدل­های استوار

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **هزینه مورد انتظار** | **استوار راه حل** | **تقاضای ارضا نشده** | **تعداد** | **گاما** | **دلتا** |
| **8913216000** | **251/67494** | **10402** | **1** | **100000** | **1** |
| **8907781000** | **358879053** | **9177** | **2** | **150000** | **1** |
| **9191173000** | **835822410** | **2627** | **3** | **200000** | **1** |
| **9214366000** | **979575820** | **1539** | **4** | **500000** | **1** |
| **9344055000** | **09+E635/1** | **0** | **5** | **1000000** | **1** |

**5 نتیجه­گیری و ارایه پیشنهادات**

همان­طور که در فوق اشاره شد انتخاب تامین­کننده یکی از مهمترین تصمیماتی است که در زنجیره تامین گرفته می­شود. این تصمیم دارای اثر استراتژیک بر شرکت­های تولیدی است. با توجه به این نکته ابتدا تامین­کنندگان با رویکرد تحلیل سلسله مراتبی فازی فیلتر گشته و تامین­کنندگان منتخب وارد مدل­ها شدند. نتایج نشان می­دهد که با توجه با رویکرد نوین قرارداد پایه و مازاد تعداد تامین­کنندگان کمتری انتخاب گردیده و با توجه به حساسیت مدل بر قطعات دارای معیوبی و دیرکرد کیفیت نیز بهبود یافته است. ذکر این نکته بسیار حایز اهمیت است که این مدل قابلیت تطابق با هرگونه عدم قطعیت در تقاضا را داراست و این عدم قطعیت منجر به غیر بهین شدن جواب بهینه نمی­شود. در نمودار زیر جواب برای 20 سناریو آمده است. همان­طور که دیده می­شود تفاوت بسیار زیادی در اثر نوسانات تقاضا در تابع هدف حاصل شده است:

شکل3 .مقدار تابع هدف برای 20 سناریو

در جدول زیر قرارداد انتخابی برای 19 قطعه به دلیل حساسیت بیشتر مدل به این نوع قرارداد با توجه به عدم قطعیت در تقاضا برای هر تامین­کننده تحت 10 سناریو اول مشخص شده است. می توان به تفاوت بین سناریوها با توجه به نوسان تقاضا در هر سناریو توجه ویژه­ای کرد. در واقع تحت هر سناریو استثناهای بسیاری در قرارداد اتفاق می افتد پس می­توان گفت که مدل برنامه­ریزی احتمالی چند محصولی- چند دوره­ای علاوه بر ارایه یک جواب بهینه را برای تمامی سناریوها مقدار هزینه­ی کل واحدی نیز به‏دست داده است.

**جدول 7.** قرارداد انتخابی برای 10 سناریو اول (رنگ تیره تر به معنای قرارداد است)

| سناریو | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| تامین-کننده | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** | **1** | **2** | **3** |
| قطعه |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 1 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 10 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 11 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 12 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 13 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 14 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 15 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 16 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 17 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 19 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

**1.5. موازنه­ی استواری جواب و استواری مدل**

برای دلتا برابر یک و گاما برابر مقادیر اشاره شده در جدول 5 نمودارهای زیر نمایش داده شده است. به این معنا که با افزایش گاما که در واقع ضریب موازنه بین استواری مدل و استواری راه­حل است مقادیر تقاضای ارضا نشده و استواری جواب مطابق انتظار تغییر می­کند.

همان­طورکه بررسی شد در تحلیلی سلسله مراتبی تامین­کنندگان شناسایی شده از نظر شاخص­های کلیدی محیطی، عملکردی، کیفیتی و قیمت مورد بررسی قرار گرفتند. نکته بسیار مهم این است که در مدل برنامه­ریزی احتمالی دو مرحله­ای هم بر کیفیت محصول با دو محدودیت قطعات معیوب و دارای دیرکرد تاکید شد؛ بنابراین این رویکرد سه مرحله­ای تاکید بسیاری بر کیفیت داشته؛ موجب کارایی کیفی خواهد شد. بنابراین مدیران ارشد سازمان­ها می­توانند از مدل طراحی شده در صنعت برای انتخاب تامین­کنندگان با شرایط مطلوب چه با شاخص‏های مکنون و چه آشکار استفاده کنند.

در تحقیقات آتی می­توان از سایر رویکردهای مدل­سازی احتمالی استفاده کرد یا این رویکرد را با سیستم­های فازی و یا هوش مصنوعی ترکیب و نتایج حاصل را با هم مقایسه نمود. همچنین می­توان از رویکرد استوار نیز جهت تخصیص و تطابق با عدم قطعیت بهره گرفت.

**منابع**

]3[ میرغفوری، س. ح.، طراحی مدل زنجیره عرضه صنایع لاستیک سازی ایران (مورد مطالعه :لاستیک سازی یزد)، پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس، 25.

]21[ آذر، ع.، ربیعه، م.، مدرس یزدی، م.، فطانت فرد حقیقی، م.، (1389). مدل ریاضی منبع یابی چند هدفه استوار- فازی رویکردی در مدیریت ریسک زنجیره ایران خودرو، پژوهش­های مدیریت در ایران.

[1] Peidro, D., Mula, J., Jiménez, M., Botella, M., (2010). A fuzzy linear programming based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment. European Journal of Operational Research, 205, 65–80.

[2] Peidro, D., Mula, J., Jiménez, M., Botella, M., (2009). Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties. Fuzzy Setsand Systems,160, 2640–2657.

[4] Grubic, T., Fan, I., (2010). Supply chain ontology: Review, analysis and synthesis. Computers in Industry, 61, 776–786.

[5] Beale, E., (1955). On minimizing a convex function subject to linear inequalities. Journal of the Royal Statistical Society B, 17, 173–184.

[6] Dantzig, G. B., (1955). Linear programming under uncertainty. Management Science, 1, 197–206.

[7] MirHassani, S. A., Lucas, C., Mitra, G., Poojari, C. A., (1999). Computational solution of capacity planning model under uncertainty. Parallel Computing Journal, 26, 511–538.

[8] Ahmed, S., King, A. J., Parija, G., (2000). A multi-stage stochastic integer programming approach for capacity expansion under uncertainty, School of Industrial and Systems Engineering. Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA.

[9] Gupta, A., Maranas, C. D., (2003). Managing demand uncertainty in supply chain planning. Computer and Chemical Engineering, 27, 1219–1227.

[10] Gupta, A., Maranas, C. D., McDonald, C. M., (2000). Mid-term supply chain planning under demand uncertainty: Customer demand satisfaction and inventory management. Computers and Chemical Engineering 24, 2613–2621.

[11] Tsiakis, P., Shah, N., Pantelides, C. C., (2001). Design of multiechelon supply chain networks under demand uncertainty. Industrial and Engineering Chemistry Research, 40, 3585–3604.

[12] Azaron, A., Brown, K. N., Tarim, S. A., Modarres, M., (2008). A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk. International Journal of Production Economics, 116, 129–138.

[13] El-Sayed, M., Afia, N., El-Kharbotly, A., (2010). A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk. Computers & Industrial Engineering, 58, 423–431.

[14] Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M., Shapiro, A., (2005). A stochastic programming approach for supply chain network design under uncertainty. European Journal of Operational Research, 167, 96–115.

[15] Fleten, S. E., Kristoffersen, T. K., (2008). Short-term hydropower production planning by stochastic programming. Computers & Operations Research, 35, 2656–2671.

[16] Bertsimas, D., Sim, M., (2004). The Price of Robustness. Operations research, 52(1), 35–53.

[17] Douglas Jose´ Alem, Reinaldo Morabito,(2012), Production planning in furniture settings via robust optimization, Computers & Operations Research, 139–150

[18] Yu, C., Li, H., (2000). A robust optimization model for stochastic logistic problems. International Journal of Production Economics, 64: 385–97.

[19] Wagner, H., (1975). Principles of Operations Research. New Jersey: Prentice-Hall.

[20] Pan, F., Nagi, R., (2010). Robust supply chain design underun certain demand in agile manufacturing. Computers & Operations Research, 37, 668-683.

[22] Stephen, C. H., Leung, Sally, O. S., Tsang, W. L., Ng, Y. W., (2007). A robust optimization model for multi-site production planning problem in an uncertain environment. European Journal of Operational Research, 181, 224–238.

[23] Gutierrez, G., Kouvelis, P., Kurawala, A., (1996). A robustness approach to uncapacitated network design problems . European Journal of Ope1995 rational Research, 94, 362–76.

[24] Mulvey, J., Vanderbei, R., Zenios, S., Robust optimization of large-scale systems. Operations Research, 43, 264–81.

[25] Birge, J. R., Louveaux, F., (1997). Introduction to stochastic programming. Berlin: Springer-Verlag

[26] Xu, N., Nozick, L., (2009). Modeling supplier selection and the use of option contracts for global supply chain design, Computers & Operations Research, 36, 2786 – 2800.

1. عهده دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: fazel.mosavi@yahoo.com [↑](#footnote-ref-1)