دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال سوم، شماره نهم، بهار ۱۳۹۶
شماره شاپا: ۰۱۶۹-۱۶۸۲

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

پژوهش‌های نوین در ریاضی

کارایی هزینه زنجیره تامین حلقه بسته در حضور عوامل دو نقشی و نامطلوب

منیره جهانی صیادنویری[۱]، سهراب کردرستمی[۲*]، علیرضا امیرتیموری[۳]

[۱] دانشجوی دکتری، گروه ریاضی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
[۲] استاد، گروه ریاضی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
[۳] استاد، گروه ریاضی کاربردی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱۰/۱۳ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۱/۱۸

چکیده

مدیریت زنجیره تامین برای موفقیت واحدهای اقتصادی و رضایت مشتریان لازم و اساسی است. علاوه بر این یک سیستم ارزیابی عملکرد مناسب به منظور مدیریت موثر زنجیره تامین ضروری است. با توجه به اهمیت مدیریت هزینه در زنجیره تامین، در این بررسی یک روش مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی کارایی هزینه زنجیره‌های تامین حلقه بسته پیشنهاد می‌شود در حالی که عوامل دو نقشی و خروجی نامطلوب حضور دارند. تحلیل‌پوششی‌داده‌ها یک روش برنامه ریزی ریاضی موثر به منظور ارزیابی و تحلیل کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده با چندین ورودی و خروجی است. در واقع در این تحقیق با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها کارایی هزینه زنجیره‌های تامین با سه مولفه، تامین‌کننده، تولیدکننده، و تعمیر و بازیافت و همچنین جریان‌های رو به جلو و عقب ارزیابی می‌شود در حالی که عوامل دو نقشی و خروجی نامطلوب در سیستم مشاهده می‌شوند. فرض دسترسی‌پذیری ضعیف برای خروجی‌های نامطلوب در نظر گرفته می‌شود. همچنین یک مطالعه موردی به منظور تشریح و تحلیل روش پیشنهادی مطرح می‌شود. نتایج نشان می‌دهد تشخیص درست نقش عامل‌ها و همچنین در نظر گرفتن عوامل نامطلوب و برگشت‌پذیر در سیستم‌های زنجیره تامین نقش مهمی در محاسبه درست کارایی هزینه در هریک از مولفه‌ها و زنجیره تامین کل دارد. همچنین در روش پیشنهادی کارایی هزینه کل را می‌توان به صورت مجموع وزن‌داری از کارایی هزینه مولفه‌ها بیان کرد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، زنجیره تامین حلقه بسته، کارایی هزینه، عوامل دو نقشی، خروجی نامطلوب.

* عهده‌دار مکاتبات: Email: sohrabkordrostami@gmail.com

۱. مقدمه

با توجه به فضای رقابتی امروز، مدیریت زنجیره تامین برای مدیران و تصمیم‌گیرندگان از اهمیت به سزایی برخوردار است. در واقع بنگاه‌های اقتصادی به دنبال کاهش هزینه، افزایش فروش و بهبود عملکرد هستند. در روش‌های متداول زنجیره تامین معمولاً جریان‌های رو به جلو در نظر گرفته می‌شوند. در حالی که از فرایندها، محصولات برگشت‌پذیر و نقش آنها در بررسی زنجیره‌های تامین چشم‌پوشی می‌شود. سیر تکاملی زنجیره تامین روش منسجمی را ایجاد می‌کند که به طور هم زمان جریان‌های رو به جلو و رو به عقب را در نظر می‌گیرد. زنجیره‌های تامین با جریان‌های رو به جلو و عقب و در نظر گرفتن بخش بازیافت "زنجیره تامین حلقه بسته" نامیده می‌شود. به عبارت دیگر در سیستم‌های تولیدی متفاوت معمولاً خروجی‌های نامطلوب برگشت‌پذیر و /یا برگشت ناپذیر علاوه بر خروجی‌های مطلوب نیز حضور دارند. به عنوان مثال محصولات و کالاهای معیوب را می‌توان به عنوان خروجی نامطلوب در نظر گرفت که پس از ورود به بخش تعمیر و بازیافت دوباره به نوعی قابل استفاده خواهند بود. بنابراین در نظر گرفتن عوامل نامطلوب در ارزیابی عملکرد بنگاه‌های اقتصادی نقش به سزایی در محاسبه نمرات کارایی منطقی دارد. بنابراین ارایه روشی برای محاسبه عملکرد زنجیره‌های تامین در حضور عوامل مطلوب و نامطلوب مفید خواهد بود.

علاوه بر این مدیریت هزینه زنجیره تامین مبحث ویژه‌ای است. بنا بر [۱] اگر تنها یک اندازه عملکرد منحصربه فرد در یک زنجیره تامین استفاده می‌شود هزینه‌ها معمولاً به کار برده می‌شود. واضح است که در ارزیابی عملکرد زنجیره تامین، انتخاب اندازه‌های عملکرد مبحث مهمی است که با در نظر گرفتن این عوامل کارایی زنجیره‌های تامین ارزیابی می‌شود. در واقع همان طور که در [۱] بیان شده است مدیریت هزینه مراحلی را در نظر می‌گیرد برای کنترل هزینه‌های محصولات، فرایندها و منابع و در نتیجه رقابت‌پذیری در بنگاه‌ها را بهبود می‌بخشد. بنابراین تخمین کارایی هزینه در مدیریت زنجیره تامین نقش مهمی دارد.

یکی از روش‌های مناسب و موثر برای ارزیابی کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده با چندین ورودی و خروجی روش غیرپارامتری تحلیل پوششی داده‌ها است. این روش که توسط چارنز و همکاران [۲] در سال ۱۹۷۸ پیشنهاد شد نیاز به هیچ پیش فرضی در مورد تابع تولید و وزن‌ها ندارد. روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری و تحلیل مفاهیم کارایی از جمله کارایی هزینه به‌کار می‌رود. کارایی هزینه و تخصیصی در ابتدا توسط فارل [۳] و سپس توسط فار و همکاران [۴] توسعه یافت. تن [۵] حالتی را در نظر گرفت که هزینه واحد به ازای ورودی‌ها از یک واحد به واحد دیگر متفاوت است و روشی را برای ارزیابی کارایی هزینه پیشنهاد کرد. علاوه بر این در مطالعاتی مانند [۶–۱۲] کارایی هزینه تحت بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

در مدل‌های متداول تحلیل پوششی داده‌ها وضعیت عوامل از منظر ورودی و خروجی مشخص است. با این وجود گاهی اوقات برخی عوامل هر دو نقش ورودی و خروجی را ایفا می‌کنند. این عوامل در مطالعات تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان عوامل دونقشی شناخته شده‌اند. در برخی مقالات عواملی مانند کارآموزان در بیماستان، درآمد تحقیق، دانشجویان تحصیلات تکمیلی و سود به عنوان عوامل دو نقشی تعریف شده‌اند [۱۳–۱۵]. همچنین در مدل‌های مقدماتی تحلیل پوششی داده‌ها فرایندها به صورت جعبه سیاه با در نظر گرفتن ورودی اولیه و خروجی نهایی و بدون رسیدگی فرایندهای داخلی در نظر گرفته می‌شوند. اما اکنون در متون موجود در زمینه تحلیل پوششی داده‌ها روش‌های متفاوتی می‌توان یافت که به ارزیابی کارایی فرایندها به صورت ساختار شبکه‌ای می‌پردازند که در آنها هر سیستم کل از چندین فرایند یا مرحله تشکیل شده است. فار و گروسکوف [۱۶] برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را معرفی کردند. پس از آن مدل‌ها و روش‌های متفاوتی برای ارزیابی کارایی سیستم‌ها با ساختارهای متفاوت ارایه شده است. علاقه‌مندان برای مطالعه بیشتر می‌توانند به [۱۷–۲۵] مراجعه نمایند.

واضح است زنجیره‌های تامین ساختاری به صورت شبکه دارند. بالفکیا و همکاران [۲۶] مروری بر سیستم‌های اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تامین از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۵ کردند.

اما روش تحلیل پوششی داده‌ها در ابتدا توسط چن و همکاران [۲۷] (با به‌کارگیری مدل بازی تحلیل پوششی داده‌ها) برای ارزیابی کارایی زنجیره‌های تامین با دو مولفه به‌کار رفت. سپس لیانگ و همکاران [۲۸] مدل‌هایی را به منظور ارزیابی کارایی زنجیره‌های تامین مطرح کردند. تاج‌بخش و حسینی [۲۹] به منظور ارزیابی پایداری در شبکه‌های زنجیره تامین از روش تحلیل‌پوششی‌داده‌ها استفاده کردند. همچنین در [۳۰] مدل‌هایی برای ارزیابی زنجیره‌های تامین و ساختار شبکه‌ای موجود است. با این وجود تاکنون مطالعات کمی درباره ارزیابی کارایی هزینه زنجیره‌های تامین با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها انجام شده

است. لوزانو [۱۲] به تحلیل کارایی هزینه و مقیاس در فرایندهای شبکه‌ای پرداخته است و جریان‌های رو به جلو را در نظر گرفته است. بنی‌هاشم و صانعی [۳۱] روش‌هایی را برای ارزیابی کارایی هزینه، درآمد و سود در زنجیره تامین ارایه کرده‌اند. مدل‌ها تنها عوامل مطلوب و جریان‌های رو به جلو را در نظر می‌گیرند.

بنابراین با توجه به اهمیت مدیریت زنجیره تامین وقتی که جریان‌های رو به جلو و رو به عقب وجود دارند و همچنین تعیین کارایی هزینه در زنجیره‌های تامین، در این بررسی روش‌های مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی کارایی هزینه زنجیره‌های تامین حلقه بسته ارایه می‌شود در حالی که عوامل نامطلوب و همچنین عوامل دو نقشی حضور دارند. در واقع از روش تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی کارایی هزینه زنجیره تامین حلقه بسته با سه مولفه، تامین‌کننده، تولیدکننده و بخش تعمیر و بازیافت استفاده می‌شود در حالی که عوامل نامطلوب و دونقشی در بررسی موجود هستند. در واقع کارایی هزینه هر مولفه و زنجیره تامین کل با روش پیشنهادی ارزیابی می‌شود. در این تحقیق فرض دسترسی‌پذیری ضعیف را برای خروجی‌های نامطلوب در نظر می‌گیریم. به علاوه تنها قیمت‌های ورودی خارجی در نظر گرفته می‌شوند. همچنین هر عامل دو نقشی به صورت عاملی در نظر گرفته می‌شود که بخشی از آن به صورت ورودی و سهمی از آن به صورت خروجی تعیین می‌شود در حالی که هزینه کمینه می‌شود.

سازمان‌دهی بخش‌های مختلف مقاله به صورت زیر است:

در بخش دوم، مروری بر کارایی هزینه و همچنین فرض دسترسی‌پذیری ضعیف برای خروجی‌های نامطلوب می‌شود که در روش پیشنهادی از آن‌ها استفاده خواهد شد. بخش سوم نیز به تشریح مدل ریاضی پیشنهادی به منظور ارزیابی کارایی هزینه زنجیره تامین حلقه بسته در حضور عوامل دو نقشی و خروجی نامطلوب اختصاص داده می‌شود. در بخش چهارم مطالعه‌ی موردی ارایه می‌شود. نهایتاً نتیجه‌گیری و پیشنهادها برای تحقیقات آتی در بخش پنجم آورده می‌شود.

۲. پیشنیازها و مقدمات

در این بخش ابتدا روش مطرح شده توسط تن [۵] برای ارزیابی کارایی هزینه ارایه و سپس فرض دسترسی‌پذیری ضعیف برای خروجی‌های نامطلوب تعریف و تحلیل می‌شود.

کارایی هزینه

n واحد تصمیم‌گیرنده $DMU_j (j = ۱,...,n)$ با m ورودی $x_{ij} (i = ۱,...,m)$ و s خروجی $y_{rj} (r = ۱,...,s)$ را در نظر بگیرید. با در نظر گرفتن هزینه‌های ورودی $c_{ij} (i = ۱,...,m; j = ۱,...,n)$، تن [۵] روش زیر را به منظور ارزیابی کارایی هزینه واحد تحت بررسی o پیشنهاد کرد:

$EC_o^* = \sum_{i=۱}^{m} \overline{x}_i^{o*} / \sum_{i=۱}^{m} \overline{x}_{io}^*$ که $\overline{x}_i^{o*}$ به صورت زیر محاسبه می‌شود و Ω_o^* نشان دهنده‌ی هزینه کمینه واحد o می‌باشد:

$$
\begin{aligned}
&\Omega_o^* = Min \quad \sum_{i=1}^{m} \overline{x}_i^o \\
&s.t. \quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \overline{x}_{ij} \le \overline{x}_i^o, \ i = 1,...,m, \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \ge y_{rjo}, \quad r = 1,...,s \\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \\
&\lambda_j \ge 0.
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

در مدل فوق $\overline{x}_{ij}$ عبارت است از $c_{ij}x_{ij} (i=۱,..m, j=۱,...,n)$. و λ_j متغیر وزنی است. در این روش $۰ < EC_o^* \le ۱$.

فرض دسترسی‌پذیری ضعیف

n واحد تصمیم‌گیرنده $DMU_j (j = ۱,...,n)$ را در نظر بگیرید. فرض کنید $X = (x_۱, x_۲, ..., x_m) \in R_+^m$ بردار ورودی‌ها، $Y = (y_۱, y_۲, ..., y_s) \in R_+^s$ بردار خروجی‌های مطلوب و $B = (b_۱, b_۲, ..., b_k) \in R_+^k$ بردار خروجی‌های نامطلوب باشند. دسترسی پذیری ضعیف خروجی‌ها به این معنا است که یک کاهش در خروجی نامطلوب به همان نسبت کاهش در خروجی مطلوب را نتیجه دهد به طوری که ورودی‌ها معین هستند. به عبارت دیگر با نشان دادن مجموعه امکان تولید با T داریم:

$(X, Y, B) \in T, ۰ \le \theta \le ۱ \Rightarrow (X, \theta Y, \theta B) \in T$

بنابر فرض دسترسی‌پذیری ضعیف برای خروجی‌های نامطلوب و فرض دسترسی‌پذیری قوی برای ورودی‌ها و خروجی‌های مطلوب، مجموعه امکان تولید به صورت زیر تعریف می‌شود:

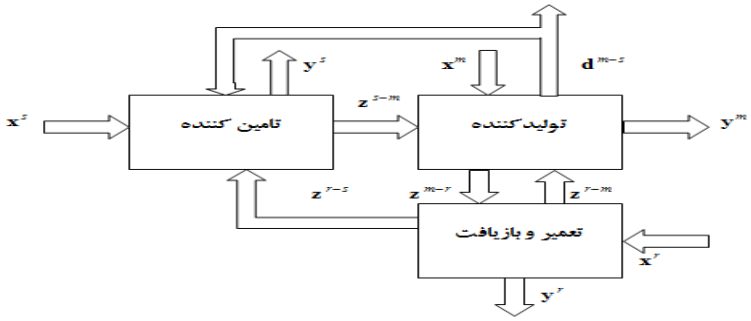
$T = \{(X, Y, B) \mid \sum_{j=۱}^{n} \lambda_j X_j \le X, \sum_{j=۱}^{n} \lambda_j Y_j \ge Y,$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j B_j = B \ , \lambda_j \geq 0, j = 1,\ldots,n \}$$

بنابر[۲۵] وقتی که یک اندازه میانی در یک سیستم دو مرحله‌ای به صورت خروجی نامطلوب مرحله یک و خروجی مطلوب مرحله دو است فرض دسترسی‌پذیری ضعیف مناسب‌تر است. بنابراین در این بررسی فرض دسترسی‌پذیری ضعیف برای خروجی‌های نامطلوب در نظر گرفته می‌شود. همچنین چون کاهش خروجی نامطلوب نهایی در این بررسی بر خروجی‌های مطلوب تاثیر می‌گذارد از این فرض (دسترسی‌پذیری ضعیف) برای خروجی‌های نامطلوب نهایی نیز استفاده می‌شود.

۳. کارایی هزینه زنجیره تامین حلقه بسته با عوامل نامطلوب و دونقشی

در این بخش روش مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها به منظور ارزیابی کارایی هزینه زنجیره‌های تامین حلقه بسته با سه مولفه، تامین‌کننده، تولیدکننده و تعمیر و بازیافت در حضور عوامل نامطلوب و دونقشی ارایه می‌شود. بدین منظور n زنجیره تامین $CLSC_j \ (j=1,\ldots,n)$ با سه مولفه (تامین‌کننده، تولیدکننده و تعمیر و بازیافت) در نظر گرفته می‌شوند. ساختار تحت بررسی در شکل یک نشان داده شده است.



شکل ۱. ساختار یک زنجیره تامین حلقه بسته

به منظور مدل‌بندی روش پیشنهادی، نمادهای زیر را استفاده خواهیم کرد:

تامین کننده

$\mathbf{x}^s$: بردار ورودی تامین‌کننده،

$\mathbf{y}^s$: بردار خروجی مطلوب تامین‌کننده،

تولیدکننده

$\mathbf{x}^m$: بردار ورودی تولیدکننده،

$\mathbf{y}^m$: بردار خروجی مطلوب تولیدکننده،

تعمیر و بازیافت

$\mathbf{x}^r$: بردار ورودی بخش تعمیر و بازیافت،

$\mathbf{y}^r$: بردار خروجی نامطلوب بخش تعمیر و بازیافت،

عوامل میانی بین مولفه‌ها

$\mathbf{z}^{s-m}$: خروجی مطلوب میانی از تامین کننده به تولیدکننده،

$\mathbf{z}^{m-r}$: خروجی نامطلوب میانی از تولیدکننده به بخش تعمیر و بازیافت،

$\mathbf{z}^{r-m}$: خروجی مطلوب میانی از بخش تعمیر و بازیافت به تولیدکننده،

$\mathbf{z}^{r-s}$: خروجی مطلوب میانی از بخش تعمیر و بازیافت به تامین کننده،

$\mathbf{d}^{m-s}$: عوامل دونقشی که بخشی از آن به عنوان خروجی نهایی تولید کننده و بخشی از آن به عنوان ورودی تامین کننده در نظر گرفته می‌شود،

λ_j: متغیرهای وزنی بخش تامین‌کننده،

β_j: متغیرهای وزنی بخش تولیدکننده،

δ_j: متغیرهای وزنی بخش تعمیر و بازیافت،

c_{ij}^s: قیمت‌های ورودی بخش تامین‌کننده،

c_{ij}^m: قیمت‌های ورودی بخش تولیدکننده،

c_{ij}^r: قیمت‌های ورودی بخش تعمیر و بازیافت،

همچنین $\overline{x}_{ij}^s$، $\overline{x}_{ij}^m$ و $\overline{x}_{ij}^r$ به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\overline{x}_{ij}^{s} = c_{ij}^{s} x_{ij}^{s}$$
$$\overline{x}_{ij}^{m} = c_{ij}^{m} x_{ij}^{m}$$
$$\overline{x}_{ij}^{r} = c_{ij}^{r} x_{ij}^{r}$$

α^k: متغیری است که برای نمایش سهم عامل دو نقشی به صورت ورودی بخش تامین‌کننده استفاده می‌شود.

$(1-\alpha^k)$: برای نمایش سهم عامل دو نقشی به صورت خروجی نهایی بخش تولیدکننده به کار می‌رود.

Ω^*: مقدار تابع هدف بهینه به عنوان هزینه کمینه زنجیره تامین است.

توجه نمایید که $CLSC_{jo}$ نشان‌دهنده زنجیره تامین تحت بررسی می‌باشد. همچنین مدل‌ها مبتنی بر فرض بازده به مقیاس متغیر طراحی گردیده‌اند.

با در نظر گرفتن نمادهای فوق، هزینه کمینه زنجیره تامین به طور کلی و هزینه کمینه در هر مولفه‌ی تامین کننده، تولیدکننده و تعمیر و بازیافت به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\Omega^* = Min \quad \sum_{i\in DI^s} \overline{x}_i^{so} + \sum_{i\in DI^m} \overline{x}_i^{mo} + \sum_{i\in DI^{rc}} \overline{x}_i^{ro}$$

$s.t.$ (تامین کننده)

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \overline{x}_{ij}^{s} \le \overline{x}_i^{so},\ i \in DI^s,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^{s} \ge y_{rjo}^{s},\quad r \in DR^s,$$
$$\alpha^k\ (\sum_{j=1}^{n} \lambda_j d_{kj} \le d_{kjo}),\quad k \in DD,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{tj}^{s-m} \ge \tilde{z}_{tjo}^{s-m},\quad t = 1,\dots,T,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{ej}^{r-s} \le \tilde{z}_{ejo}^{r-s},\quad e = 1,\dots,E,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1,$$
$$\lambda_j \ge 0, 0 \le \alpha^k \le 1,$$

(تولیدکننده) (۲)

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j \overline{x}_{ij}^{m} \le \overline{x}_i^{mo},\ i \in DI^m,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j y_{rj}^{m} \ge y_{rjo}^{m},\quad r \in DR^m,$$
$$(1-\alpha^k)\ (\sum_{j=1}^{n} \beta_j d_{kj} \ge d_{kjo}),\quad k \in DD,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{tj}^{s-m} \le \tilde{z}_{tjo}^{s-m},\quad t = 1,\dots,T,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{fj}^{m-r} = \tilde{z}_{fjo}^{m-r},\quad f = 1,\dots,F,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{gj}^{r-m} \le \tilde{z}_{gjo}^{r-m},\quad g = 1,\dots,G,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j = 1,$$
$$\beta_j \ge 0$$

(تعمیر و بازیافت)

$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j \overline{x}_{ij}^{rc} \le \overline{x}_i^{rco},\ i \in DI^{rc},$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j y_{rj}^{rc} = y_{rjo}^{rc},\quad r \in DR^{rc},$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{gj}^{r-m} \ge \tilde{z}_{gjo}^{r-m},\quad g = 1,\dots,G,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{ej}^{r-s} \ge \tilde{z}_{ejo}^{r-s},\quad e = 1,\dots,E,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{fj}^{m-r} = \tilde{z}_{fjo}^{m-r},\quad f = 1,\dots,F,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j = 1,$$
$$\delta_j \ge 0.$$

که در آن DI نشان‌دهنده مجموعه اندیس‌های ورودی، DR نشان‌دهنده مجموعه اندیس‌های خروجی‌ها و DD عبارت است از مجموعه اندیس‌های عوامل دونقشی. واضح است مدل (۲) غیر خطی است. به منظور خطی‌سازی مدل (۲) از تغییر متغیرهای زیر استفاده می‌شود:

$$\alpha^k \lambda_j = \mu_j^k,\ j = 1,\dots,n, k \in DD,\ 0 \le \mu_j^k \le \lambda_j$$
$$\alpha^k \beta_j = \sigma_j^k, k \in DD, j = 1,\dots,n, 0 \le \sigma_j^k \le \beta_j,$$

بنابراین مدل (۲) به صورت مدل خطی زیر بازنویسی می‌شود:

$$\Omega^* = Min \quad \sum_{i\in DI^s} \overline{x}_i^{so} + \sum_{i\in DI^m} \overline{x}_i^{mo} + \sum_{i\in DI^{rc}} \overline{x}_i^{ro}$$

$s.t.$ (تامین کننده)

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \overline{x}_{ij}^{s} \le \overline{x}_i^{so},\ i \in DI^s,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^{s} \ge y_{rjo}^{s},\quad r \in DR^s,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \mu_j^k d_{kj} \le \alpha^k d_{kjo},\quad k \in DD,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{tj}^{s-m} \ge \tilde{z}_{tjo}^{s-m},\quad t = 1,\dots,T,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{ej}^{r-s} \le \tilde{z}_{ejo}^{r-s}, \quad e = 1,\dots,E,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1,$$
$$\lambda_j \ge 0, 0 \le \mu_j^k \le \lambda_j, 0 \le \alpha^k \le 1,$$

(تولیدکننده) (۳)

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j \bar{x}_{ij}^{m} \le \bar{x}_i^{mo}, \quad i \in DI^m,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j y_{rj}^{m} \ge y_{rjo}^{m}, \quad r \in DR^m,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j d_{kj} - \sum_{j=1}^{n} \sigma_j^k d_{kj} \ge (1-\alpha^k) d_{kjo}, \quad k \in DD,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{tj}^{s-m} \le \tilde{z}_{tjo}^{s-m}, \quad t = 1,\dots,T,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{fj}^{m-r} = \tilde{z}_{fjo}^{m-r}, \quad f = 1,\dots,F,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{gj}^{r-m} \le \tilde{z}_{gjo}^{r-m}, \quad g = 1,\dots,G,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j = 1,$$
$$\beta_j \ge 0, 0 \le \sigma_j^k \le \beta_j,$$

(تعمیر و بازیافت)

$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j \bar{x}_{ij}^{rc} \le \bar{x}_i^{rco}, \quad i \in DI^{rc},$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j y_{rj}^{rc} = y_{rjo}^{rc}, \quad r \in DR^{rc},$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{gj}^{r-m} \ge \tilde{z}_{gjo}^{r-m}, \quad g = 1,\dots,G,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{ej}^{r-s} \ge \tilde{z}_{ejo}^{r-s}, \quad e = 1,\dots,E,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{fj}^{m-r} = \tilde{z}_{fjo}^{m-r}, \quad f = 1,\dots,F,$$
$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j = 1,$$
$$\delta_j \ge 0.$$

با در نظر گرفتن هزینه مشاهده شده jo امین زنجیره تامین کلی به صورت $\sum_{i\in DI^s} c_i x_{ijo}^{s} + \sum_{i\in DI^m} c_i x_{ijo}^{m} + \sum_{i\in DI^{rc}} c_i x_{ijo}^{r}$ کارایی هزینه زنجیره تامین کل jo ام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$CEWSC_{jo}^{*} = \frac{\Omega^*}{\sum_{i\in DI^s} c_i x_{ijo}^{s} + \sum_{i\in DI^m} c_i x_{ijo}^{m} + \sum_{i\in DI^{rc}} c_i x_{ijo}^{r}} \quad (۴)$$
$$= \frac{\sum_{i\in DI^s} \bar{x}_i^{*so} + \sum_{i\in DI^m} \bar{x}_i^{*mo} + \sum_{i\in DI^{rc}} \bar{x}_i^{*ro}}{\sum_{i\in DI^s} c_i x_{ijo}^{s} + \sum_{i\in DI^m} c_i x_{ijo}^{m} + \sum_{i\in DI^{rc}} c_i x_{ijo}^{r}}$$

همچنین کارایی هر مولفه به صورت زیر محاسبه می‌شود:

- کارایی هزینه تامین‌کننده:

$$CE_{jo}^{s*} = \frac{\sum_{i\in DI^s} \bar{x}_i^{*so}}{\sum_{i\in DI^s} c_i x_{ijo}^{s}} \quad (۵)$$

- کارایی هزینه تولیدکننده:

$$CE_{jo}^{m*} = \frac{\sum_{i\in DI^m} \bar{x}_i^{*mo}}{\sum_{i\in DI^m} c_i x_{ijo}^{m}} \quad (۶)$$

- کارایی هزینه بخش تعمیر و بازیافت:

$$CE_{jo}^{r*} = \frac{\sum_{i\in DI^{rc}} \bar{x}_i^{*ro}}{\sum_{i\in DI^{rc}} c_i x_{ijo}^{r}} \quad (۷)$$

که $\bar{x}_i^{*so}, \bar{x}_i^{*mo}$ و $\bar{x}_i^{*ro}$ جواب بهینه حاصل از مدل (۳) به ازای jo امین زنجیره تامین می‌باشد. واضح است که

$$0 < CEWSC_{jo}^{*} \le 1,$$
$$0 < CE_{jo}^{s*} \le 1,$$
$$0 < CE_{jo}^{m*} \le 1,$$
$$0 < CE_{oj}^{r*} \le 1.$$

تعریف ۱: زنجیره تامین تحت بررسی (jo) به طور کلی کارای هزینه است اگر و فقط اگر داشته باشیم $CEWSC_{jo}^{*} = 1$. همچنین بخش‌های تامین‌کننده، تولیدکننده و تعمیر و بازیافت کارای هزینه خوانده می‌شوند هرگاه به ترتیب داشته باشیم $CE_{jo}^{s*} = 1$، $CE_{jo}^{m*} = 1$ و $CE_{jo}^{r*} = 1$.

علاوه بر این کارایی هزینه کلی را می‌توان مجموع وزن‌دار کارایی هزینه مولفه‌ها در نظر گرفت. با در نظر گرفتن وزن‌های هر مرحله به صورت نسبت هزینه‌های مشاهده شده آن مرحله به مجموع هزینه‌های کل زنجیره تامین حلقه بسته، کارایی هزینه کل زنجیره تامین را می‌توان به صورت زیر تعریف کرد:

$$CEWSC_{jo}^{*} = w_{jo}^{s} \times CE_{jo}^{s*} + w_{jo}^{m} \times CE_{jo}^{m*} + w_{jo}^{r} \times CE_{jo}^{r*}$$

که w_{jo}^{s}، w_{jo}^{m} و w_{jo}^{r} به ترتیب عبارتند از:

$$w_{jo}^{s}=\frac{\sum_{i\in DI^{s}} c_i x_{ijo}^{s}}{\sum_{i\in DI^{s}} c_i x_{ijo}^{s}+\sum_{i\in DI^{m}} c_i x_{ijo}^{m}+\sum_{i\in DI^{rc}} c_i x_{ijo}^{r}} \quad (۸)$$

$$w_{jo}^{m}=\frac{\sum_{i\in DI^{m}} c_i x_{ijo}^{m}}{\sum_{i\in DI^{s}} c_i x_{ijo}^{s}+\sum_{i\in DI^{m}} c_i x_{ijo}^{m}+\sum_{i\in DI^{rc}} c_i x_{ijo}^{r}} \quad (۹)$$

$$w_{jo}^{r}=\frac{\sum_{i\in DI^{rc}} c_i x_{ijo}^{r}}{\sum_{i\in DI^{s}} c_i x_{ijo}^{s}+\sum_{i\in DI^{m}} c_i x_{ijo}^{m}+\sum_{i\in DI^{rc}} c_i x_{ijo}^{r}} \quad (۱۰)$$

همان طور که پیش از این بیان شد α^k بین صفر و یک است. به عبارت دیگر $0 \le \alpha^k \le 1$. حال به منظور یافتن کمترین مقدار α (با فرض حضور یک شاخص دونقشی) در حالی که کارایی هزینه ثابت و معین است مدل زیر را ارایه می‌دهیم:

$$Min \quad \alpha$$

$$s.t. \quad \text{(تامین کننده)}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \bar{x}_{ij}^{s} \le \bar{x}_{i}^{*so}, \quad i \in DI^{s},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^{s} \ge y_{rjo}^{s}, \quad r \in DR^{s},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \mu_j d_j \le \alpha \, d_{jo},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{tj}^{s-m} \ge \tilde{z}_{tjo}^{s-m}, \quad t = 1,\ldots,T,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j z_{ej}^{r-s} \le \tilde{z}_{ejo}^{r-s}, \quad e = 1,\ldots,E,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1,$$

$$\lambda_j \ge 0, 0 \le \mu_j \le \lambda_j, 0 \le \alpha \le 1,$$

$$\text{(تولیدکننده)} \quad (۱۱)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j \bar{x}_{ij}^{m} \le \bar{x}_{i}^{*mo}, \quad i \in DI^{m},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j y_{rj}^{m} \ge y_{rjo}^{m}, \quad r \in DR^{m},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j d_j - \sum_{j=1}^{n} \sigma_j d_j \ge (1-\alpha) d_{jo},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{tj}^{s-m} \le \tilde{z}_{tjo}^{s-m}, \quad t = 1,\ldots,T,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{fj}^{m-r} = \tilde{z}_{fjo}^{m-r}, \quad f = 1,\ldots,F,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j z_{gj}^{r-m} \le \tilde{z}_{gjo}^{r-m}, \quad g = 1,\ldots,G,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \beta_j = 1,$$

$$\beta_j \ge 0, 0 \le \sigma_j \le \beta_j,$$

(تعمیر و بازیافت)

$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j \bar{x}_{ij}^{rc} \le \bar{x}_{i}^{*rco}, \quad i \in DI^{rc},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j y_{rj}^{rc} = y_{rjo}^{rc}, \quad r \in DR^{rc},$$

$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{gj}^{r-m} \ge \tilde{z}_{gjo}^{r-m}, \quad g = 1,\ldots,G,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{ej}^{r-s} \ge \tilde{z}_{ejo}^{r-s}, \quad e = 1,\ldots,E,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j z_{fj}^{m-r} = \tilde{z}_{fjo}^{m-r}, \quad f = 1,\ldots,F,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \delta_j = 1,$$

$$\delta_j \ge 0.$$

$$\Omega^{*} = \sum_{i\in DI^{s}} \bar{x}_{i}^{*so} + \sum_{i\in DI^{m}} \bar{x}_{i}^{*mo} + \sum_{i\in DI^{rc}} \bar{x}_{i}^{*ro}$$

واضح است مدل فوق برای حالتی استفاده می‌شود که تنها یک عامل دو نقشی حضور دارد. روش فوق را می‌توان برای بیش از یک عامل دونقشی نیز گسترش داد. با استفاده از مدل فوق کمترین مقدار α در حالی یافت می‌شود که کارایی هزینه ثابت و مشخص است. به ازای مقادیر بیشتر از α تخمین زده شده نیز کارایی هزینه معین خواهد بود.

۴. مطالعه موردی

با توجه به اهمیت ارزیابی عملکرد در صنعت لوازم خانگی، در این بخش کارایی هزینه پانزده زنجیره تامین از صنعت لوازم خانگی با سه مولفه تامین کننده، تولیدکننده و تعمیر و بازیافت ارزیابی خواهند شد. در واقع روش مطرح شده در بخش پیش بدین منظور استفاده خواهد شد. عوامل ورودی، خروجی، میانی و دونقشی در این بررسی به صورت زیر هستند:

× ورودی تامین کننده (x^s): تعداد کارمندان یا نیروی کار

× قیمت ورودی تامین کننده (c^s): حقوق متوسط و مزایای جانبی

× خروجی تامین کننده (y^s): میزان فروش

× خروجی میانی از تامین کننده به تولید کننده: حجم محصولات

× ورودی تولید کننده: تعداد کارمندان یا نیروی کار

× قیمت ورودی تولید کننده: حقوق متوسط و مزایای جانبی

× خروجی تولید کننده: میزان فروش

× خروجی میانی از تولیدکننده به بخش تعمیر و بازیافت: تعداد کالاهای معیوب

× خروجی میانی از بخش تعمیر و بازیافت به تولید کننده: کالاهای بازسازی شده و قابل برگشت به بخش تولید کننده

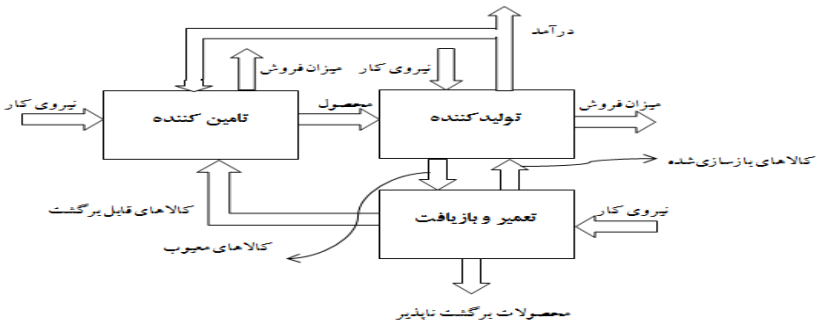
× خروجی میانی از بخش تعمیر و بازیافت به تامین کننده: کالاهای بازسازی شده و قابل برگشت به بخش تامین کننده

× خروجی نامطلوب بخش تعمیر و بازیافت: تعداد محصولات غیرقابل برگشت پذیر

× ورودی بخش تعمیر و بازیافت: تعداد کارمندان یا نیروی کار

× قیمت ورودی بخش تعمیر و بازیافت: حقوق متوسط و مزایای جانبی

× عامل دو نقشی عبارت است از درآمد حاصل از بخش تولیدکننده که بخشی از آن به عنوان خروجی نهایی تولید کننده درنظر گرفته می‌شود و بخشی از آن به عنوان سرمایه‌ای به بخش تامین کننده به منظور درآمدزایی بیشتر فرستاده می‌شود. نمایی از ساختار تحت بررسی در شکل ۲ نشان داده شده است:



شکل ۲. ساختار یک زنجیره تامین از صنعت لوازم خانگی

همچنین داده‌های این بررسی در جدول یک نشان داده شده است. علاوه بر این قیمت‌های ورودی در جدول دو نشان داده شده است. به منظور محاسبه کارایی هزینه، در ابتدا هزینه کمینه زنجیره تامین کل و هر مولفه با استفاده از مدل (۳) ارزیابی می‌شود سپس کارایی هزینه زنجیره تامین کل و هر مولفه با استفاده از (۴)–(۷) محاسبه می‌شوند. نتایج حاصل از بررسی در جدول سه بیان می‌شوند. کارایی هزینه تامین کننده، تولیدکننده و بخش تعمیر و بازیافت به ترتیب در ستون‌های دوم، سوم و چهارم نشان داده می‌شوند. کارایی هزینه کل زنجیره تامین حلقه بسته در ستون پنجم بیان شده است. همان طور که مشاهده می‌شود ۲۰٪ زنجیره‌های تامین در بخش تامین‌کننده کارا (کارای هزینه‌ای) هستند. به علاوه تقریبا ۳۳٪ از زنجیره‌های تامین در دو مولفه تولیدکننده و تعمیر و بازیافت کارای هزینه‌ای هستند. در حالی که این مقدار به ۲۰٪ به ازای زنجیره تامین حلقه بسته کل می‌رسد. مقایسه نتایج نشان می‌دهد سه زنجیره تامین ۱، ۲ و ۷ کاراترین زنجیره‌های تامین هستند که در هر مولفه و به طور کلی کارای هزینه هستند. نتایج کارایی هزینه زنجیره تامین کل و مولفه‌ها را نیز می‌توان در شکل ۳ یافت. همان طور که مشخص است به غیر از پانزدهمین زنجیره تامین کارایی‌های هزینه در بخش تامین کننده نابیشتر از سایر بخش‌ها می باشد. همچنین وزن‌های مولفه‌های تامین‌کننده، تولیدکننده و بخش تعمیر و بازیافت با به کارگیری (۸)–(۱۰) محاسبه می‌شوند. نتایج در ستون‌های ۶–۸ جدول سه مطرح شده است. همان طور که مشاهده می‌شود کارایی هزینه کل زنجیره تامین مجموع وزن‌دار از کارایی هزینه مولفه‌ها است. به عنوان مثال زنجیره تامین هشتم را در نظر بگیرید. کارایی هزینه در سه بخش تامین کننده، تولیدکننده و تعمیر و بازیافت به ترتیب ۰،۶۲، ۰،۷۳ و ۰،۶۸ است. کارایی هزینه کل هشتمین زنجیره تامین ۰،۶۸ است. همچنین وزن‌های مولفه‌های تامین کننده، تولیدکننده و بخش تعمیر وبازیافت عبارت است از ۰،۲۸، ۰،۳۱ و ۰،۴۱. واضح است که

$$0.62\times0.28+0.73\times0.31+0.68\times0.41=0.68.$$

به منظور تعیین سهم عامل دو نقشی درآمد به صورت ورودی و خروجی، مدل (۱۱) به کار می‌رود. در واقع با حل این مدل کمترین مقداری یافت می‌شود که برای تعیین سهم عامل دو نقشی به صورت ورودی به کار می‌رود در حالی که هزینه کمینه زنجیره تامین کل ثابت است. به ازای مقادیر بیشتر از این سهم نیز کارایی هزینه زنجیره تامین کل ثابت خواهد بود. بنابراین بازه‌ای تعریف می‌شود که سهم عامل دو نقشی درآمد به صورت ورودی را نشان می‌دهد. نتایج در ستون نهم جدول ۳ نشان داده می‌شود. با در نظر گرفتن این بازه به صورت عامل تعیین‌کننده سهم عامل دو نقشی درآمد به صورت ورودی به راحتی عامل تعیین‌کننده سهم عامل دونقشی به صورت خروجی نیز تعیین می‌گردد. در مرحله بعد به منظور مقایسه نتایج با مدل‌های متداول، کارایی هزینه هر مولفه را به صورت ساختار جعبه سیاه ارزیابی می‌کنیم در حالی که عامل درآمد تنها به صورت خروجی

مرحله دوم در نظر گرفته می‌شود. نتایج در ستون‌های ۱۰-۱۲ نشان داده شده است. سپس برای محاسبه کارایی هزینه کل زنجیره تامین حلقه بسته همان طور که در ستون ۱۳ بیان شده است از روش میانگین حسابی کارایی هزینه سه مولفه استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد اندازه‌های کارایی هزینه حاصل از مدل پیشنهادی به ازای زنجیره تامین کل و مولفه‌ها نابیشتر از کارایی هزینه به دست آورده شده با در نظر گرفتن هر مولفه به صورت یک سیستم مستقل و محاسبه میانگین برای تخمین کارایی هزینه کل می‌باشد. به نظر می‌رسد محاسبه کارایی هزینه زنجیره تامین با سه مولفه وابسته و عوامل دو نقشی معقول‌تر از محاسبه کارایی هزینه هر مولفه به صورت یک سیستم مستقل و در نظر گرفتن میانگین برای محاسبه کارایی هزینه زنجیره تامین کلی می‌باشد.

جدول ۱. داده‌های زنجیره‌های تامین در صنعت لوازم خانگی

SC	x^s	y^s	d	z^{s-m}	x^m	y^m	z^{m-r}	z^{r-m}	x^r	y^r	z^{r-s}
۱	۵۴	۴۹۰	۱۰۰	۳۸۰	۶۵	۲۲۶	۱۰۲	۴۳	۹۵	۱۲۰	۲۶۰
۲	۶۴	۳۷۰	۳۴۰	۳۷۱	۷۳	۲۳۶	۱۰۶	۲۳	۹۶	۲۸۰	۱۰۰
۳	۴۱	۳۵۰	۴۲۰	۲۵۵	۵۴	۲۰۳	۱۳۰	۳۶	۵۶	۱۳۸	۲۲۸
۴	۶۱	۳۲۷	۳۰۰	۲۶۱	۸۳	۲۳۰	۱۴۳	۲۵	۴۴	۱۴۰	۱۸۹
۵	۶۹	۳۹۰	۲۵۰	۳۶۶	۷۸	۱۹۶	۱۰۳	۴۴	۴۶	۲۳۱	۲۳۶
۶	۶۵	۳۲۹	۱۸۰	۳۰۰	۸۸	۲۸۳	۱۰۰	۹۹	۲۶	۲۷۴	۲۹۲
۷	۴۱	۴۷۰	۲۱۸	۳۲۰	۵۳	۲۸۱	۱۰۳	۱۰۰	۹۸	۱۴۰	۱۶۰
۸	۴۰	۳۳۰	۲۹۸	۱۴۶	۴۳	۱۵۸	۱۱۰	۷۰	۸۴	۱۸۰	۱۰۵
۹	۶۶	۳۸۸	۲۲۸	۱۰۸	۴۶	۱۶۳	۱۹۴	۴۳	۳۱	۲۱۰	۲۳۴
۱۰	۵۷	۳۳۳	۱۶۰	۲۱۵	۸۰	۱۹۰	۱۵۳	۴۷	۷۴	۱۷۱	۳۲۰
۱۱	۴۶	۳۴۲	۱۵۰	۲۵۱	۸۶	۱۸۰	۱۶۰	۶۰	۲۵	۱۸۱	۴۱۰
۱۲	۵۹	۳۵۳	۲۱۰	۲۶۷	۵۶	۲۲۰	۱۲۶	۵۶	۳۸	۲۳۰	۲۸۰
۱۳	۳۳	۳۸۲	۳۵۰	۲۴۰	۷۴	۲۱۳	۱۳۵	۳۵	۵۰	۲۵۰	۲۶۰
۱۴	۶۰	۳۹۰	۴۶۰	۳۱۲	۷۵	۱۹۰	۱۶۰	۶۵	۶۴	۲۷۰	۲۴۵
۱۵	۳۱	۴۰۱	۲۶۰	۳۴۰	۳۲	۲۶۰	۱۲۰	۵۴	۵۷	۱۹۰	۲۲۰

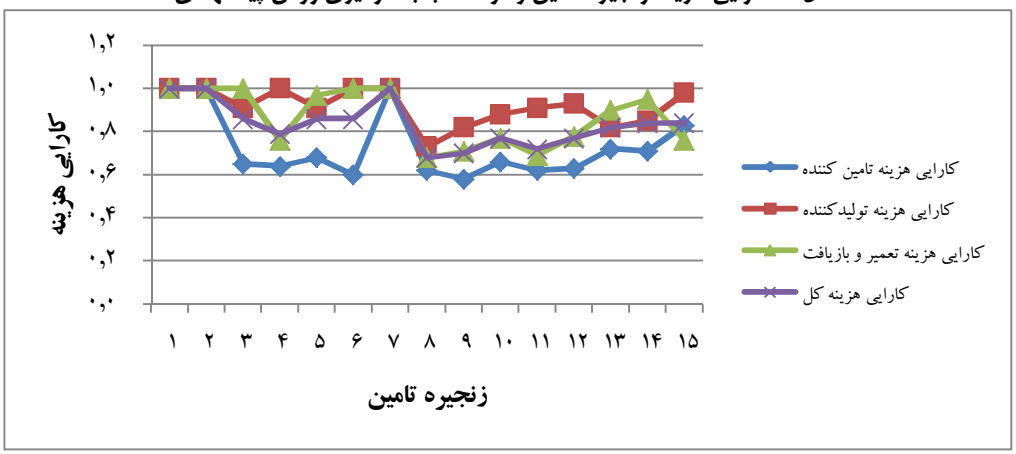
جدول ۲. قیمت‌های ورودی‌های هر مرحله

SC	c^s	c^m	c^r
۱	۳.۶۱	۳.۰۳	۳
۲	۲.۲۸	۲.۰۳	۳
۳	۳.۹۵	۲.۸۳	۳
۴	۲.۷۲	۱.۶۹	۵
۵	۲.۲۶	۱.۸۶	۴
۶	۲.۷۱	۱.۸۲	۷
۷	۲.۵۹	۲.۴۲	۲
۸	۴.۳	۴.۳۷	۳
۹	۲.۷۹	۳.۵۴	۸
۱۰	۲.۸۱	۱.۹۴	۳
۱۱	۳.۷۴	۱.۷۴	۱۰
۱۲	۲.۸۵	۲.۵۵	۶
۱۳	۴.۴۸	۲.۱۶	۴
۱۴	۲.۵	۲.۰۳	۳
۱۵	۴.۱۳	۴.۳۱	۴

جدول ۳. نتایج حاصل از روش پیشنهادی و مقایسه با روش کارایی هزینه به ازای هر مرحله

SC	e^s	e^m	e^r	$e^{overall\ SC}$	w^s	w^m	w^r	α	e^{sid}	e^{mid}	e^{rid}	$e^{average}$
۱	۱	۱	۱	۱	۰.۲۹	۰.۲۹	۰.۴۲	[۰,۱]	۱	۱	۱	۱
۲	۱	۱	۱	۱	۰.۲۵	۰.۲۵	۰.۴۹	[۰,۱]	۱	۱	۱	۱
۳	۰.۶۵	۰.۹۱	۱	۰.۸۶	۰.۳۴	۰.۳۲	۰.۳۵	[۰.۲۹۷,۱]	۰.۶۵	۱	۱	۰.۸۸
۴	۰.۶۴	۱	۰.۷۶	۰.۷۹	۰.۳۲	۰.۲۷	۰.۴۲	[۰.۰۲,۱]	۰.۶۴	۱	۱	۰.۸۸
۵	۰.۶۸	۰.۹۱	۰.۹۷	۰.۸۶	۰.۳۲	۰.۳	۰.۳۸	[۰.۰۱۸,۱]	۰.۹۳	۱	۱	۰.۹۸
۶	۰.۶	۱	۱	۰.۸۶	۰.۳۴	۰.۳۱	۰.۳۵	[۰,۱]	۰.۶	۱	۱	۰.۸۷
۷	۱	۱	۱	۱	۰.۲۵	۰.۳	۰.۴۶	[۰,۱]	۱	۱	۱	۱
۸	۰.۶۲	۰.۷۳	۰.۶۸	۰.۶۸	۰.۲۸	۰.۳۱	۰.۴۱	[۰.۰۸۵,۱]	۰.۸۳	۱	۰.۷۳	۰.۸۵
۹	۰.۵۸	۰.۸۲	۰.۷۱	۰.۷	۰.۳۱	۰.۲۷	۰.۴۲	[۰,۱]	۰.۵۸	۱	۱	۰.۸۶
۱۰	۰.۶۶	۰.۸۸	۰.۷۷	۰.۷۷	۰.۳	۰.۲۹	۰.۴۱	[۰,۱]	۰.۶۶	۰.۹۵	۰.۹۸	۰.۸۶
۱۱	۰.۶۲	۰.۹۱	۰.۶۹	۰.۷۲	۰.۳	۰.۲۶	۰.۴۴	[۰,۱]	۰.۶۲	۰.۹۸	۱	۰.۸۷
۱۲	۰.۶۳	۰.۹۳	۰.۷۸	۰.۷۷	۰.۳۱	۰.۲۷	۰.۴۲	[۰,۱]	۰.۶۳	۰.۹۹	۰.۸۳	۰.۸۲
۱۳	۰.۷۲	۰.۸۲	۰.۹	۰.۸۲	۰.۲۹	۰.۳۱	۰.۳۹	[۰.۳۲۸,۱]	۰.۷۲	۱	۰.۹۳	۰.۸۸
۱۴	۰.۷۱	۰.۸۵	۰.۹۵	۰.۸۴	۰.۳	۰.۳۱	۰.۳۹	[۰.۵۱۲,۱]	۰.۷۱	۱	۱	۰.۹۰
۱۵	۰.۸۳	۰.۹۸	۰.۷۶	۰.۸۴	۰.۲۶	۰.۲۸	۰.۴۶	[۰.۰۰۷,۱]	۰.۹۵	۱	۰.۷۶	۰.۹۰

شکل ۳. کارایی هزینه زنجیره تامین و مولفه‌ها با به‌کارگیری روش پیشنهادی



۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این بررسی کارایی هزینه زنجیره‌های تامین حلقه بسته تحلیل شده است در حالی که عوامل نامطلوب و دونقشی در سیستم تحت ارزیابی حضور دارند. بدین منظور روش غیرپارامتری تحلیل‌پوششی‌داده‌ها به منظور تحلیل عملکرد زنجیره‌های تامین استفاده شده است. در واقع کارایی هزینه هر مولفه از زنجیره تامین و کارایی کلی زنجیره تامین به طور همزمان محاسبه می‌شوند در حالی که در برخی مولفه‌ها عوامل نامطلوب و دو نقشی وجود دارند. فرض دسترسی پذیری ضعیف برای خروجی‌های نامطلوب استفاده شده است. یک مطالعه کاربردی به منظور توضیح و تحلیل روش و نتایج استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در نظر گرفتن عوامل دو نقشی و همچنین عوامل نامطلوب در زنجیره‌های تامین، کارایی هزینه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. همچنین به نظر می‌رسد محاسبه کارایی هزینه زنجیره تامین حلقه بسته به صورت یک سیستم چند مولفه‌ای منطقی‌تر از محاسبه کارایی هر مولفه از زنجیره تامین به صورت یک بخش مستقل باشد.

انتظار می‌رود مدل‌های فوق را بتوان برای ارزیابی کارایی درآمد و سود نیز بسط و تعمیم داد. علاوه بر این در نظر گرفتن قیمت نامعین ورودی در ارزیابی کارایی هزینه زنجیره تامین حلقه بسته موضوع جالبی برای تحقیقات آتی می‌باشد.

فهرست منابع

1. S. Seuring, M. Goldbach, Cost management in supply chains, Springer Science & Business Media2013.

2. A. Charnes, W.W. Cooper, E. Rhodes, Measuring the efficiency of decision making units, European Journal of Operational Research 2(6) (1978) 429-444.

3. M.J. Farrell, The Measurement of Productive Efficiency, Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General) 120(3) (1957) 253-290.

4. R. Färe, S. Grosskopf, C.K. Lovell, The measurement of efficiency of production, Springer Science & Business Media2013.

5. K. Tone, A strange case of the cost and allocative efficiencies in DEA, Journal of the Operational Research Society 53(11) (2002) 1225-1231.

6. A. Amirteimoori, S. Kordrostami, A. Rezaitabar, An improvement to the cost efficiency interval: A DEA-based approach, Applied Mathematics and Computation 181(1) (2006) 775-781.

7. G.R. Jahanshahloo, M. Soleimani-damaneh, A. Mostafaee, A simplified version of the DEA cost efficiency model, European Journal of Operational Research 184(2) (2008) 814-815.

8. B.K. Sahoo, M. Mehdiloozad, K. Tone, Cost, revenue and profit efficiency measurement in DEA: A directional distance function approach, European Journal of Operational Research 237(3) (2014) 921-931.

9. M. Toloo, A cost efficiency approach for strategic vendor selection problem under certain input prices assumption, Measurement 85 (2016) 175-183.

10. A.S. Camanho, R.G. Dyson, Cost efficiency measurement with price uncertainty: a DEA application to bank branch assessments, European Journal of Operational Research 161(2) (2005) 432-446.

11. A.S. Camanho, R.G. Dyson, A generalisation of the Farrell cost efficiency measure applicable to non-fully competitive settings, Omega 36(1) (2008) 147-162.

12. S. Lozano, Scale and cost efficiency analysis of networks of processes, Expert Systems with Applications 38(6) (2011) 6612-6617.

13. W.D. Cook, R.H. Green, J. Zhu, Dual-role factors in data envelopment analysis, IIE Transactions 38(2) (2006) 105-115.

14. L. Liang, Z.-Q. Li, W.D. Cook, J. Zhu, Data envelopment analysis efficiency in two-stage networks with feedback, IIE Transactions 43(5) (2011) 309-322.

15. W.-C. Chen, Revisiting dual-role factors in data envelopment analysis: derivation and implications, IIE Transactions 46(7) (2014) 653-663.

16. R. Fare, S. Grosskopf, Network DEA, Socio-Economic Planning Sciences 34(1) (2000) 35-49.

17. W.D. Cook, J. Zhu, Data envelopment analysis: A handbook of modeling internal structure and network, Springer2014.

18. C. Guo, R. Abbasi Shureshjani, A.A. Foroughi, J. Zhu, Decomposition weights and overall efficiency in two-stage additive network DEA, European Journal of Operational Research 257(3) (2017) 896-906.

19. H. Li, C. Chen, W.D. Cook, J. Zhang, J. Zhu, Two-stage network DEA: Who is the leader?, Omega.

20. S.M. Mirdehghan, H. Fukuyama, Pareto–Koopmans efficiency and network DEA, Omega 61 (2016) 78-88.

21. J. Wu, P. Yin, J. Sun, J. Chu, L. Liang, Evaluating the environmental efficiency of a two-stage system with undesired outputs by a DEA approach :An interest preference perspective, European Journal of Operational Research 254(3) (2016) 1047-1062.

22. J. Wu, Q. Zhu, X. Ji, J. Chu, L. Liang, Two-stage network processes with shared resources and resources recovered from undesirable outputs, European Journal of Operational Research 251(1) (2016) 182-197.

23. Q. An, H. Chen, J. Wu, L. Liang, Measuring slacks-based efficiency for commercial banks in China by using a two-stage DEA model with undesirable output, Annals of Operations Research 235(1) (2015) 13-35.

24. J. Wu, Q. Zhu, J. Chu, L. Liang, Two-Stage Network Structures with Undesirable Intermediate Outputs Reused: A DEA Based Approach, Computational Economics 46(3) (2015) 455-477.

25. W. Liu, Z. Zhou, C. Ma, D. Liu, W. Shen, Two-stage DEA models with undesirable input-intermediate-outputs, Omega 56 (2015) 74-87.

26. H. Balfaqih, Z.M. Nopiah, N. Saibani, M.T. Al-Nory, Review of supply chain performance measurement systems: 1998–2015, Computers in Industry 82 (2016) 135-150.

27. Y. Chen, L. Liang, F. Yang, A DEA game model approach to supply chain efficiency, Annals of Operations Research 145(1) (2006) 5-13.

28. L. Liang, F. Yang, W.D. Cook, J. Zhu, DEA models for supply chain efficiency evaluation, Annals of Operations Research 145(1) (2006) 35-49.

29. A. Tajbakhsh, E. Hassini, A data envelopment analysis approach to evaluate sustainability in supply chain networks, Journal of Cleaner Production 105 (2015) 74-85.

30. J. Zhu, Quantitative models for performance evaluation and benchmarking : data envelopment analysis with spreadsheets, Springer2014.

31. S. Banihashem, M. Sanei, Z.M. Manesh, Cost, revenue and profit efficiency in supply chain, African Journal of Business Management 7(41) (2013) 4280-4287.