International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2014)

Dec 2014, Volume 25, Number 3
pp. 263-272

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

DESIGNINIG OF ROBUST MODEL FOR ALLOCATED PARTS TO SUPPLIERS

Adel Azar* **, Seyed Fazel Mosavi**

Adel Azar, *professer of industrial management, Tarbiat Modares University,azara@modares.ac.ir, Tehran Iran*
Seyed Fazel Mosavi, *PHD of industrial management, Tarbiat Modares University,fazel.mosavi@yahoo.com, Tehran Iran*

Keywords

supply chain
robustness approach
model robustness
solution robustness

ABSTRACT

One Decisions for supplier selection is a key issue in the supply chain. This is of strategic importance for most organizations. Uncertainty in the supply chain leading to non-optimal decisions that are made with certainly. Hence in this research robust approach to compliance with the uncertainty in the supply chain was used. Therefore, the policy provides that the reduction in the supply chain is one of the strategic decisions of the supplier selection with fuzzy hierarchical analysis of the suppliers who have not achieved the minimum score to enter the model were removed. Then, given the nature of the scenario approach is a Malvy Sim to allocate parts to the site produced by IRAN KHODRO. Results showed that the robust approach on increased costs to supply parts. But result such as reduced inventory and respond to the production site and reduce the uncertainty due to critical role of the company was acquired. Also the robust model is solved on different coefficients consistent with the model robustness that demands of supply not supplied and solution robustness that is related to change of scenarios and trade-off between them for sensitivity of decision makers done.

© 2014 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 25, No. 2, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــــاره ۳، جلـــد ۲۵، آذر ۱۳۹۳
صفحـــــه ۲۷۲-۲۶۴

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید
دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

طراحی مدل استوار برای تخصیص قطعات به تامین کنندگان

عادل آذر، سیدفاضل موسوی*

کلمات کلیدی

زنجیره تامین،
رویکرد استوار،
استواری مدل،
استواری راه حل،

چکیده:

یکی از مهمترین تصمیماتی که در زنجیره تامین گرفته می شود مساله ی کارایی و اثربخشی این زنجیره توام با پارامتر ها و متغیر های دارای عدم قطعیت است. عدم قطعیت در زنجیره تامین منجر به غیر بهینه شدن تصمیماتی است که با فرض قطعیت گرفته می شوند. از این رو در این تحقیق رویکرد استوار برای تطابق با عدم قطعیت در زنجیره تامین ساپکو به کار رفت. شرکت ساپکو تامین کننده قطعات ایران خودرو است که با هدف کارامدی و کیفیت در انتخاب تامین کنندگان عمل می کند. با توجه به سیاست کاهش تامین کننده که یکی از تصمیمات استراتژیک در زنجیره تامین است از روش تحلیل سلسله مراتب فازی ابتدا تامین کنندگانی که حداقل نمره را کسب نکرده از ورود به مدل حذف گردیدند، سپس با توجه به ماهیت داده از رویکرد مالوی سیم که سناریو ایست برای تخصیص قطعات برای دو سایت تولیدی ایران خودرو استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از رویکرد استوار منجر به افزایش هزینه ی تامین قطعات می شود اما نتایجی مانند کاهش موجودی، پاسخ گویی به عدم اطمینان سایت های تولیدی و کاهش میزان تقاضای ارضا نشده (استواری مدل) با توجه به نقش حساس شرکت حاصل شد. همچنین مدل استوار با ضرایب متفاوت استواری راه حل که اشاره به تغییرات سناریو ها و استواری مدل که اشاره به تقاضای تامین نشده دارد نیز حل گردید و با توجه به حساسیت تصمیم گیرندگان موازنه ای بین آن ها صورت پذیرفت.

۱. مقدمه

در فرایند های تصمیم گیری 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 بهینه سازی در زنجیره تامین در شرایط عدم قطعیت منجر به کاهش هزینه ها و بهبود کیفیت و در نتیجه رسیده به یک مزیت و موقعیت رقابتی خواهد شد[۴]. تحقیقات تجربی نشان می دهند که یکپارچه سازی زنجیره تامین عملکرد تجاری و عملیاتی بهتری را ارائه می دهند[۱۴].

رویکرد استوار برای حل مسائل بهینه سازی با عدم قطعیت داده ها در اوایل دهه ی ۱۹۷۰ پیشنهاد شد و اخیرا بطور گسترده ای مورد مطالعه قرار گرفت و توسعه یافت. تحت این رویکرد تمایل به پذیرش یک جواب زیر بهینه برای ارزش های اسمی داده ها است، برای تضمین اینکه جواب موجه و بهینه وقتی که داده ها تغییر می یابند، تضمین شود[۵]. دو محقق به نام های داگلاس خوزه الم و رینالدوموراربیتو دو دلیل را برای استفاده از بهینه سازی استوار ذکر کردند :

۱. بهینه سازی استوار نسبت به رویکرد احتمالی از لحاظ حل مدل راحتر است.
۲. دانش واضحی از توزیع احتمالی از داده های دارای عدم قطعیت نیاز نیست و از داده های تاریخی و تجربه های تصمیم گیرنده می توان در بعضی موارد برای استنتاج بازه ی دارای عدم قطعیت استفاده کرد[۶].

مدل های استوار اصلی در چهار دسته زیر خلاصه می شود :

۱. فرمول بندی استوار سویستر

تاریخ وصول: ۹۰/۹/۰۷
تاریخ تصویب: ۹۳/۴/۳۰

سیدفاضل موسوی، کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، fazel.mosavi@yahoo.com
*نویسنده مسئول مقاله: **دکتر عادل آذر** ، استاد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و اقتصاد، دانشگاه تربیت مدرس، azara@modares.ac.ir

۲. فرمول بندی استوار بن تال و نمیروفسکی

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

جدول۱.مقایسه مدل سویستر و بتنال (n: نشان دهنده متغیرها و m: نشان دهنده ی محدودیت ها) [۵]

نام مدل	تعداد متغیرها	تعداد محدودیت ها	ویژگی مدل
سویستر	2n	m+2n	مدل خطی
بن تال ونمیروفسکی	n+2k	m+2k	مدل غیر خطی

۳. فرمول بندی برتسمیس و مالوی سیم

۴. فرمول بندی استوار مالوی سیم و وندربی:

با توجه به ماهیت گسسته و سناریویی داده ها از مدل مالوی و همکاران استفاده شد. مدل های برنامه ریزی ریاضی با داده های بیش از حد، دارای پارازیت و عدم قطعیت فراوان در کاربرد های تحقیق در عملیات بسیار معمول است. مشکلات این داده ها اصولا با تحلیل حساسیت و فرمولبندی برنامه ریزی احتمالی مواجه است. مالوی در سال ۱۹۹۵ دو مطب یعنی استواری مدل و استواری راه حل را مطرح کرده است. راه حل بهینه برنامه ریزی ریاضی در ارتباط با بهینگی همچنان استوار است اگر برای هر فهم از سناریو خاص همچنان نزدیک به بهینه باقی بماند که به آن استواری راه حل گویند. از طرف دیگر راه حل همچنان در ارتباط با استواری موجه است اگر برای هر فهم از سناریو خاص همچنان تقریبا موجه باقی بماند به این مورد استواری مدل گویند. غیر موجه بودن مدل بوسیله ی تابع جریمه اندازه گیری می شود.

نزدیک به بهینگی به معنای بهینگی مجاورت است در حالی که تقریبا 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 راه حل و استواری مدل ارائه می دهند. در مدل بهینه سازی استوار آن ها دو نوع متغیر وجود دارد : متغیرهای کنترل و متغیرهای طراحی. برای متغیرهای طراحی قبل از فهم پارامترهای احتمالی تصمیم گیری می شود و نمی توان آن ها را بعد از فهم تغییر داد. متغیرهای کنترل بعد از یک فهم خاص از پارامتر های عدم قطعیت تعدیل می گردند. مدل بهینه سازی استوار که بوسیله ی مالوی و دیگران ارائه شد مانند زیر فرمول بندی گشت. در ابتدا تعدادی از نمادهای مرتبط با مدل معرفی می شوند.

x بردار متغیر های طراحی و y بردار متغیرهای کنترل است. A ، B و C ضرایب پارامترها، b و e بردارهای پارامتر هاست(مقادیرسمت راست). A و b مقادیر معین، در حالیکه B، C و e دارای عدم قطعیت هستند. یک فهم خاص از پارامتر عدم قطعیت سناریو نامیده می شود که به آن نماد s اختصاص می یابد و احتمال آن با p_s مشخص می شود. برای نشان دادن مجموعه ای از سناریو از نماد Ω استفاده می شود. ضرایب عدم قطعیت بشکل B_s، C_s و e_s برای هر سناریو $s \in \Omega$ اختصاص می یابد. همچنین متغیر کنترل y چون بعد از فهم سناریو تعدیل می شود، می تواند نمادy_s برای سناریو s تخصیص یابد. بخاطر 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 معادله های زیر خواهد گرفت. مدل مالوی به این ترتیب به شکل زیر فرمول بندی می شود :

$$\min \ \sigma(x, y_1, y_2, \dots, y_s) + \gamma\rho(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_s)$$
$$\text{Subject to: } Ax=b$$
$$B_s x + C_s y_s + \eta_s = e_s \qquad \forall s \in \Omega$$
$$x \geq 0, y_s \geq 0, \eta_s \geq 0 \qquad \forall s \in \Omega$$

دو عبارت در تابع هدف فوق وجود دارد : اولین نشان دهنده ی استواری راه حل و دومین استواری مدل بوسیله ی وزن γ را نشان می دهد. در زیر این دو عبارت بحث می شود، برای ارائه ی $f(x,y)$ از نماد ξ که یک تابع هزینه و فایده است استفاده می شود و برای هر سناریو از $\xi_s = f(x, y_s)$. واریانس بالا برای $\xi_s = f(x, y_s)$ نشان دهنده ی آن است که تصمیم دارای ریسک بالایی است. به عبارت دیگر یک تغییر کوچک در پارامترهای دارای عدم قطعیت می تواند سبب تغییرات بزرگ در ارزش تابع اندازه گیری 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.

$$\sigma(\cdot) = \sum_{s\in\Omega} p_s \xi_s + \delta \sum_{s\in\Omega} p_s \left(\xi_s - \sum_{s\in\Omega} p_{ś} \xi_{ś} \right)^2$$

همانطور که می توان دید یک عبارت درجه ی دو $\sum_{s\in\Omega} p_s (\xi_s - \sum_{s\in\Omega} p_{ś}\xi_{ś})^2$ در عبارت بالا دید. یو و لین [۱۶]برای کاهش در عملیات کامپیوتری از یک عبارت قدر مطلق انحراف بجای عبارت درجه دو استفاده می کنند که در زیر نشان داده شده :

$$\sigma(\cdot) = \sum_{s\in\Omega} p_s \xi_s + \delta \sum_{s\in\Omega} p_s \left| \xi_s - \sum_{s\in\Omega} p_{ś} \xi_{ś} \right|$$

اگرچه معادله ی فوق شامل مقادیر قدر مطلق است با این حال دو متغیر اضافی Q_s^- و Q_s^+ می تواند برای خطی کردن تابع هدف فوق استفاده شود. اگر$\sum_{s\in\Omega} p_{ś}\xi_{ś}$ بیشتر از ξ_s باشد Q_s^- تفسیر می شود، در حالیکه Q_s^+ برابر مقداری است که

$\sum_{s\in\Omega} p_{\acute{s}}\xi_{\acute{s}}$ کوچکتر از ξ_s است. فرمول بندی فوق به شکل زیر تغییر می کند و خطی می شود :

$$\sigma(\cdot) = \sum_{s\in\Omega} p_s\,\xi_s + \delta \sum_{s\in\Omega} p_s\,(Q_s^+ + Q_s^-)$$

$$\text{s.t: } \xi_s - \textstyle\sum_{s\in\Omega} p_{\acute{s}}\xi_{\acute{s}} = Q_s^+ - Q_s^- \qquad ,s \in \Omega$$

$$Q_s^+, Q_s^- \geq 0, \qquad s \in \Omega$$

برطبق تئوری برنامه ریزی خطی واضح است که همواره یکی از مقادیر Q_s^-وQ_s^+ برای$\delta \geq 0$ مقدار صفر می گیرد[۱۵]
توجه کنید که $|\xi_s - \sum_{s\in\Omega} p_{\acute{s}}\xi_{\acute{s}}| = Q_s^+ + Q_s^-$ است.
عبارت دوم تابع هدف فوق $\gamma\rho(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_s)$ است که برای غیر موجه بودن مدل بکار می رود و استواری مدل را نشان می دهد. نماد γ وزن قرار داده شده برای غیر موجه بودن است و تحلیل هزینه منفعت بین استوار مدل و راه حل را نشان می دهد.

در اینجا η_s غیر موجه بودن مدل را به دلیل پارامتر دچار عدم قطعیت تحت سناریو s به دلیل محدودیت ظرفیت نشان می دهد. بر طبق کلیه بحث های فوق تابع هدف نهایی به شکل زیر فرموله می شود[۱۰]

$$\min \sum_{s\in\Omega} p_s\,\xi_s + \delta \sum_{s\in\Omega} p_s\,(Q_s^+ + Q_s^-) + \gamma \sum_{s\in\Omega} p_s \eta_s$$

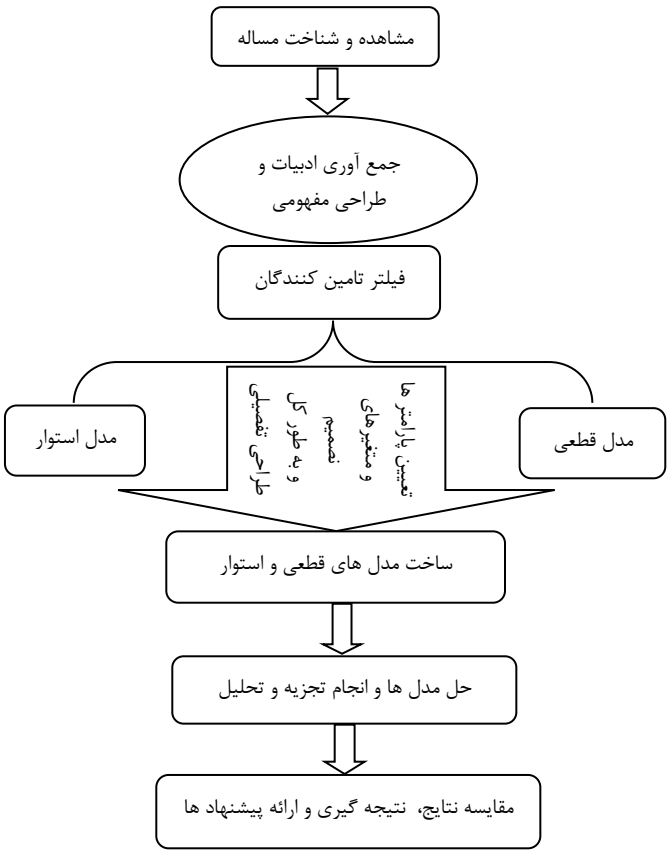
در دهه ی اخیر کارهای بسیاری در زمینه ی رویکرد استوار انجام شد، پنج کار اصلی که اخیرا صورت گرفته و در این پژوهش بیشترین تاثیر را داشته اند به همراه ویژگی های آن ها در جدول زیر خلاصه شده است :

جدول۲ .مدل های استوار زنجیره تامین

پدید آورندگان	سال انتشار مقاله	ویژگی های مدل
مدل فنگ پن وپاکش ناگی[۷]	۲۰۱۰	این افراد مدل استوار خود را برای طراحی زنجیره ی تامین تحت عدم قطعیت در تقاضا و در تولید چابک ارائه کردند و بهینه سازی یکپارچه ای از لجستیک و هزینه های تولید را با توجه به اعضای زنجبره تامین آورده اند
داگلاس خوزه الم و رینالدوموراربیتو[۶]	۲۰۱۱	محققان چهار مدل را ارائه می دهند: 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 هزینه ی تولید است. لازم به ذکر است که در این مدل ها از رویکرد بنتال و نمیروفسکی استفاده شده است.
مدل عادل آذر- مسعود ربیعه و دیگران[۱]	۱۳۸۹	در این تحقیق محققان مدل چند هدفه استوار-فازی را برای انتخاب کنندگان قطعات در شرکت ایران خودرو بررسی کردند. آنها در تحقیق خود بیان می کنند که برخی از پارامتر ها ی مدل به صورت متغیر تصادفی است که در بازه ی متقارن نوسان می کند.
لئونگ و همکاران[۱۲]	۲۰۰۷	در مقاله ی آنها یک مدل بهینه سازی استوار برای برنامه ریزی تولید در چند سایت تولیدی مختلف با عدم قطعیت در داده ها توسعه پیدا کرد.
گویترز و دیگران[۸]	۱۹۹۶	آنها یک مسئله ی طراحی زنجیره تامین را با رویکرد استوار در نظر می گیرند همچنین یک شکل یا هیئت توسط این رویکرد که به ازای سناریو های متفاوت خوب و نزدیک به بهینه بماند را پی گیری می کند.

۲. روش شناسی

رویه کلی در این پژوهش در چارچوب مدل سازی در شکل زیر ارائه می شود:



نمودار ۱. رویه کلی پژوهش

۳. مدل سازی

لازم به توضیح است که در این تحقیق دو دسته رابطه با تامین کنندگان در نظر گرفته شد : رابطه ی اول بر اساس سیستم پایه[1] است یعنی رابطه با تامین کنندگانی محدود برای مقدار ثابت و با هزینه ثابت قطعه برای هر دوره از این تامین کنندگان انتظار کمبود ظرفیتی عادی با توجه به این رابطه نمی رود. رابطه ی دوم براساس سیستم انتخابی[2] برای مواردی است که نیاز بیش از مقدار برنامه ریزی تولید در دوره خاص باشد که علاوه بر هزینه ی ثابت فوق باید هزینه مازادی به این تامین کنندگان تعلق گیرد[۱۱] ، بنابراین($A_k^r \le B_k^r$).

جدول۳. پارامتر ها ومتغیرهای مدل

اندیس ها	توضیحات
$G = (\tilde{E})$	شبکه ی زنجیره تامین
$\tilde{E}$	مجموعه ی گره ها در شبکه(شامل تامین کنندگان، سایت های تولیدی)
$p \in \tilde{E}$	مجموعه ی کارخانه ها(سایت های تولیدی)
$k \in \tilde{E}$	مجموعه تامین کنندگان
ψ	مجموعه ی محصولات
T	مجموعه ی دوره های زمانی
پارامترها	**توضیحات**
$g_{\mathrm{k}}^{\mathrm{r}}$	حداکثر مقداری که می شود قطعه r از تامین کننده k در یک دوره یک ماهانه از طریق قرارداد انتخابی خرید(نامحدود)
$C_{\mathrm{k}}^{\mathrm{r}}$	ظرفیت تامین کننده k برای قطعه r
p^{r}	هزینه یک واحد کمبود قطعه r
A_k^r	هزینه یک واحد خرید قطعه r از تامین کننده $k \in K$ که دارای قرارداد پایه است.
B_k^r	هزینه یک واحد خرید قطعه r از تامین کننده $k \in K$ که دارای قرارداد انتخابی است.
C_{kl}^s	هزینه حمل ونقل یک واحد ازتامین کننده $k \in K$ به کارخانه ی $l \in p$
H_l^r	هزینه نگهداری یک واحد قطعه r درکارخانه $l \in p$
I_{lo}^r	موجودی قطعه ی 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 تامین کننده $k \in K$
J^{r}	هزینه جریمه برای قطعه معیوب r
N_k^r	نرخ دیر کرد قطعه r برای تامین کننده $k \in K$
ζ^{r}	هزینه جریمه برای دیر کرد قطعه r
D_{tl}^{ψ}	مقدار تقاضا برای محصول ψ در دوره ی t درکارخانه $l \in p$
O_2^{r}	حداکثر نرخ دیرکرد پذیرفته شده

1-base
2-option

	برای قطعه r
O_1^{r}	حداکثر نرخ معیوب پذیرفته شده برای قطعه r

متغیر های تصمیم	توضیحات
$v_{\mathrm{lt}}^{\mathrm{r}}$	تقاضای ارضا نشده در t دوره ی درکارخانه $l \in p$ برای محصول r
y_{klt}^{Br}	مقدار تحویل داده شده قطعه ی r از تامین کننده $k \in K$ به کارخانه $l \in p$ در دوره ی t با قرارداد پایه
y_{klt}^{or}	مقدار تحویل داده شده قطعه ی r از تامین کننده $k \in K$ به کارخانه $l \in p$ در دوره ی t با قرارداد انتخابی
I_{lt}^{r}	مقدار موجودی قطعه r در کارخانه $l \in p$ در دوره ی t

۱- ۳. تشریح تابع هدف و محدودیت ها

مجموعه هزینه های خرید برای هر دو حالت قرارداد، هزینه ی قطعات معیوب، هزینه ی دیرکرد، هزینه ی حمل و نقل، هزینه ی کمبود و در نهایت هزینه ی نگه داری را حداقل می کند.

$$
\begin{aligned}
minimize \; + \sum_{k\in K}\Bigg[& \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} A_k^r y_{klt}^{Br} \\
& + B_k^r y_{klt}^{or} \\
& + Z_k^r J^{\mathrm{r}}\left(y_{klt}^{Br} + y_{klt}^{or}\right) \\
& + N_k^r \zeta^{\mathrm{r}}\left(y_{klt}^{Br} + y_{klt}^{or}\right) \\
& + C_{\mathrm{kl}} y_{klt}^{Br} + C_{\mathrm{kl}} y_{klt}^{or} \Bigg] \\
& + \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} p^{\mathrm{r}} v_{lt}^{r} + H_l^r I_{lt}^r
\end{aligned}
$$

این محدودیت اشاره می کند که تعداد واحد های خریداری شده از تامین کننده $k \in K$ در دوره ی t نباید بیش تر از ظرفیت قرارداد انتخابی تامین کننده باشد. مقدار ظرفیت انتخابی عدد بزرگ در نظر گرفته شده است.

$$\sum_{l\in p} y_{klt}^{or} \le g_{\mathrm{k}}^{\mathrm{tr}} \qquad ,1 \le t \le T \,, \forall r \,, \forall k$$

این محدودیت نیاز برای اینکه تعداد واحد های خریداری شده طبق رابطه‌ی پایه با یک تامین کننده و در زمان t از ظرفیت تامین کننده تجاوز نکند مشخص می‌کند.

$$\sum_{l\in p} y_{klt}^{Br} \le C_{\mathrm{k}}^{\mathrm{tr}} \qquad ,1 \le t \le T \,, \forall k$$

این محدودیت می‌گوید مقدار حمل شده از تامین کننده $k \in K$ به کارخانه $l \in p$ به علاوه‌ی تفاضل موجودی در آن دوره برابر تقاضا منهای مقدار کمبود دوره است :

$$
\begin{aligned}
\sum_{k\in K}\left(y_{klt}^{Br} + y_{klt}^{or}\right) & \\
= D_{\mathrm{tl}}^{\psi}\tau_{\mathrm{r}}^{\psi} - I_{lt-1}^{r} + I_{lt}^{r} & \\
- V_{lt}^{r} \qquad ,\forall r, \forall t, \forall l &
\end{aligned}
$$

این محدودیت بیان می کند برای هر ماده و برای هر سایت تولیدی باید حداقل سطح پوشش α برای مقدار پایه و یا β برای قرارداد انتخابی حفظ شود. با توجه به خصلت مدل استوار نیازی به محدودیت مازاد نیست. مقدار تا جایی که مدل غیر موجه نشود افزایش می یابد با توجه به اینکه میزان عدم کمبود مورد نظر شرکت تامین می شود.

$$y_{klt}^{Br} \ge \alpha * \left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{\psi=1}^{\psi} D_{\mathrm{tl}}^{\psi}\tau_{\mathrm{r}}^{\psi}\right) \qquad ,\forall r, \forall t, \forall k$$

$$\sum_{k\in K} y_{klt}^{or} \ge \beta * \left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{\psi=1}^{\psi} D_{\mathrm{tl}}^{\psi}\tau_{\mathrm{r}}^{\psi}\right) \qquad ,\forall r, \forall t$$

این دو محدودیت حجم قطعات دارای دیر کرد و معیوب را حداقل می کنند :

$$
\begin{aligned}
& \sum_{t\in T}\sum_{l\in p} Z_k^r\left(y_{klt}^{Br} + y_{klt}^{or}\right) \\
& \le O_1^{\mathrm{r}}\left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{\psi=1}^{\psi}\sum_{t\in T} D_{\mathrm{tl}}^{\psi}\tau_{\mathrm{r}}^{\psi}\right) \qquad ,\forall r, \forall k \\
& \sum_{t\in T}\sum_{l\in p} N_k^r\left(y_{klt}^{Br} + y_{klt}^{or}\right) \\
& \le O_2^{\mathrm{r}}\left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{\psi=1}^{\psi}\sum_{t\in T} D_{\mathrm{tl}}^{\psi}\tau_{\mathrm{r}}^{\psi}\right) \qquad ,\forall r, \forall k
\end{aligned}
$$

۲- ۳. استوارسازی مدل

با توجه به این که تقاضای سایت های تولیدی[1] در کوتاه مدت دارای نوسان است به عبارت دیگر همراه با عدم قطعیت است از فرمول بندی استوار مالوی سیم و وندربی برای استوار سازی مدل استفاده شده است، این مدل دارای سه قسمت هزینه ی مورد انتظار و استواری راه حل و استواری مدل برای غیرموجه شدن مدل است. همچنین نسبت به مدل قطعی به ازای هر سناریو یک

[1] www.sapco.com

محدودیت به آن برای حداقل کردن عدم استواری ناشی از سناریو ها اضافه شده است.

$$
\begin{aligned}
minimize \sum_{s=1}^{S} \mathrm{p_s} \Bigg\{ & \sum_{k\in K} \Bigg[\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} A_k^r y_{klt}^{Brs} \\
& + B_k^r y_{klt}^{ors} \\
& + Z_k^r J^{\mathrm{r}} \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) \\
& + N_k^r \zeta^{\mathrm{r}} \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) \\
& + C_{kl}^s y_{klt}^{Brs} + C_{kl}^s y_{klt}^{ors} \Bigg] \\
& + \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} H_l^r I_{lt}^{rs} + p^{\mathrm{r}} v_{lt}^{rs} \Bigg\} \\
& + \delta \sum_{s=1}^{S} \mathrm{p_s} (Q_s^+ + Q_s^-) \\
& + \gamma \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} P_s v_{lt}^{rs}
\end{aligned}
$$

subject to :

$$\sum_{l\in p}\sum_{t\in T} y_{klt}^{ors} \le g_{\mathrm{k}}^{\mathrm{r}} \qquad ,1 \le t \le T\ , \forall r\ , \forall k$$

$$\sum_{l\in p} y_{klt}^{Brs} \le C_{\mathrm{k}}^{\mathrm{tr}} \quad ,1 \le t \le T\ , \forall k$$

$$\sum_{k\in K} \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) = D_{\mathrm{tl}}^{\psi} \tau_{\mathrm{r}}^{\psi} - I_{lt-1}^{rs} + I_{lt}^{rs} - V_{lt}^{rs} \quad ,\forall r, \forall t, \forall l, \forall s$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{l\in p} Z_k^r \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) \le O_1^{\mathrm{r}} \left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{\psi=1}^{\psi}\sum_{t\in T} D_{\mathrm{tl}}^{\psi} \tau_{\mathrm{r}}^{\psi} \right) \qquad ,\forall r, \forall k, \forall s$$

$$\sum_{t\in T}\sum_{l\in p} N_k^r \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) \le O_2^{\mathrm{r}} \left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{\psi=1}^{\psi}\sum_{t\in T} D_{\mathrm{tl}}^{\psi} \tau_{\mathrm{r}}^{\psi} \right) \qquad ,\forall r, \forall k, \forall s$$

$$y_{klt}^{Br} \ge \alpha * \left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{\psi=1}^{\psi} D_{\mathrm{tl}}^{\psi} \tau_{\mathrm{r}}^{\psi} \right) \qquad ,\forall r, \forall t, \forall k$$

$$
\begin{aligned}
\sum_{k\in K} \Bigg[& \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} A_k^r y_{klt}^{Brs} + B_k^r y_{klt}^{ors} \\
& + Z_k^r J^{\mathrm{r}} \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) + N_k^r \zeta^{\mathrm{r}} \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) \\
& + C_{kl}^s y_{klt}^{Brs} + C_{kl}^s y_{klt}^{ors} \Bigg] + \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} H_{lt}^r I_{lt}^{rs} \\
- \sum_{s=1}^{S} \mathrm{p}_s \Bigg\{ & \sum_{k\in K} \Bigg[\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} A_k^r y_{klt}^{Brs} + B_k^r y_{klt}^{ors} \\
& + Z_k^r J^{\mathrm{r}} \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) + N_k^r \zeta^{\mathrm{r}} \left(y_{klt}^{Brs} + y_{klt}^{ors}\right) \\
& + C_{kl}^s y_{klt}^{Brs} + C_{kl}^s y_{klt}^{ors} + \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\sum_{l\in p} H_{lt}^r I_{lt}^{rs} \Bigg] \Bigg\} \\
= Q_s^+ - Q_s^- & \qquad \forall s
\end{aligned}
$$

۳-۳. تعریف سناریو ها

با توجه به تقاضای متفاوت در ماه های سال همواره سه اتفاق رکود وضعیت ، ثبات و رونق در تقاضای مشتریان در ماه های مختلف سالانه اتفاق می افتد. در سناریو ی اول میزان تقاضا کاهش یافته و با توجه به کاهش تقاضا هزینه ی حمل و نقل نیز کاهش می یابد. در این شرکت میزان هزینه ی حمل ونقل دارای نوسان است. نکته ای که باید از نظر گذراند این است که با احتمالی کردن تقاضای هر ماه به تفکیک، تعداد سناریو ها را می توان افزایش داد. بر خلاف رویکرد های احتمالی همانطور که در ادبیات تحقیق گفته شد نیاز به شناسایی توزیع احتمالی این عدم قطعیت در مدل های استوار نیستیم، البته هرچه پارامتر ها به توزیع یکنواخت نزدیک تر باشند جواب های بهتری حاصل می شود. این نکته یکی از نقاط قوت رویکرد استوار است با توجه به نکته با مشورت با متخصصان احتمال وقوع سناریو اول ۰.۱، سناریو دوم ۰.۶ و سناریو سوم ۰.۳ است.

۴. حل مدل و تجزیه و تحلیل هزینه ها

دو محصول پژو پارس و ۴۰۵ برای سایت های تولیدی ایران خودرو در دو شهر تهران و خراسان انتخاب شده اند و ۱۹ قطعه منتخب از مجموع قطعات این دو محصول با روش ABC صورت گرفته در تحقیقات قبلی در همین شرکت مشخص شده است. یعنی این قطعات درصد بالایی از ارزش قطعات خودرو را تشکیل می دهند. همچنین برای این قطعات ۶ تامین کننده شناسایی شده که با توجه به معیار های موجود(چهار معیار اصلی کیفیت، عملکرد محیطی، عملکرد تحویل و عملکرد قیمتی است) در روش تحلیل سلسله مراتبی فازی [۲و۳]تعداد آن ها به سه تامین کننده کاهش یافت، البته این تامین کنندگان حداقل نمره ممکنه ای را که برای فیلتر اولیه در نظر گرفته شد، کسب نکردند.

۴-۱. حل مدل قطعی

مدل قطعی تحت سناریو که شرایط رکود حاکم است تقاضا کاهش یافته است و هزینه ی حمل و نقل افزایش یافته است با افزایش درصد مصرف از ظرفیت مازاد مقدار کمبود به صفر رسیده است میزان استفاده از ظرفیت اسمی حداکثر ۲۶. و میزان استفاده از ظرفیت مازاد حداقل ۲۳. است که منجر به کمبود(تقاضای ارضا نشده) تقریبا صفر می شود. مدل برای سناریو دوم با توجه به افزایش تقاضا، ضریب مصرف از تامین کننده اسمی به ۲۵. کاهش یافته است و مصرف از ظرفیت مازاد به ۲۵. افزایش یافته است. مقدار تابع هدف تحت سناریو سوم که تقاضا بیشترین حد و مقدار هزینه ی حمل و نقل نیز افزایش برابر یافته است 0.1119269E+11 شده همچنین مقدار استفاده از ظرفیت اسمی ۲۴. و ضریب استفاده از ظرفیت مازاد یا انتخابی برای عدم کمبود ۰.۲۸. است.

همانطور که مشاهده می شود به دلیل هزینه ی اضافی استفاده از ظرفیت مازاد در مدل های قطعی که برای سناریو های متفاوت حل شد شرکت مجبور به پرداخت هزینه ی اضافی است در حالی که همچنان ظرفیت اسمی بلا استفاده در هریک از تامین کنندگان وجود خواهد داشت این هزینه‌ی اضافی برای عدم ایجاد کمبود پرداخت شده است.

جدول ۴ .نتیجه ی مدل قطعی

سناریو ها	ضریب استفاده از ظرفیت اسمی	ضریب استفاده از ظرفیت مازاد	میزان تابع هدف (هزینه ها)
رکود	۰.۲۶	۰.۲۳	0.9799469E+10
ثبات	۰.۲۵	۰۲۵.	0.1031559E+11
رونق	۰.۲۴	۰.۲۸	0.1119269E+11

۴-۲. حل مدل‌های استوار

مدل طراحی شده تحت دلتا و گاماهای متفاوت حل شد، نتایج در جدول و شکل های زیر خلاصه می شود. همانطور که مشاهده می کنید با افزایش ضریب استواری مدل (گاما) تقاضای ارضا نشده از طریق افزایش هزینه بیشتر در تابع هدف جبران شده و استواری مدل از لحاظ راه حل افزایش داشت به زبان ساده تغییر در تقاضای دارای عدم قطعیت پوشش داده می شود. نکته ی بسیار مهم مدل استوار توانایی این مدل در استفاده بیشتر از ظرفیت پایه است، یعنی در مواردی که بیش از ۰.۲۴ امکان استفاده از ظرفیت وجود داشت، صورت پذیرفت. علت ضریب بالای گاما مقیاس بزرگ داده هاست.

جدول۵ .حل مدل های استوار

دلتا	گاما	تعداد	تقاضای ارضا نشده	استوار راه حل	هزینه مورد انتظار
1	100000	1	10402	67494.251	8913216000
1	150000	2	9177	385879053	8907781000
1	200000	3	2627	835822410	9191173000
1	500000	4	1539	979575820	9214366000
1	1000000	5	0	1.635E+09	9344045000

۵. نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

همانطور که در ادبیات تحقیق نیز ذکر شد ممکن است که مدل های استوار دارای هزینه ی بیشتری نسبت به مدل های قطعی باشند که این مقدار افزایش در تابع هدف جبران کننده تغییرات در سناریو های متفاوت است که منجر به استواری جواب و استواری مدل می شود. اما با توجه به مدل سازی خاص و حذف محدودیت حداقل استفاده از ظرفیت مازاد یا انتخابی جواب حاصل از مدل استوار بهتر شده است (کلیه مدل ها در نرم افزار LINGO حل شدند).

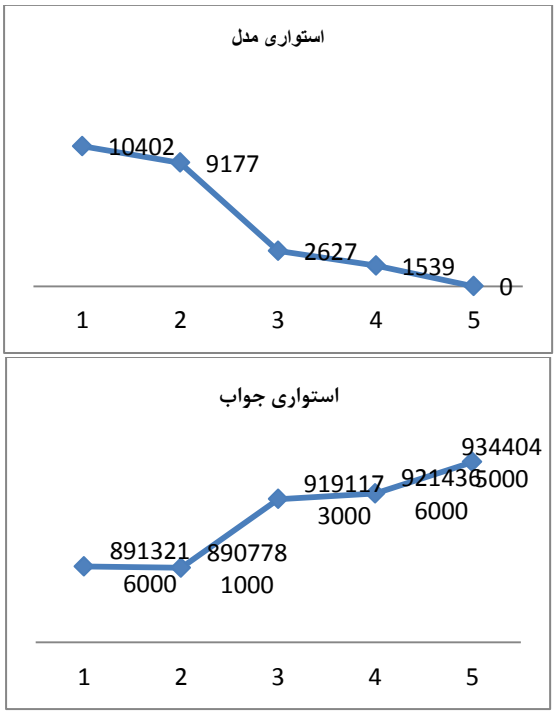
درجدول شماره ۶ این مقایسه صورت گرفته است.

جدول۶. مقایسه ی هزینه ای مدل های استوار و قطعی

نوع مدل	حالت	مقدار تابع هدف(امید هزینه ها)
قطعی	رکود	9799469000
قطعی	ثبات	10315590000
قطعی	رونق	11192690000
استوار	$\delta = 10$ و$\gamma = 1000000$	0.9500720E+10
استوار	$\delta = 1$و$\gamma = 500000$	9214366000

۵-۱. موازنه ی استواری جواب و استواری مدل

برای دلتا برابر یک و گاما برابر مقادیر اشاره شده در جدول ۵ نمودار های زیر نمایش داده شده است .به این معنا که با افزایش گاما که در واقع ضریب موازنه بین استواری مدل و استواری راه حل است مقادیر تقاضای ارضا نشده (غیرموجه شدن) و استواری جواب مطابق انتظار تغییر می کند.



نمودار ۲ .استواری مدل و جواب

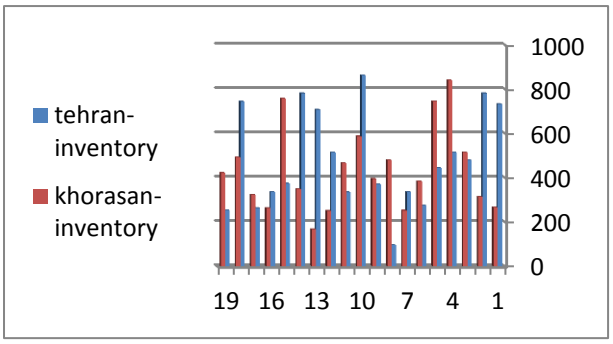
در صورتی که هر کدام از تابع جریمه استواری مدل یا استواری جواب برای تصمیم گیرنده دارای اهمیت متفاوتی باشد می توان از ضرایب مختلفی استفاده کرد.

جدول ۷ .حل مدل تحت نگرشهای متفاوت

هزینه مورد انتظار	استوار راه حل	استواری مدل	گاما	دلتا
0.7630898E+10	1.083E+09	158496.0	0	0
0.9202129E+10	29.703591	5134	200000	5
0.9500720E+10	57.195283	1539	1000000	10

مقدار صفر برای این دو ضریب در واقع استفاده از ۰.۲۴ ظرفیت اسمی است بنابراین تقاضای ارضا نشده و استواری جواب دارای مقدار بالایی هستند و هزینه ی مورد انتظار دارای پایین ترین مقدار می باشد. از طرف دیگر از توان بالای این مدل نسبت به مدل قطعی که مجبور به اضافه کردن محدودیت پوشش ظرفیت مازاد شدیم نباید چشم پوششی کرد.

میزان موجودی تحت مدل قطعی در دو سایت منتخب برای ۱۹ قطعه در شکل زیر آمده است با توجه به ناچیز بودن موجودی تحت مدل استوار از نمایش آن اجتناب کردیم بنابراین مدل استوار در این مورد خاص منجر به کاهش موجودی نیز شد.



نمودار ۳-موجودی تحت مدل قطعی

در این تحقیق با توجه به ماهیت داده های تحقیق از رویکرد سناریو ای در مدل های استوار انتخاب تامین کننده استفاده شد می توان با توجه به رویکرد بازه ای به حل چنین مسائلی پرداخت. در زمینه ی تعیین وزن های استواری مدل و استواری راه حل با توجه به تکنیک های تصمیم گیری و استفاده از نظرات تصمیم گیرنده مدل های جدیدی را توسعه داد. همچنین برای حل مدل از تکنیک های هوش مصنوعی استفاده شده و نتایج آن با رویکرد استوار مقایسه شود و یا از برنامه ریزی احتمالی که فاقد جریمه های برای استواری جواب و مدل است برای حل استفاده کرده و نتایج آن با هم مقایسه و کارایی روش ها هر چه بیشتر سنجیده شود.

مراجع

[۱] آذر ،عادل، ربیعه، مسعود، مدرس یزدی، محمد، فطانت فرد حقیقی، محمد ،مدل ریاضی منبع یابی چند هدفه استوار-فازی رویکرد ی در مدیریت ریسک زنجیره ایران خودرو، پژو هش های مدیریت در ایران، ۱۳۸۹.

[۲] آذر، عادل، رجب زاده، علی، تصمیم گیری کاربردی با رویکرد MADM، تهران، نگاه دانش،۱۳۸۷.

[۳] اکبری، مهدی، مهرگان، محمدرضا، استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی به منظور انتخاب سبد پروژه سازمانی، پنجمین کنفرانس بین المللی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران.

[۴] میرغفوری، سیدحبیب الله، طراحی مدل زنجیره عرضه صنایع لاستیک سازی ایران(مورد مطالعه :لاستیک سازی یزد)،پایان نامه دکتری،دانشگاه تربیت مدرس.

[5] Dimitris Bertsimas, Melvyn Sim , 2004, The Price of Robustness , Operation

Research, Vol. 52, No. 1, January–February, pp. 35–53.

[6] DouglasJose´ Alem a, Reinaldo Morabito, Production planning in furniture settings via robus toptimization, Computers & Operations Research.

[7] Feng Pan,Rakesh Nagi, 2010, Robust supply chain design underun certain demand in agile manufacturing, Computers & Operations Research 37, 668—683.

[8] Gutierrez G, Kouvelis P, Kurawala A. 1996, A robustness approach to uncapacitated network design problems European Journal of Operational Research; 94: 362–76.

[9] Hendrik Van Landeghema Hendrik Vanmaele, 2002 Robust planning: a new paradigm for demand chain planning, Journal of Operations Management 20 769–783.

[10] MulveyJ, VanderbeiR, ZeniosS. 1995, Robust optimization of large-scale systems.Operations Research; 43:264–81.

[11] Ningxiong Xu, LindaNozick, 2009, Modeling supplier selection and the use of option contracts for global supply chain design, Computers & Operations Research 36 2786 – 2800.

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

[13] Tang, C. S. 2006, Perspectives in supply chain risk management, International journal of production economics, 103, 451–488.

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

[15] Wagner H. Principles of Operations Research. 1975 New Jersey: Prentice-Hall.

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