انتخاب سیاست بهینه در انتخاب تأمین‌کننده با جریمه کاهش کیفیت تاگوچی

داود سماوات [1*]، حسن حاله [2]

دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۰۸

چکیده

در این مقاله رویکرد تعیین سیاست بهینه بازرسی در انتخاب تأمین‌کننده بر پایه معیارهای کیفی ارائه شده که استفاده از بازرسی‌ها، خارج کردن مواد معیوب از سیستم و در نظر گرفتن جریمه کیفی برای مواد کم کیفیت در مدل‌سازی مد نظر قرار گرفته است. در این مدل هزینه‌های سیستم به سه دسته عمده تقسیم شده است. ۱- هزینه خرید و انتخاب تأمین‌کننده، ۲- هزینه بازرسی و ۳- هزینه‌های کیفی و محصولات معیوب. هدف از مدل‌سازی کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های سیستم است. در انتها نیز دو مثال عددی برای مدل ارائه شده، مطرح می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: انتخاب تأمین‌کننده، کنترل کیفیت، بازرسی، تابع جریمه کاهش کیفیت تاگوچی.

۱- مقدمه

در بسیاری از صنایع، هزینه‌های مواد اولیه اصلی‌ترین بخش از هزینه تمام شده محصول نهایی هستند و در بعضی از موارد این مقدار به ۷۰ درصد از قیمت تمام شده محصول می‌رسد. بنابراین در هر شرکتی دپارتمان خرید نقش اساسی در سودآوری و بهره‌وری هر شرکت دارد[۱]. انتخاب بهترین تأمین‌کننده از بین گزینه‌های مختلف با معیارهای کیفی مختلف، اصلی‌ترین وظیفه دپارتمان خرید یک شرکت است. در مسئله انتخاب تأمین‌کننده فاکتورهای مختلفی از جمله قیمت، کیفیت، خدمات پس از فروش و غیره تأثیرگذار هستند. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه انتخاب تأمین‌کننده در زنجیره تأمین صورت گرفته است، اما در این زمینه، یکی از مهم‌ترین فاکتورها بحث کیفیت محصول است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است. هر تأمین‌کننده دارای فرآیند تولید مخصوص به خود است بنابراین کیفیت محصولات هر تأمین‌کننده با بقیه متفاوت خواهد بود. چه‌بسا تأمین‌کننده‌ای قیمت محصول خود را پایین‌تر از سایر رقبا اعلام کند اما از نظر کیفی محصول خوبی در اختیار مشتریان خود قرار ندهد و برعکس. در واقع در اینجا به نوعی با موازنه قیمت-کیفیت مواجه هستیم و هدف نهایی از مدل‌سازی، کمینه کردن هزینه‌های کلی سیستم شامل انتخاب تأمین‌کننده و کنترل کیفیت است. به‌طور کلی در تاریخچه مبحث انتخاب تأمین‌کننده از دو رویکرد عمده استفاده شده است که یکی از آنها آنالیز تصمیم با استفاده از MCDM [3] و دیگری استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی است که در ادامه به بررسی مقالات موجود در این زمینه با هر دو رویکرد پرداخته می‌شود. در سال ۱۹۷۳ مور [4] و فیرون [5] با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی و انتخاب سه عامل قیمت، مدت زمان تحویل و کیفیت محصول به‌عنوان معیارهای انتخاب تأمین‌کننده مسئله انتخاب تأمین‌کننده را مدل‌سازی کردند[۲]. آنتونی [6] و بوفا [7] در سال ۱۹۷۷ مدلی برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند که محدودیت‌های بودجه و ظرفیت و هم‌چنین هزینه‌های نگهداری نیز در این مدل مد نظر قرار داده شده است[۳].

در مدل ارائه شده بوفا و جکسون [8] در سال ۱۹۸۳، استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی با دو فاکتور تصمیم‌گیری شامل ویژگی‌های تأمین‌کنندگان و ویژگی‌های خریداران مد نظر قرار

۱*- کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، نویسنده پاسخگو، پست‌الکترونیکی: davoodsamavat@yahoo.com، نشانی: قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک.

۲- استادیار دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، پست‌الکترونیکی: hhaleh@qiau.ac.ir

3- Multiple Criteria Decision Making
4- Moore
5- Fearon
6- Anthony
7- Buffa
8- Jackson

گرفت[۴]. در یک مثال واقعی برای شرکت IBM در سال ۱۹۸۵ بندر[1] و همکارانش مسئله انتخاب تأمین‌کننده را با در نظر گرفتن عواملی چون قیمت، محدودیت ظرفیت و تخفیف مدل‌سازی کردند[۵]. مسئله نوسان قیمت مواد خام در طول دوره برنامه‌ریزی توسط کینگزمان[2] مطرح شد و استفاده هم‌زمان از برنامه‌ریزی ریاضی و برنامه‌ریزی پویا برای انتخاب تأمین‌کننده و زمان خرید مواد خام مورد بررسی قرار گرفت[۶]. در مدلی که پان[3] در سال ۱۹۸۹ ارائه کرد، مسئله بالا بردن قابلیت اطمینان سیستم برای تأمین مواد اولیه حیاتی با در نظر گرفتن سه معیار قیمت، کیفیت و سطح سرویس مد نظر قرار گرفت و استفاده از چند تأمین‌کننده برای خرید مواد خام حیاتی مورد بررسی قرار گرفت[۷]. هم‌چنین در همین سال شرما[4] و همکارانش یک مدل غیرخطی با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی توسعه دادند که در این مدل هزینه‌ها تابعی افزایشی نسبت به کیفیت و کاهشی نسبت به مقدار سفارش کالا است[۸]. بنتون[5] در سال ۱۹۹۱ یک مدل ریاضی غیرخطی برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده در سیستم لجستیکی چند محصولی با محدودیت بودجه و وجود تخفیف توسعه داد و با استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ مدل خود را حل کرد[۹]. هونگ[6] و هایا[7] در سال ۱۹۹۲ سیاست خرید به هنگام را مدل‌سازی کردند که هدف این مدل کمینه‌سازی هزینه‌های خرید با دو فرض زیر است: ۱- هزینه بار N تأمین‌کننده کمتر یا مساوی با هزینه N سفارش‌دهی از سفارش‌دهی از یک تأمین‌کننده است. ۲- مجموع هزینه خرید از یک مقدار خاص تجاوز نکند. البته فرضیات فوق سبب پایین آمدن کارآیی مدل شده است[۱۰]. چادری[8] و همکارانش یک مدل برنامه‌ریزی ترکیبی خطی با در نظر گرفتن تخفیف‌های کلی و مقداری برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند[۱۱]. کارنت[9] و وبر[10] در سال ۱۹۹۳، یک مدل چندهدفه برای موازنه بین فاکتورهای مختلف انتخاب تأمین‌کننده توسعه دادند که در آن مدل دو سری محدودیت وجود دارد؛ ۱- محدودیت‌های سیستمی شامل محدودیت تقاضا و ظرفیت که در کنترل تصمیم‌گیران نیست ۲- محدودیت انتخاب حداقل و حداکثر تعداد تأمین‌کنندگان مجاز و حداقل تعداد محصول خریداری شده از هر تأمین‌کننده که در کنترل تصمیم‌گیران است[۱۲]. روزنتال[11] و همکارانش مدلی چند محصولی برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه دادند که در آن هر تأمین‌کننده فقط زیرمجموعه خاصی از مواد خام را می‌تواند تأمین کند هم‌چنین ظرفیت تأمین نیز در این مدل محدود در نظر گرفته شده است[۱۳]. قدسی‌پور و ابرایان[12] در سال ۱۹۹۷یک سیستم برای کاهش تعداد تأمین‌کنندگان (DSS) پشتیبان تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی AHP مطرح کردند و از الگوریتم سلسله مراتبی خطی برای حل مدل خود استفاده کردند. سپس در سال ۱۹۹۸ یک مدل یکپارچه با در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی برای انتخاب تأمین‌کننده ارائه دادند و الگوریتمی نیز برای تحلیل حساسیت سناریوهای مختلف مدل پیشنهاد دادند[۱۴]. چائوهان[13] و پروث[14] در سال ۲۰۰۳ روشی ابتکاری برای حل مسئله توسعه دادند و در مدل خود برای هر تأمین‌کننده حد بالا و پایین خرید مواد خام تعریف کردند[۱۵]. در سال ۲۰۰۴ نیز کومار[15] و همکارانش رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی چندهدفه با داده‌های فازی را برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده ارائه کردند و در آن مدل سه تابع هدف تعریف کردند؛ ۱- کمینه کردن هزینه ۲- کمینه کردن مواد رجوعی ۳-کمینه کردن مدت زمان تأخیر[۱۶]. لیو[16] و های[17] در سال ۲۰۰۵ با استفاده از ماتریس مقایسات زوجی و روش AHP مدلی برای مرتب‌سازی تأمین‌کنندگان ارائه دادند[۱۷]. فرزین‌پور در سال ۲۰۰۶ استفاده هم‌زمان از داده‌های وصفی کلامی و عددی را برای انتخاب تأمین‌کننده در مدل‌سازی خود مطرح کرد[۱۸]. چان[18] و همکارانش در سال ۲۰۰۸ از روش AHP فازی برای ترکیب معیارهای کیفی و کمی در انتخاب تأمین‌کننده استفاده نمودند[۱۹]. در مدلی که آلون[19] و فدراگون[20] در سال ۲۰۰۹ ارائه کردند تأمین‌کنندگان می‌توانند جهت کسب سود اشتراکی فعالیت‌ها و خدمات خود را با یکدیگر به اشتراک بگذارند[۲۰]. آواشتی[21] و همکارانش در سال ۲۰۱۰ روشی برای مدل‌سازی و حل مسئله انتخاب

1- Bender
2- Kinsman
3- Pan
4- Sherma
5- Benton
6- Hong
7- Hayya
8- Chaudhery
9- Current
10- Weber

11- Rosental
12- Obrien
13- Chauhan
14- Proth
15- Kumar
16- Liu
17- Hai
18- Chan
19- Allon
20- Federgruen
21- Awasthi

تأمین‌کننده ارائه کرد که شامل سه مرحله است. ۱- تعریف معیارهای انتخاب و وزن‌دهی به آنها ۲- استفاده از TOPSIS فازی و داده‌های کلامی برای رتبه‌بندی تأمین‌کنندگان ۳- تحلیل حساسیت مدل با تغییر وزن معیارها[۲۱]. شمشادی و همکارانش در سال ۲۰۱۱ با استفاده از روش Vikor مدل تصمیم‌گیری چندهدفه فازی برای انتخاب تأمین‌کننده را حل کرد[۲۲]. ژانگ[1] در سال ۲۰۱۱ با وارد کردن بحث کمبودها در مدل‌سازی دو مبحث کنترل موجودی و انتخاب تأمین‌کننده را ادغام کرد[۲۳].

در مرور ادبیات مسئله انتخاب تأمین‌کننده مشخص می‌شود که اکثر مدل‌ها برای کمینه کردن هزینه‌هایی هم‌چون هزینه خرید، هزینه سفارش، هزینه نگهداری کالا و غیره توسعه داده و محدودیت‌هایی از قبیل بودجه و مدت زمان تحویل نیز در برخی مدل‌سازی‌ها مطرح شده است، اما مسئله مهمی که در دنیای واقع در انتخاب تأمین‌کننده نقش مهمی دارد، بحث کیفیت محصول است که کمتر مورد توجه قرار گرفته است و فقط در برخی از مدل‌های تصمیم‌گیری چندهدفه و با استفاده از داده‌های وصفی بحث کیفیت مطرح شده است. در این مقاله، سعی شده کیفیت را به یک رویکرد متفاوت در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان وارد کرده و هزینه‌های ناشی از بررسی مشخصه‌های کیفی و کاهش کیفیت را هم‌چون سایر هزینه‌ها (هزینه خرید، هزینه سفارش و ...) در انتخاب تأمین‌کنندگان مد نظر قرار دهد، که شامل هزینه بازرسی محصولات، هزینه جریمه کیفی برای مواد کم کیفیت و هزینه دفع ضایعات تولیدی می‌شود، این رویکرد تاکنون در تحقیقات گذشته در مسئله انتخاب تأمین‌کنندگان مورد توجه قرار نگرفته است.

۲- مدل‌سازی

مهم‌ترین ویژگی مدل کنونی که در مقالات قبلی کمتر مورد توجه قرار گرفته، بحث بازرسی و کیفیت محصول در انتخاب تأمین‌کننده است. در این مدل هزینه‌های کیفی به‌عنوان یک شاخص تأثیرگذار در تصمیم‌گیری گنجانده شده است. در ادامه نحوه مدل‌سازی مسئله توضیح داده می‌شود. مدل ارائه شده یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده تک محصولی با بازرسی و محدودیت ظرفیت است که در آن چند تأمین‌کننده بالقوه با ظرفیت محدود وجود دارد و هدف از مدل‌سازی انتخاب ترکیبی از بهترین تأمین‌کنندگان برای برآورد تقاضای تولید در طول افق برنامه‌ریزی است، به‌نحوی که مجموع هزینه‌های سیستم کمینه شود.

در این سیستم برای محصولات خریداری شده از هر تأمین‌کننده یک مشخصه کیفی (فرضاً طول یا وزن محصول) تعریف شده است. مشخصه کیفی محصول تولید شده توسط هر تأمین‌کننده دارای توزیع نرمال با میانگین و واریانس مخصوص به خود می‌باشد، هم‌چنین برای مشخصه کیفی محصول حد پایین و بالای قابل قبول (LSL , USL) و مقدار مطلوب (θ) تعریف شده و بر اساس میزان انحرافی که مشخصه کیفی محصولات از مقدار مطلوب دارند هزینه‌ای بر سیستم تحمیل می‌شود که این هزینه می‌تواند شامل هزینه‌های برگشت محصولات، بی‌اعتباری و غیره باشد. فرض بر این است که اگر محصولی خراب باشد سرانجام در طول افق برنامه‌ریزی شناسایی خواهد شد به این معنی که اگر محصول در ابتدا مورد بازرسی قرار گیرد و مشخصه کیفی مورد بررسی در محدوده قابل قبول (LSL , USL) قرار گیرد، وارد سیستم تولید خواهد شد، در غیر این‌صورت همان‌جا از سیستم خارج شده که در این مورد فقط هزینه بازرسی بر سیستم تحمیل می‌شود، اما اگر محصول خراب مورد بازرسی قرار نگیرد در ادامه و در طول فرآیند تولید شناسایی شده و از سیستم دفع می‌شود که در این مورد هزینه دفع ضایعات تولیدی بر سیستم تحمیل می‌شود. هم‌چنین محصولاتی که بین حدود قابل قبول کیفی قرار می‌گیرند بر اساس میزان انحرافی که از مقدار مطلوب مشخصه کیفی (θ) دارند هزینه‌ای تحت عنوان هزینه جریمه کاهش کیفیت بر سیستم تحمیل می‌کنند، میزان جریمه کیفی برای هر محصول تابعی از مقدار انحراف از مقدار مطلوب مشخصه کیفی است و برای آن توابع مختلفی تعریف می‌شود که یکی از مهم‌ترین توابع جریمه کیفیت به نام تاگوچی معروف است که بعداً در مورد آن بحث خواهد شد. هدف از مدل‌سازی یافتن رویه‌ای برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان است به‌نحوی که هزینه‌های کلی سیستم کمینه و اهداف کیفی مورد نظر نیز تا حد امکان ارضا شود. در ادامه فرضیات و پارامترهای مدل معرفی می‌شود.

۲-۱- فرضیات

- فرآیند تولید هر تأمین‌کننده دارای میانگین و واریانس مخصوص به خود است.
- تأمین‌کنندگان دارای ظرفیت محدود هستند.

۲-۲- پارامترها

قبل از تشریح، مدل پارامترها معرفی می‌شود:

D تقاضا برای محصول در هر دوره

1- Zhang

متغیر تصادفی مشخصه کیفی تأمین‌کننده i ام	x_i
تعداد تأمین‌کنندگان	N
هزینه ثابت سفارش‌دهی از تأمین‌کننده i ام	A_i
قیمت محصول تأمین‌کننده i ام	P_i
هزینه بازرسی هر واحد محصول	I
هزینه هر واحد محصول معیوب	C_r
ظرفیت تأمین‌کننده i ام	C_i
میانگین فرآیند تولید تأمین‌کننده i ام	μ_i
واریانس فرآیند تولید تأمین‌کننده i ام	σ_i^2
درصد محصولات خراب تأمین‌کننده i ام	λ_i
حد پایین قابل قبول مشخصه کیفی محصول	LSL
حد بالای قابل قبول مشخصه کیفی محصول	USL
مقدار هدف مشخصه کیفی محصول	θ
تابع جریمه کیفی تاگوچی	L(xi)
ضریب جریمه کیفی تاگوچی	k

متغیرهای تصمیم مسئله نیز عبارت‌اند از:

مقدار محصول خریداری شده از تأمین‌کننده i ام	Di
درصد محصول تأمین‌کننده i ام که بازرسی می‌شود	fi
۱ است اگر با تأمین‌کننده iام قرار داد بسته شود	Yi

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان هزینه‌ها را به سه دسته عمده تقسیم کرد: ۱-هزینه‌های خرید و انتخاب تأمین‌کننده ۲- هزینه بازرسی ۳- هزینه‌های کیفی و محصولات معیوب. که در ادامه به تشریح آنها پرداخته خواهد شد.

۲-۳- هزینه خرید

اگر λi درصد محصولات خراب i ام و Di مقدار تقاضای تأمین‌شده توسط تأمین‌کننده i باشد آنگاه مجموع محصول خریداری شده (Total Purchased Item) با در نظر گرفتن مقدار ضایعات برابر است با:

$$TPI= \sum_{i\in n} \frac{D_i}{1-\lambda_i} \qquad (۱)$$

با در نظر گرفتن قیمت خرید (Pi) برای محاسبه مجموع هزینه (Annual Purchasing Cost) داریم:

$$APC= \sum_{i\in n} \frac{D_i.P_i}{1-\lambda_i} \qquad (۲)$$

۲-۴- هزینه بستن قرارداد

اگر Ai هزینه ثابت سفارش‌دهی از تأمین‌کننده iام باشد هزینه سفارش‌دهی سیستم (Annual Ordering Cost) برابر است با:

$$AOC=\sum_{i\in n} A_i \,.\, Y_i \qquad (۳)$$

۲-۵- هزینه بازرسی

اگر I هزینه بازرسی هر واحد محصول و f_i درصد محصول بازرسی شده از تأمین‌کنندهi ام باشد آنگاه مجموع هزینه بازرسی سیستم (Annual Inspection Cost)برابر است با:

$$AIC= \sum_{i\in n} \frac{D_i}{1-\lambda_i} \,.\, I.\, f_i \qquad (۴)$$

۲-۶- هزینه جریمه کاهش کیفیت

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی نیز اشاره شد در این سیستم اگر محصول خریداری شده مورد بازرسی قرار گیرد و مشخصه کیفی مورد بررسی در محدوده قابل قبول بین LSL و USL قرار گیرد وارد سیستم کنترل موجودی شده، در غیر این‌صورت از سیستم دفع می‌شود. هم‌چنین برای محصولاتی که بین حدود قابل قبول کیفی قرار می‌گیرند بر اساس میزان انحرافی که از مقدار مطلوب مشخصه کیفی (θ) دارند هزینه‌ای تحت عنوان هزینه جریمه کاهش کیفیت[1] بر سیستم تحمیل می‌کنند، میزان جریمه کیفی برای هر محصول تابعی از مقدار انحراف از مقدار مطلوب مشخصه کیفی است و برای آن توابع مختلفی تعریف می‌شود که یکی از مهم‌ترین توابع جریمه کیفیت به نام تاگوچی[2] [۲۴] معروف است که عبارت است از:

$$L(x_i) = k(x_i - \theta)^2 \qquad (۵)$$

در این تابع $L(x_i)$ تابع جریمه کیفی، x_i مشخصه کیفی مورد بررسی، θ مقدار مطلوب مشخصه کیفی و k ضریب جریمه برای واحد محصول است. ضریب جریمه(k) باید به‌گونه‌ای تعیین شود که برای محصولی که مشخصه کیفی آن برابر با مقدار مطلوب است جریمه صفر و برای محصولی که مشخصه کیفی آن روی حدود بالا یا پایین قابل قبول قرار دارد جریمه C_r در نظر گرفته شود.

$$k= \frac{C_r}{(USL-\theta)^2} \qquad (۶)$$

از آنجا که مشخصه کیفی فرآیند تولید برای هر تأمین‌کننده احتمالی در نظر گرفته شده است لذا برای محاسبه مقدار جریمه کاهش کیفیت از ارزش انتظاری تابع تاگوچی استفاده می‌شود.

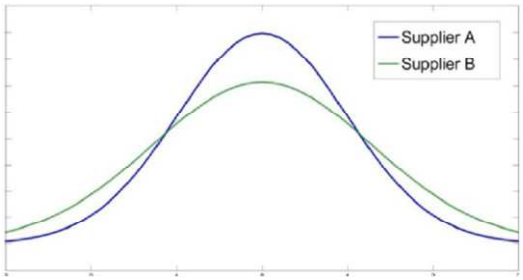
1- Quality Loss Function
2- Taguchi

$$E[L(x_i)] = E[k(x_i-\theta)^2]$$
$$= k.E\,[x_i^2 + \theta^2 - 2\theta x_i]$$
$$= k.\,[\sigma_i^2 + \mu_i^2 + \theta^2 - 2\theta\mu_i]$$
$$= k.\,[(\mu_i-\theta)^2 + \sigma_i^2] \quad (۷)$$

مجموع هزینه جریمه کیفی تاگوچی (Annual Taguchi Loss Function Cost) عبارتست از:

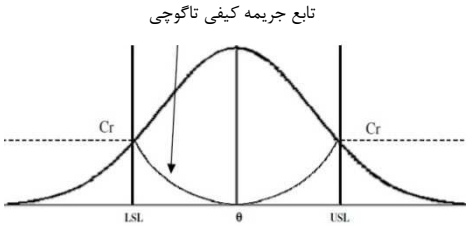
$$ATLFC = \sum_{i\in n} E[L(x_i)].D_i$$
$$= \sum_{i\in n} k.\left[(\mu_i-\theta)^2 + \sigma_i^2\right].D_i \quad (۸)$$

نمای شماتیک مشخصه کیفی دو تأمین‌کننده فرضی با میانگین یکسان و واریانس متفاوت به‌صورت شکل (۱) خواهد بود که در آن منحنی A مشخصات کیفی فرآیند تولیدکننده A ام که دارای توزیع نرمال با میانگین μ_A و واریانس σ_B^2، منحنی B مشخصات کیفی فرآیند تولیدکننده B ام که دارای توزیع نرمال با میانگین μ_B واریانس σ_B^2.



شکل(۱): نمودار مشخصه کیفی دو تأمین‌کننده فرضی A وB

تابع جریمه کیفی تاگوچی و حدود کنترلی نیز در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل(۲): تابع جریمه کیفی تاگوچی و حدود کنترلی

۲-۷- هزینه خرابی‌ها

اگر fi درصد محصول بازرسی شده برای هر تأمین‌کننده باشد، کل محصول بازرسی شده از هر تأمین‌کننده D_i $\frac{D_i}{1-\lambda_i}$. f_i و مقدار محصول خراب شناسایی شده در بازرسی‌ها λ_i . $I.f_i.\frac{D_i}{1-\lambda_i}$ خواهد بود، هم‌چنین کل محصول خراب بازرسی نشده که سبب تحمیل هزینه دفع ضایعات می‌شوند برابر با (1-f_i) (. λ_i . $\sum_{i\in n}\frac{D_i}{1-\lambda_i}$ است.

ارزش انتظاری هزینه خرابی‌ها در سیستم (Annual Defective Cost) برای مجموع تأمین‌کنندگان عبارتست از:

$$ADC = \sum_{i\in n}\frac{D_i}{1-\lambda_i}.\lambda_i.(1-f_i)Cr \quad (۹)$$

هم‌چنین برای محاسبه درصد خرابی (λ_i) داریم:

اگر فرآیند تولید تأمین‌کننده i ام را نرمال با میانگین μ_i و واریانس σ_i^2 فرض کنید، آنگاه با توجه به شکل ۲، درصد محصولات خارج از حدود کنترل (λ_i) برای تأمین‌کننده i ام عبارت است از:

$$\lambda_i = 1 - P(LSL < x_i < USL)$$
$$= 1 - P\left(\frac{LSL-\mu_i}{\sigma_i} < \frac{x_i-\mu_i}{\sigma_i} < \frac{USL-\mu_i}{\sigma_i}\right)$$
$$= 1 - P\left(\frac{LSL-\mu_i}{\sigma_i} < Z_i < \frac{USL-\mu_i}{\sigma_i}\right) \quad (۱۰)$$

کل هزینه‌های سیستم (Total Cost) در طول افق برنامه‌ریزی برابر است با:

$$TC = AOC + APC + ATLFC + AIC + AD \quad (۱۱)$$

مدل نهایی مسئله به‌صورت زیر خواهد بود:

$$TC = \sum_{i\in n} A_i.Y_i + \sum_{i\in n}\frac{D_i.P_i}{1-\lambda_i} + \sum_{i\in n}\frac{D_i}{1-\lambda_i}.\lambda_i.(1-f_i).C_r$$
$$+ \sum_{i\in n} k.\left[(\mu_i-\theta)^2 + \sigma_i^2\right].D_i + \sum_{i\in n}\frac{D_i}{1-\lambda_i}.I.f_i \quad (۱۲)$$

$$\sum_{i\in n}^{s.t:} D_i = D \quad (۱۳)$$
$$\frac{D_i}{1-\lambda_i} \le C_i \qquad \forall\, i \in n \quad (۱۴)$$
$$\frac{D_i}{D} \le Y_i \qquad \forall\, i \in n \quad (۱۵)$$
$$D_i \ge 0 \quad , \quad Y_i = 0,1 \quad , \quad 0 \le f_i \le 1 \quad (۱۶)$$

محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که کل تقاضای مشتریان در طول افق برنامه‌ریزی تأمین شود، محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که کالای خریداری شده از هر تأمین‌کننده از ظرفیت آن تأمین‌کننده تجاوز نکند، محدودیت (۱۵) بیان می‌کند که فقط در صورتی می‌توان از یک تأمین‌کننده کالا سفارش داد که با آن تأمین‌کننده قرارداد بسته شده باشد. محدودیت (۱۶) نیز نوع متغیرهای تصمیم مسئله را نشان می‌دهد.

۳- رویکرد حل

مدل نهایی مسئله یک مدل غیرخطی ترکیبی است که برای حل آن می‌توان با استفاده روش‌های خطی‌سازی مانند برنامه‌ریزی کسری، تجزیه بندر و غیره مسئله را خطی کرده و سپس آن را حل نمود. در این مسئله از نرم‌افزار GAMS استفاده شده است که قابلیت حل مدل‌های غیرخطی ترکیبی (MINLP) را دارد. یکی از ویژگی‌های نرم‌افزار GAMS این است که تضمینی وجود ندارد که جواب نهایی خروجی بهینه کلی باشد. راهکاری که می‌توان برای حل این مشکل به کار برد، اثبات محدب بودن فضای حل مدل است[۲۶].

در این بخش لازم است دو مورد از خواص توابع محدب بیان شود:

۱- مجموع چند تابع محدب، تابعی محدب است.

۲- توابع خطی محدب هستند.

تابع هدف ارائه شده در این مسئله حاصل جمع پنج عبارت هزینه‌ای است، که تمام این عبارت‌های هزینه‌ای نسبت به متغیرهای تصمیم مسئله (به غیر از هزینه‌های خرابی و بازرسی که غیرخطی است)، خطی و محدب می‌باشد. پیش از این در پژوهشی اثبات شده است که مقدار بهینه f_i برای دو تابع هزینه خرابی و بازرسی در بازه [۰,۱]، فقط در نقاط مرزی بازه یعنی ۰ و ۱ می‌تواند اتفاق بیفتد[۲۵]. لذا با در نظر گرفتن تعداد حالات ممکن f_i، ۰ یا ۱، توابع غیرخطی فوق به چند تابع خطی و محدب تبدیل می‌شود. هم‌چنین جهت اثبات محدب بودن فضای حل مسئله باید به این نکته اشاره کرد که محدودیت‌های ارائه شده در مدل به‌صورت ترکیبی از محدودیت‌های خطی و صفر و یک بیان شده‌اند. نرم‌افزار GAMS در مدل‌های MINLP که دارای محدودیت‌های صفر و یک باشند فضای حل مسئله را با انشعاب زدن به‌صورت مجموعه‌ای از زیرمسئله‌ها[1] تبدیل کرده که تمام محدودیت‌های آنها خطی هستند، سپس جواب بهینه برای کلیه زیر مسئله‌ها را استخراج کرده و در نهایت جواب بهینه مسئله از میان بهینه زیر مسئله‌ها انتخاب خواهد شد.

حال که محدب بودن مسئله به اثبات رسید، برای بررسی صحت مدل‌سازی ارائه شده دو مثال عددی با استفاده از نرم‌افزار GAMS حل شده و نتایج آن تشریح شده است.

۴- مثال عددی

در این بخش صحت مدل ارائه شده را با دو مثال عددی مورد بررسی قرار داده که مثال اول یک مسئله فرضی و مثال دوم یک مسئله کاربردی با استفاده از اطلاعات واقعی است:

۴-۱- مثال اول

فرض کنید دپارتمان خرید یک شرکت برای افق برنامه‌ریزی پیش روی خود با مسئله انتخاب تأمین‌کننده روبه‌رو است و هدف آن انتخاب تأمین‌کننده‌ای است که کمترین هزینه را برای شرکت داشته باشد. جدول (۱) هزینه‌ها، ظرفیت تأمین و مشخصات کیفی چهار تأمین‌کننده مختلف را نشان می‌دهد.

جدول (۱): معرفی تأمین‌کنندگان در مثال اول (حالت اول)

Supplier	Ci	Ai	Pi	μ_i	σ_i^2
۱	۷۰۰	۲۵۰	۳۰	۱۹۷	۲
۲	۴۰۰	۱۵۰	۵۰	۲۰۲	۷
۳	۵۰۰	۲۰۰	۴۵	۱۹۸	۴
۴	۳۰۰	۱۸۰	۷۰	۲۰۰	۶

حالت ۱: فرض کنید مقدار تقاضای سالانه محصول برابر ۱۰۰۰ واحد کالا، هزینه هر واحد محصول معیوب ۱۰۰، هزینه بازرسی هر واحد محصول ۵، مقدار مطلوب مشخصه کیفی ۲۰۰ و حدود کنترلی بالا و پایین به ترتیب ۲۰۵ و ۱۹۵ باشد. ابتدا باید مقدار k و درصد محصولات خراب هر تأمین‌کننده (λi) محاسبه شود.

$$k = \frac{C_r}{(USL-\theta)^2} = \frac{۱۰۰}{(۲۰۵-۲۰۰)^2} = ۴$$

$$\lambda_i = ۱ - P(LSL < x_i < USL)$$

$$= \lambda_i ۱ - P(\frac{LSL-\mu_i}{\sigma_i} < Z_i < \frac{USL-\mu_i}{\sigma_i})$$

$$\lambda_۱ = ۱ - P(\frac{۱۹۵-۱۹۷}{\sqrt{۲}} < Z_i < \frac{۲۰۵-۱۹۷}{\sqrt{۲}}) = ۰.۰۸$$

$$\lambda_۲ = ۱ - P(\frac{۱۹۵-۲۰۲}{\sqrt{۷}} < Z_i < \frac{۲۰۵-۱۹۷}{\sqrt{۷}}) = ۰.۱۳$$

$$\lambda_۳ = ۱ - P(\frac{۱۹۵-۱۹۸}{\sqrt{۴}} < Z_i < \frac{۲۰۵-۱۹۸}{\sqrt{۴}}) = ۰.۰۶۷$$

$$\lambda_۴ = ۱ - P(\frac{۱۹۵-۲۰۰}{\sqrt{۶}} < Z_i < \frac{۲۰۵-۲۰۰}{\sqrt{۶}}) = ۰.۰۴$$

1 Sub-Problem

حال با استفاده از نرم‌افزار GAMS مدل ارائه شده حل می‌شود. مقادیر بهینه هر کدام از متغیرها و تابع هدف مطابق با جدول (۲) می‌باشد.

در این حالت تأمین‌کنندگان ۱، ۳ و ۴ انتخاب شده و برای محصولات خریداری شده از تأمین‌کنندگان ۱ و ۳ سیاست بازرسی ۱۰۰ درصد انتخاب شده و محصولات تأمین‌کننده ۴ بررسی نخواهند شد.

حالت۲: در این حالت می‌خواهیم فاصله USL و LSL را نسبت به θ کم کرده و مسئله را در شرایط سخت‌گیرانه‌تری حل نماییم، در حقیقت در این بخش می‌خواهیم حساسیت مدل را نسبت به تغییر USL و LSL مورد بررسی قرار دهیم. شرایطی را با حدود کنترلی بالا و پایین به ترتیب ۲۰۴ و ۱۹۶ فرض کنید و بقیه پارامترهای مسئله ثابت هستند.

ابتدا مقدار k و درصد محصولات خراب λ_i محاسبه می‌شود.

$$k=\frac{C_r}{(USL-\theta)^2}=\frac{۱۰۰}{(۲۰۴-۲۰۰)^2}=۶.۲۵$$

$$\lambda_i = ۱ - P(LSL < x_i < USL)$$

$$\lambda_۱=۱ - P(\frac{۱۹۶-۱۹۷}{\sqrt{۳}} < Z_i < \frac{۲۰۴-۱۹۷}{\sqrt{۳}}) =۰.۲۹$$

$$\lambda_۲=۱ - P(\frac{۱۹۶-۲۰۲}{\sqrt{۵}} < Z_i < \frac{۲۰۴-۲۰۲}{\sqrt{۵}}) = ۰.۲۳$$

$$\lambda_۳=۱ - P(\frac{۱۹۶-۱۹۸}{\sqrt{۷}} < Z_i < \frac{۲۰۴-۱۹۸}{\sqrt{۷}}) = ۰.۲۵$$

$$\lambda_۴=۱ - P(\frac{۱۹۶-۲۰۰}{\sqrt{۶}} < Z_i < \frac{۲۰۴-۲۰۰}{\sqrt{۶}}) =۰.۱۳$$

در این‌صورت جواب بهینه به‌صورت جدول (۳) می‌باشد.

در این حالت تأمین‌کنندگان ۱، ۳ و ۴ انتخاب شده و برای محصولات خریداری شده از کلیه تأمین‌کنندگان سیاست بازرسی ۱۰۰ درصد انتخاب شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش فاصله USL و LSL نسبت به θ شرایط سخت‌گیرانه‌تری برای محصولات تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شده که علاوه بر افزایش کیفیت محصولات انتخاب شده افزایش هزینه‌های کلی سیستم را نیز در پی دارد.

۴-۲- مثال دوم

این مثال متعلق به یک شرکت تولیدکننده الکتروپمپ می‌باشد. این شرکت به‌منظور تولید الکتروموتورهای خود به

جدول (۲): حل بهینه مثال اول (حالت اول)

Supplier	Y_i	D_i	λ_i	f_i
۱	۱	۲۴۵	۰.۰۸	۱
۲	۰	–	–	–
۳	۱	۴۶۷	۰.۰۶۷	۱
۴	۱	۲۸۸	۰.۰۴	۰
Total Cost = ۸۲۱۷۶				

جدول (۳): حل بهینه مثال اول (حالت دوم)

Supplier	Y_i	D_i	λ_i	f_i
۱	۱	۴۹۷	۰.۲۹	۱
۲	۰	۰	–	۰
۳	۱	۳۷۵	۰.۲۵	۱
۴	۱	۱۲۸	۰.۱۳	۱
Total Cost = ۱۱۸۸۸۳				

جدول (۴): معرفی تأمین‌کنندگان در مثال دوم

Supplier	*Ci*	*Ai*	*Pi*	μ_i	σ_i^2
۱	۲۰۰	۵۰۰۰۰	۸۰۰۰	۱۹	۲
۲	۲۰۰	۵۰۰۰۰	۹۰۰۰	۲۰.۵	۳
۳	۲۰۰	۵۰۰۰۰	۷۵۰۰	۱۸	۴
۴	۲۰۰	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۰.۵	۲
۵	۲۰۰	۵۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۱.۵	۱

جدول (۵): حل بهینه مثال دوم

Supplier	Y_i	D_i	λ_i	f_i
۱	۰	۰	–	۰
۲	۰	۰	–	۰
۳	۰	۰	–	۰
۴	۱	۱۷۴	۰.۱۳	۱
۵	۱	۲۶	۰.۰۷	۰
Total Cost = ۹۸۶۴۱۰۴				

نوع خاصی از ورق‌های پایه آهنی نیاز دارد که مجموع درصد آلومینیوم و سیلیسیوم در این ورق‌ها باید مقدار مشخصی باشد (برای مشاهده اطلاعات کامل شرکت مزبور و تأمین‌کنندگان آن به [۲۷] مراجعه شود). هدف ما در این مثال انتخاب تأمین‌کننده‌ای است که کمترین هزینه را برای شرکت داشته باشد. جدول ۴ هزینه‌ها، ظرفیت تأمین و مشخصات کیفی پنج تأمین‌کننده مختلف را نشان می‌دهد.

مقدار تقاضای ماهانه ورق آهن سیلیس برابر ۲۰۰ کیلوگرم، هزینه هر کیلوگرم ورق معیوب ۱۰۰۰۰۰ واحد پولی، هزینه بازرسی هر واحد محصول ۱۰۰۰۰ واحد پولی، مقدار مطلوب مشخصه کیفی ۲۰٪ (۲۰ واحد) و حدود کنترلی بالا و پایین به ترتیب ۲۳ و ۱۷ می‌باشد. ابتدا باید مقدار k و درصد محصولات خراب هر تأمین‌کننده (λi) محاسبه شود.

$$k=\frac{C_r}{(USL-\theta)^2}=\frac{۱۰۰۰۰۰}{(۲۳-۲۰)^2}=۱۱۱۱۱$$

$$\lambda_۱=۱-P(\frac{۱۷-۱۹}{\sqrt{۲}}<Z_i<\frac{۲۳-۱۹}{\sqrt{۲}})=۰.۱۵\quad,\quad \lambda_۲=۱-$$

$$P(\frac{۱۷-۲۰.۵}{\sqrt{۳}}<Z_i<\frac{۲۳-۲۰.۵}{\sqrt{۳}})=۰.۱۱\quad,\quad \lambda_۳=۱-$$

$$P(\frac{۱۷-۱۸}{\sqrt{۴}}<Z_i<\frac{۲۳-۱۸}{\sqrt{۴}})=۰.۳۲$$

$$\lambda_۴=۱-P(\frac{۱۷-۲۰.۵}{\sqrt{۲}}<Z_i<\frac{۲۳-۲۰.۵}{\sqrt{۲}})=۰.۱۳\ ,\ \lambda_۵=۱-$$

$$P(\frac{۱۷-۲۱.۵}{\sqrt{۱}}<Z_i<\frac{۲۳-۲۱.۵}{\sqrt{۱}})=۰.۰۷$$

در این‌صورت جواب بهینه مطابق جدول (۵) می‌باشد.

در این حالت تأمین‌کنندگان ۳ و ۴ انتخاب شده و برای محصولات خریداری شده از تأمین‌کننده ۳ بازرسی ۱۰۰ درصد و محصول تأمین‌کننده ۴ بررسی نخواهند شد.

۵- تحلیل حساسیت

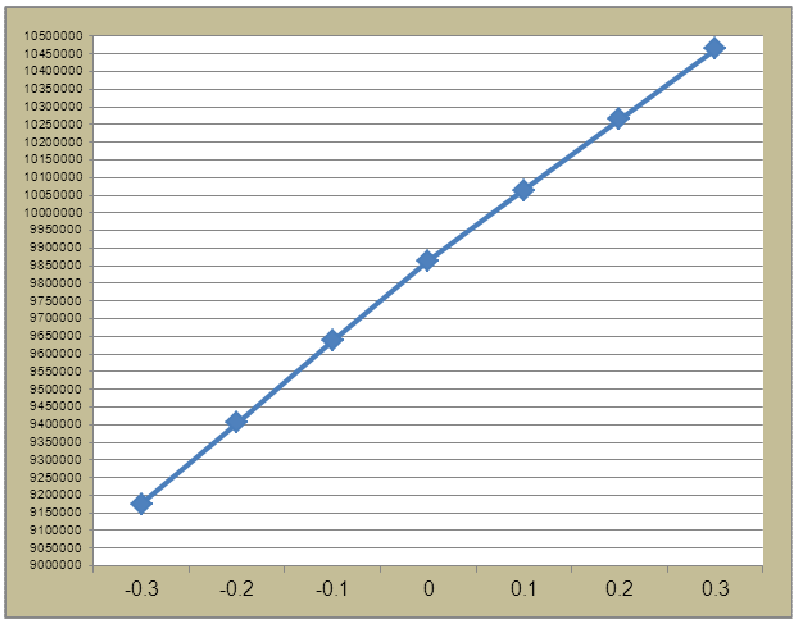
در این قسمت به بررسی و تحلیل حساسیت تابع هدف و متغیرهای تصمیم مسئله برای مثال دوم، نسبت به برخی از پارامترهای مدل پرداخته می‌شود. رفتار منطقی مدل نسبت به تغییرات اعمال شده در مسئله می‌تواند صحت مدل ارائه شده در این پژوهش را اثبات کند.

۵-۱- تغییرات نسبت به تغییر هزینه بازرسی هر واحد محصول (I)

با افزایش مراحل کنترل کیفی، استفاده از افراد مجرب برای کنترل کیفیت محصولات و غیره می‌توان اطمینان خود را از میزان کیفیت محصولات خریداری شده از تأمین‌کنندگان بالاتر برد، که به تبع آن میزان هزینه بازرسی محصولات افزایش پیدا می‌کند. در این بخش تغییرات تابع هدف و متغیرهای تصمیم مسئله نسبت به تغییرات هزینه‌های بازرسی (از ۳۰٪- تا ۳۰٪+ نسبت مقدار در نظر گرفته شده در مثال) مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۵-۱-۱- تغییرات تابع هدف (TC) نسبت به تغییر هزینه بازرسی هر واحد محصول (I)

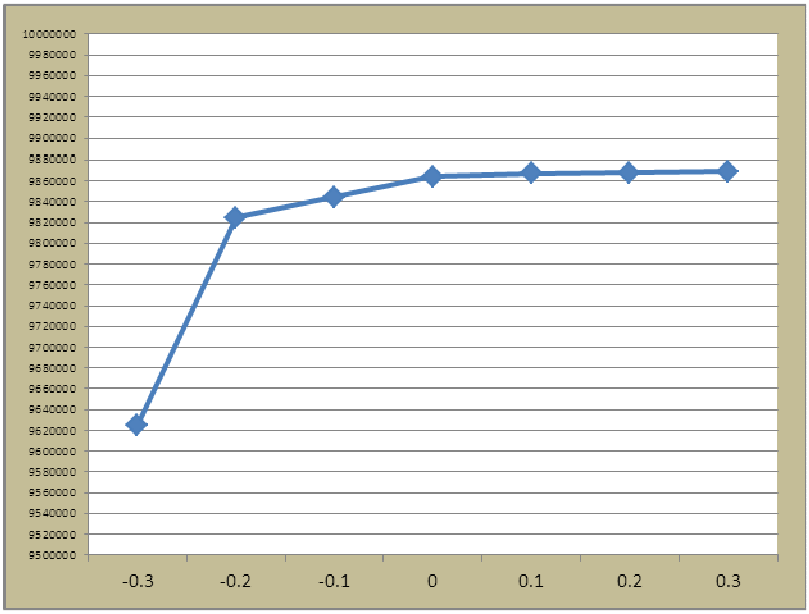
همان‌طور که در شکل (۳) مشخص می‌باشد با افزایش میزان I، نمودار تغییرات تابع هدف نموداری اکیداً صعودی بوده، لذا می‌توان گفت افزایش هزینه بازرسی هر واحد محصول به‌طور مستقیم هزینه‌های کلی سیستم (تابع هدف مدل) را افزایش می‌دهد. با توجه به مدل ارائه شده بخش ۲ و نوع رابطه TC و I که یک رابطه خطی می‌باشد، کاملاً منطقی است؛ لذا می‌توان نتیجه گرفت اگرچه افزایش I می‌تواند اطمینان ما را از میزان کیفیت محصولات تولیدی افزایش دهد اما به‌طور مستقیم هزینه‌های کل را افزایش می‌دهد.



شکل(۳): تغییرات تابع هدف نسبت به هزینه‌های بازرسی

جدول (۶): تغییرات متغیرهای تصمیم نسبت به تغییر هزینه‌های بازرسی

متغیرهای تصمیم مسئله / میزان تغییرات I	D_1	Y_1	f_1	D_2	Y_2	f_2	D_3	Y_3	f_3	D_4	Y_4	f_4	D_5	Y_5	f_5
-٪۳۰	۲۶	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۰	۰	۰
-٪۲۰	۲۶	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۰	۰	۰
-٪۱۰	۲۶	۱	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۰	۰	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۲۶	۱	۰
+٪۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۲۶	۱	۰
+٪۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۲۶	۱	۰
+٪۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۲۶	۱	۰



شکل(۴): تغییرات تابع هدف نسبت به هزینه‌ی محصولات معیوب

جدول (۷): تغییرات متغیرهای تصمیم نسبت به تغییرهزینه هر واحد محصول معیوب

متغیرهای تصمیم مسئله / میزان تغییرات Cr	D_1	Y_1	f_1	D_2	Y_2	f_2	D_3	Y_3	f_3	D_4	Y_4	f_4	D_5	Y_5	f_5
-٪۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۲۶	۱	۱
-٪۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۲۶	۱	۱
-٪۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۲۶	۱	۰
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۲۶	۱	۰
+٪۱۰	۲۶	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۰	۰	۰
+٪۲۰	۲۶	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۰	۰	۰
+٪۳۰	۲۶	۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۷۴	۱	۱	۰	۰	۰

۵-۱-۲-۱- تغییرات متغیرهای تصمیم (f_i ،Y_i ،Q_i) نسبت به تغییر هزینه بازرسی هر واحد محصول (I):

برای نشان دادن تغییرات متغیرهای تصمیم، کلیه حالات مسئله با توجه به تغییر I حل شده است و نتایج آن در جدول (۶) آمده است.

۵-۱-۲-۱- تغییرات fi

همان‌طور که در جدول (۶) مشخص است، مقدار fi در ابتدا و به هنگامی‌که I کمترین مقدار خود را دارد برای هر دو تأمین‌کننده‌ی انتخاب شده، ۱ است و این روند تا زمانی که تغییرات I به I ۹۰ درصد رسیده باشد یک روند ثابت است، اما با افزایش مقدار I، مقدار fi برای یکی از تأمین‌کنندگان انتخاب شده، ۰ شده و این روند تا پایان ادامه دارد. لذا می‌توان نتیجه گرفت اگرچه افزایش میزان هزینه‌های بازرسی محصولات تأمین‌کنندگان می‌تواند اطمینان ما را از میزان کیفیت محصولات تولیدی افزایش دهد، اما این افزایش هزینه تا حدی برای سیستم قابل قبول بوده و افزایش بیش از حد آن موجب تجدید نظر مدل در میزان بازرسی از محصولات تأمین‌کنندگان می‌شود. با توجه به نیاز به کاهش مجموع هزینه‌های سیستم، نتیجه کاملاً منطقی از مدل می‌باشد.

۵-۱-۲-۱- تغییرات Di و Yi نسبت به تغییر هزینه بازرسی هر واحد محصول (I)

بر اساس اطلاعات به دست آمده از جدول (۶) در ابتدا که I کمترین مقدار خود را دارد (۷۰ درصد) تأمین‌کنندگان ۱ و ۴ به ترتیب با میزان سفارش(Di) ۲۶ و ۱۷۴ کیلوگرم انتخاب شده‌اند و این روند تا زمانی I به I۹۰ درصد رسیده یک روند ثابت است، یکی از دلایل این امر پایین بودن قیمت محصول تأمین‌کننده اول (P_1) علی‌رغم بالا بودن میزان خرابی محصولات این تأمین‌کننده (λ_1) نسبت به سایر تأمین‌کنندگان می‌باشد، اما با افزایش میزان I، و به تبع آن افزایش تابع هزینه بازرسی، میزان تأثیر λ_1 بر هزینه کل افزایش پیدا کرده لذا در این حالت تأمین‌کننده ۵ علی‌رغم اینکه قیمت بالاتری را ارائه نموده، به دلیل بالاتر بودن کیفیت محصولات خود انتخاب می‌شود، در این حالت تأمین‌کنندگان ۴ و ۵ به ترتیب با میزان سفارش ۱۷۴ و ۲۶ کیلوگرم انتخاب شده‌اند. در واقع در این قسمت به‌خوبی موازنه کیفیت و قیمت در محصولات تأمین‌کنندگان قابل مشاهده است. هم‌چنین Yi نیز به دلیلی مشابه با Di تغییر کرده است.

۵-۱- تغییرات نسبت به تغییر هزینه یک واحد محصول معیوب(Cr)

۵-۲-۱- تغییرات تابع هدف (TC) نسبت به تغییر هزینه یک واحد محصول معیوب (Cr)

همان‌طور که در شکل (۴) مشخص می‌باشد با افزایش میزان Cr، نمودار تغییرات تابع هدف نموداری صعودی اکید بوده، لذا می‌توان گفت افزایش هزینه یک واحد محصول معیوب به‌طور مستقیم هزینه‌های کلی سیستم (تابع هدف مدل) را افزایش می‌دهد. با توجه به مدل ارائه شده بخش ۲ و نوع رابطه TC و Cr که یک رابطه خطی کاملاً منطقی می‌باشد، می‌توان نتیجه گرفت در زمانی که مقدار Cr افزایش می‌یابد، مجموع هزینه‌های انتخاب تأمین‌کنندگان بالا می‌رود.

۵-۱-۲- تغییرات متغیرهای تصمیم (f_i ،Y_i ،Q_i) نسبت به تغییر هزینه یک واحد محصول معیوب (Cr)

برای نشان دادن تغییرات متغیرهای تصمیم، کلیه حالات مسئله با توجه به تغییر **Cr** حل شده است و نتایج آن در

جدول (۷) آمده است.

تغییرات f_i: همان‌طور که در جدول (۷) مشخص است مقدار f_i در ابتدا و به هنگامی‌که Cr کمترین مقدار خود را دارد برای هر دو تأمین‌کننده انتخاب شده ۱ است و این روند تا زمانی که تغییرات Cr از ۷۰Cr درصد به ۸۰Cr درصد رسیده باشد یک روند ثابت است، اما با افزایش مقدار Cr به ۹۰Cr درصد، مقدار f_i برای یکی از تأمین کنندگان ۰ شده، و این روند تا پایان ادامه دارد. لذا می‌توان این مسئله را به این‌صورت توجیه نمود که افزایش هزینه هر واحد محصول معیوب، هزینه‌های کلی سیستم را افزایش داده و روش حل مدل جهت جلوگیری از افزایش هزینه کلی سیستم میزان بازرسی محصولات تأمین کنندگان را کاهش می‌دهد. این یک نتیجه کاملاً منطقی از مدل بوده و روش حل آن با توجه به نیاز کاهش مجموع هزینه‌های سیستم می‌باشد.

۵-۱-۳- تغییرات Di و Yi نسبت به تغییر هزینه بازرسی هر واحد محصول (Cr)

بر اساس اطلاعات به دست آمده از جدول (۷) در ابتدا که Cr کمترین مقدار خود را دارد (۷۰Cr درصد) تأمین کنندگان ۴ و ۵ به ترتیب با میزان سفارش ۲۶ و ۱۷۴ کیلوگرم انتخاب شده‌اند و این روند تا زمانی که Cr به ۱۰۰Cr درصد رسیده باشد، یک روند ثابت است. یکی از دلایل این امر پایین بودن میزان خرابی محصولات تأمین‌کننده پنجم (λ_5) علی‌رغم بالا بودن قیمت محصولات این تأمین‌کننده (P_5) نسبت به سایر تأمین‌کنندگان می‌باشد، اما با افزایش میزان Cr و به تبع آن افزایش تابع هزینه خرابی‌ها، میزان تأثیر p_i بر هزینه کل افزایش پیدا کرده است. در این حالت تأمین‌کننده ۱ علی‌رغم اینکه از کیفیت محصولات پایین‌تری نسبت به تأمین‌کننده ۵ برخوردار است، به دلیل بالاتر بودن قیمت محصولاتش انتخاب می‌شود، در این حالت تأمین‌کنندگان ۴ و ۱ به ترتیب با میزان سفارش ۱۷۴ و ۲۶ کیلوگرم انتخاب شده‌اند. در واقع در این قسمت نیز به‌خوبی موازنه کیفیت و قیمت در محصولات تأمین‌کنندگان قابل مشاهده است.

۶- نتیجه‌گیری و تحقیقات آتی

انتخاب تأمین‌کنندگان، به‌عنوان یکی از گام‌های ابتدایی تشکیل زنجیره تأمین و جزو اصلی‌ترین مباحث مدیریت زنجیره تأمین مطرح می‌باشد، که نقش مهمی در افزایش یا کاهش کارآیی زنجیره تأمین دارد، از این‌رو با توجه به نقش بسیار مهمی که زنجیره‌های تأمین در ایجاد مزیت رقابتی برای شرکت‌ها دارند، می‌توان اذعان کرد مدیران همواره به دنبال انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان برای شرکت یا سازمان متبوع خود می‌باشند. در این بین کیفیت مواد اولیه و محصولات تأمین شده توسط تأمین‌کنندگان یکی از اصلی‌ترین معیارها برای انتخاب آنها می‌باشد، با این حال اگرچه افزایش کیفیت مواد اولیه و به تبع آن افزایش کیفیت محصول، به تنهایی موجب رضایت‌مندی مشتریان می‌شود، اما این افزایش کیفیت، موجب افزایش قیمت تمام شده محصول شده که امری نامطلوب است و می‌تواند موجب از دست دادن بخشی از مشتریان سازمان شود، هم‌چنین کاهش کیفیت محصول نیز هزینه‌هایی شامل هزینه‌های برگشت محصولات، بی‌اعتباری در بردارد. در واقع در اینجا به‌نوعی با موازنه قیمت-کیفیت مواجه هستیم، از این‌رو در این مقاله سعی شده اهمیت کیفیت و هزینه‌های ناشی از افزایش و یا کاهش کیفیت محصولات تأمین‌کنندگان مورد تأکید قرار گیرد، لذا بر اساس مطالب عنوان شده در بخش ۲، استفاده از بازرسی‌ها، خارج کردن مواد معیوب از سیستم و در نظر گرفتن جریمه کیفی برای مواد کم کیفیت در مدل‌سازی مد نظر قرار گرفته است، همان‌طور که در بخش‌های حل مثال عددی و تحلیل حساسیت مشخص شد، می‌توان با افزایش هزینه‌های بازرسی و کم کردن فاصله حد بالا و پایین قابل قبول برای پذیرش محصولات تأمین‌کنندگان (USL و LSL) کیفیت محصولات تأمین‌شده را افزایش داده و به نوعی محصولات تأمین شده را سخت‌گیرانه‌تر مورد بررسی قرار داد، که این امر موجب افزایش هزینه‌های سیستم می‌شود.

لذا تصمیم‌گیرندگان می‌توانند با توجه به استراتژی خود در بازار رقابتی، میزان کیفیت و هزینه مورد انتظار را از محصولات سازمان متبوع خود تعیین نموده و پس از آن با استفاده از مطالب عنوان شده تأمین‌کنندگان مطلوب، میزان سفارش و میزان بازرسی از محصولات آنها را انتخاب نمایند.

در این مدل هزینه‌های سیستم به سه دسته عمده تقسیم‌بندی شده است ۱- هزینه خرید و انتخاب تأمین‌کننده ۲- هزینه بازرسی ۳- هزینه‌های کیفی و محصولات معیوب.

مهم‌ترین مزیت‌های این مدل نسبت به مدل‌های قبلی که در این زمینه ارائه شده است عبارت‌اند از:

۱- در نظر گرفتن ویژگی کیفی محصول به‌عنوان یک متغیر تصادفی احتمالی.

۲- در نظر گرفتن بازرسی به‌عنوان یک متغیر تصمیم در مدل‌سازی.

۳- استفاده از توابع جریمه کیفی.

همان‌طور که ذکر شد در این تحقیق، کیفیت به‌عنوان

یکی از اصلی‌ترین معیارها در محاسبه هزینه انتخاب تأمین‌کنندگان مد نظر قرار گرفته است، اما همان‌طور که می‌دانیم، در مسئله انتخاب تأمین‌کننده هزینه‌های دیگری هم‌چون هزینه نگهداری کالا (انبارداری)، هزینه حمل و نقل و غیره نیز وجود دارد. هم‌چنین در دنیای واقعی، برای یک مسئله انتخاب تأمین‌کننده، اکثر اطلاعات ورودی به‌صورت قطعی نیستند. در زمان تصمیم‌گیری، مقدار معیارها و محدودیت‌های زیادی به‌صورت عبارات مبهم مانند "کیفیت خیلی بالا" یا "قیمت خیلی پایین" بیان می‌شوند، لذا با توجه به مطالب عنوان شده پیشنهادات زیر می‌تواند برای توسعه این تحقیق مد نظر قرار گیرد:

- هزینه‌هایی هم‌چون هزینه حمل و نقل و انبارداری به مدل اضافه شده‌اند تا مدل از جامعیت بیشتری برخوردار گردد.
- مسائلی هم‌چون محدودیت بودجه، وجود تخفیف، محدودیت فضای انبار و غیره می‌تواند در مدل‌سازی مد نظر قرار گیرد.
- معیارهای فازی را نیز باید در مدل‌سازی مد نظر قرار داد.

۷- منابع

[1] Ghodsypour, S.H., O'Brien, C. "***The total cost of logistics in supplier selection, under conditions of multiple sourcing, multiple criteria and capacity constraint***". Int. J. Production Economics, 73, 15-27, 2001

[2] Moore, D.L, Fearon, H.E. "***Computer assisted decision-making in purchasing***". Journal of Purchasing 9(4), 5-25, 1973

[3] Anthony, T.F, Buffa, F.P. Strategic purchasing scheduling. Journal of Purchasing and Materials Management 13(3), 27-31.1977

[4] Buffa, F.P., Jackson, W.M. A goal programming model for purchase planning. Journal of Purchasing and Materials Management 19 (3), 27-34.1983

[5] Bender, P.S., Brown, R.W., Isaac, H. Shapiro, J.F. "***Improving purchasing productivity at -IBM with a normative decision support system***". Interfaces 15 (3), 106-115.1985

[6] Kingsman, B.G. "***Purchasing raw materials with uncertain fluctuating prices***". European Journal of Operational Research 25,358-372.1986

[7] Pan, A.C. "***Allocation of order quantity among suppliers***". Journal of Purchasing and Materials Management 25 (3), 36-39.1989

[8] Sharma, D., Benton, W.C., Srivastava, R.. "***Competitive strategy and purchasing decision. Proceedings of the Annual***" Conference of the Decision Sciences Institute, pp. 1088-1090.1989

[9] Benton, W.C. "***Quantity discount decision under conditions of multiple items, multiple suppliers and resource limitation***". International Journal of Production Research 29 (10), 1953-1961.1991

[10] Hong, J.D., Hayya, J.C. "***Just-in-time purchasing: Single or multiple sourcing***". International Journal of Production Economics 27, 175-181.1992

[11] Chaudhry, S.S., Forst, F.G., Zydiak, J.L. "***Vendor selection with price breaks***". European Journal of Operational Research 70(1), 52-66.1993

[12] Weber, C.A., Current, J.R. "***A multiobjective approach to vendor selection***". European Journal of Operational Research 68, 173-184.1993

[13] Rosenthal, E.C., Zydiak, J.L., Chaudhry, S.S. "***Vendor selection with bundling. Decision Sciences***" 26 (1), 35-48.1995

[14] Ghodsypour, S.H., O'Brien, C."***A decision support system for supplier selection using an integrated analytical hierarchy process and linear programming***". International Journal of Production Economics 57, 199-212. 1998

[15] Chauhan, S.S., Proth, J-M."***The concave cost supply problem***". European Journal of Operational Research 148, 374-383.2003

[16] Kumar, M., Vrat, P., Shankar, R." ***A fuzzy goal programming approach for vendor selection problem in a supply chain***". Computers and Industrial Engineering 46 (1), 69-85.2004

[17] Liu, F.F., Hai, H.L.,"***The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier***". International Journal of Production Economics 97 (3), 308-317.2005

[18] Farzipoor Saen, R. "***Suppliers selection in the presence of both cardinal and ordinal data***". European Journal of Operational Research 183, 714-747.2006

[19] Chan, F. T. S., Kumar, N., Tiwari, M. K., Lau, H. C. W., & Choy, K. L."***Global supplier selection: A fuzzy-AHP approach***". International Journal of Production Research, 46(14), 3825–3857.2008

[20] Allon, G., Federgruen,"***A. Competition in service industries with segmented markets***". Management Science 55, 619-635.2009

[21] Awasthi, A., Chauhan, S., Goyal, S.k." ***A fuzzy multi criteria approach for evaluating environmental performance of suppliers***". Int. J.Production Economics 126, 370-378.2010

[22] Shemshadi, A., Shirazi, H., Toreihi, M., Tarokh, M.J. "***A fuzzy VIKOR method for supplier selection based on entropy measure for objective weighting***". Expert Systems with Applications 38, 12160–12167.2011

[23] Zhang, J. Zhang, M. "***Supplier selection and purchase problem with fixed cost and constrained order quantities under stochastic demand***". International Journal of Production Economics 129, 1-7.2011

[24] Shailesh S. Kulkarni,"***A Loss-based quality costs and inventory planning: General models and insights***"; European Journal of Operational Research 188: 428–449. 2008

[25] Zhang, X., Gerchak, Y., 1990. Joint lot sizing and inspection policy in an EOQ model with random yield. IIE Transactions 22 (1), 41–47.

[۲۶] لیبرمن جرالد، هیلیر فردریک،"***برنامه‌ریزی ریاضی***" ترجمه محمد مدرس یزدی، تهران: انتشارات جوان ،۱۳۸۱.

[۲۷] سماوات سید داود، "***ارائه یک روش جدید برای انتخاب تأمین کنندگان با استفاده روش ویکور فازی و در نظر گرفتن جرایم کیفی به وسیله تابع ضرر نرمال معکوس***" حاله حسن، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین، رساله کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، ۱۳۹۲.