فصلنامه مدلسازی اقتصادی (سال چهاردهم، شماره ۳ «پیاپی ۵۱» پاییز ۱۳۹۹، صفحه‌های ۹۸-۷۳)

کارایی زنجیره تأمین چهار مرحله‌ای در حضور عوامل غیرقابل کنترل، نامطلوب و منفی با استفاده از مدل SBM در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای[۱]

مهدی شجاع[*]، فرهاد حسین‌زاده لطفی[**]، امیر غلام ابری[+]، علیرضا رشیدی کمیجان[×]

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۱٤ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۸/۱٤

چکیده

هدف این مقاله ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین چهار مرحله‌ای در حضور داده‌های غیرقابل کنترل، نامطلوب و منفی، در صنعت سیمان است. برای این منظور، مدل(Slack-Based Measure (SBM در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارائه شده تا عملکرد این گونه زنجیره‌ها را مورد ارزیابی قرار دهد. در ادامه، ٤۲ شرکت سیمان حاضر در بورس و اوراق بهادار که زنجیرهٔ متناظر هر یک از آن‌ها دارای چهار مرحله‌ی تأمین کننده، تولیدکننده، توزیع کننده و مشتری می‌باشد، طی دوره ۱۳۹٦-۱۳۹٤ مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس اجرای مدل، ۵ شرکت در سه سال متوالی کارا و نمره کارایی مابقی آن‌ها در همه سال‌ها یا برخی از سال‌ها کمتر از ۱ شده است.

طبقه‌بندی JEL: E23, D24, C60

واژگان کلیدی: کارایی زنجیره تأمین، صنعت سیمان، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، عوامل غیرقابل کنترل، خروجی نامطلوب.

---

[۱] مقاله مستخرج از رساله دکتری مهدی شجاع به راهنمایی دکتر فرهاد حسین‌زاده لطفی و دکتر امیر غلام‌ابری و مشاوره دکتر علیرضا رشیدی کمیجان در دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد رودهن می‌باشد.

[*] دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رودهن، رودهن، ایران، پست الکترونیکی: mmsh.bim@gmail.com

[**] استاد گروه ریاضی کاربردی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران، پست الکترونیکی: farhad@hosseinzadeh.ir

[+] دانشیار گروه ریاضی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: amirgholamabri@gmail.com

[×] دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد فیروزکوه، فیروزکوه، ایران، پست الکترونیکی: rashidi@azad.ac.ir

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر در خصوص ارزیابی عملکرد و تعیین میزان بهره‌وری سازمان‌ها توجه خاصی صورت گرفته و کاربردهای مختلف زنجیره تأمین نیز مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفته است. زنجیره تأمین شبکه‌ای شامل چهار بخش تأمین کننده، تولید کننده، توزیع کننده و مشتری از نظر اندازه و پیچیدگی با یک زنجیره ساده که نشان دهنده تصمیم‌گیری مستقل می‌باشد، متفاوت است. رفتارها و تعاملات آن‌ها نیز باهم فرق می‌کنند. بنابراین سنجش عملکرد زنجیرهٔ تأمین چهار بخشی باید طوری طراحی شود تا ویژگی‌های شبکه‌ای این زنجیره و تعاملات آن مد نظر قرار گیرد. به‌طور کلی هرچه زنجیرهٔ تأمین بزرگتر و پیچیده‌تر باشد، ارزیابی آن مشکل‌تر و چالش برانگیزتر خواهد بود.

در بین روش‌های ارزیابی، تحلیل پوششی داده‌ها[1](DEA) به طور گسترده در ارزیابی عملکرد نسبی مجموعه‌ای از فرآیندهای تولید به نام واحدهای تصمیم گیرنده[2]، استفاده می‌شود. این روش غیر پارامتریک با ارائه مدل‌های مختلف قادر است واحدهای تصمیم گیرنده‌ای که با مصرف چندین ورودی، چندین خروجی تولید می‌نمایند را ارزیابی نماید. مدل‌های کلاسیک DEA، هیچ نظریه‌ای در ارتباط با فعالیت داخلی زنجیره تأمین (واحدهای تصمیم گیرنده) نداشته و آن‌ها را به عنوان یک جعبه سیاه[3] درنظر می‌گیرند به‌طوریکه ورودی‌های اولیه مصرف شده و خروجی‌های نهایی تولید شده آن‌ها را جهت محاسبه کارایی مد نظر قرار می‌دهند. اینکه فعالیت‌ها و محصولات میانی زنجیره تأمین درنظر گرفته نمی‌شود، مناسب فرآیند تولید ساده بوده و در سیستم شبکه‌ای پیچیده کاربرد لازم راندارد. در این پژوهش ارزیابی زنجیره تأمین شبکه‌ای در حضور ورودی‌ها و خروجی‌های غیرقابل کنترل، خروجی‌های نامطلوب و منفی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

برای تشخیص ناکارایی و علل آن در بخش‌های میانی، محققین زیادی تلاش کردند مدل جعبه سیاه را رد کنند و ساختار درونی زنجیره تأمین را در مدل‌های DEA، در نظر بگیرند. این مدل‌ها در ادبیات تحلیل پوششی داده‌ها، DEA شبکه‌ای نامیده می‌شوند. زنجیره تأمین یکی از مهمترین و کاربردی‌ترین حالت‌های DEA شبکه‌ای می‌باشد. تهیهٔ برنامه‌ریزی شدهٔ مواد اولیه،

[1] Data Envelopment Analysis(DEA)
[2] Decision Making Units(DMU)
[3] Black Box

طراحی و تولید محصولات مناسب، توزیع و حمل و نقل بهینهٔ آن‌ها و درنهایت ارائه خـدمات به مشتریان و رضایت آن‌ها در قالب مدیریت زنجیره تأمین، مورد توجه بسیاری قـرار دارد. در مدیریت زنجیره تأمین، کلیه اندازه‌گیری کارایی‌ها به دنبـال دو هـدف نهـایی کـاهش هزینـه و افزایش سود می‌باشد.

ادامه این مقاله شامل بخش‌های : مروری بر ادبیات، ارائه مدلی مناسب در حضـور شـاخص-های غیرقابل کنترل، نامطلوب و منفی و همچنین برآورد مدل با ارائه مثالی کـاربردی در زمینـه صنعت سیمان با ساختار مدل پیشنهاد شده، می‌باشد و در نهایت نتایج مـورد بحـث و بررسـی قرار می‌گیرد.

۲. مروری بر ادبیات

۲-۱ مفاهیم پایه

- **مدل SBM**

n واحد تصمیم گیرنده $DMU_1, DMU_2, ...DMU_n$ را درنظر بگیرید که DMU_j به ترتیب بردارهای ورودی و خروجی $X_j = (x_{1j}, ..., x_{mj})^t, Y_j = (y_{1j}, ..., y_{sj})^t$ است و $X_j \geq ۰, X_j \neq ۰$ و $Y_j \geq ۰, Y_j \neq ۰$. برای تخمین زدن کارایی واحد DMU_o، با ورودی X_o و خروجی Y_o، مدل زیر را برحسب متغیرهای $\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_n$ و $\bar{s}_1, \bar{s}_2, ..., \bar{s}_m$ و $\overset{+}{s}_1, \overset{+}{s}_2, ..., \overset{+}{s}_s$ در نظر بگیرید که به آن مدل SBM گویند.

$$Min\, P = \frac{1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} \frac{\bar{s}_i}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s} \frac{\overset{+}{s}_r}{y_{ro}}} \qquad (۱)$$

$$S.t$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij} + \bar{s}_i = x_{io} \qquad ,i = 1, 2, ..., m$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - \overset{+}{s}_r = y_{ro} \qquad ,r = 1, 2, ..., s$$

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

$$\lambda_j \geq 0 \qquad ,j=1,2,...,n$$

$$\bar{s}_i \geq 0 \qquad ,i=1,2,...,m$$

$$\overset{+}{s}_r \geq 0 \qquad ,r=1,2,...,s$$

در مدل (۱) فرض بر این است که $X_o \geq ۰$ و $Y_o \geq ۰$. اگر $x_{io} = ۰$، در این صورت جمله $\frac{\bar{s}_i}{x_{io}}$ از تابع هدف حذف می‌گردد.

ثابت می‌شود که تابع هدف P، در مقابل تغییر واحد پایدار می‌باشد یعنی با هر واحدی که ورودی‌ها یا خروجی‌ها اندازه‌گیری شوند، کارایی تغییر نمی‌کند. به عبارت دیگر اگر به جای X_{ij}ها، $\alpha_i X_{ij}$ و به جای y_{rj}ها، $\beta_r y_{rj}$ که: $\beta_r > ۰, \alpha_i > ۰$ قرار داده شود، مقدار P تغییر نمی‌کند. واضح است که اگر در جواب بهینه مدل (۱)، مقدار تمامی متغیرهای کمکی برابر صفر باشند، در این صورت $P = ۱$.

تعریف ۱ : اگر به ازای جواب بهینه مدل (۱)، $P = ۱$ آنگاه DMU_o پاراتوکارا یا کارای قوی می‌باشد.

مدل (۱) غیر خطی است. با تغییر متغیر $1+\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{\overset{+}{s}_r}{y_{ro}} = \frac{1}{t}$ این مدل به مسأله برنامه‌ریزی خطی زیر تبدیل می‌گردد.

$$Min\, z = t - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{t\,\bar{s}_i}{x_{io}}$$

$$S.t$$

$$t + \frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{t\,\overset{+}{s}_r}{y_{ro}} = 1 \qquad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} + \bar{s}_i = x_{io} \qquad ,i=1,2,...,m$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} - \overset{+}{s}_r = y_{ro} \qquad ,r=1,2,...,s$$

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

$$\lambda_j \geq 0 \qquad , j = 1,2,...,n$$

$$\bar{s}_i \geq 0 \qquad , i = 1,2,...,m$$

$$\overset{+}{s}_r \geq 0 \qquad , r = 1,2,...,s$$

$$t > 0$$

با قرار دادن $\delta_j = t\lambda_j \; , j = ۱,۲,...,n$ و $\bar{S}_i = t\bar{S}_i \; , i = ۱,۲,...,m$ و $\overset{+}{S}_r = t\overset{+}{S}_r \; , r = ۱,۲,...,s$ ، مساله (۲) به مساله برنامه‌ریزی خطی زیر تبدیل خواهد شد.

$$Min\, z = t - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{\bar{s}_i}{x_{io}}$$

$$S.t$$

$$t + \frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{\overset{+}{s}_r}{y_{ro}} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{n}\delta_j x_{ij} + \bar{s}_i = tx_{io} \qquad , i = 1,2,...,m$$

$$\sum_{j=1}^{n}\delta_j y_{rj} - \overset{+}{s}_r = ty_{ro} \qquad , r = 1,2,...,s \qquad (۳)$$

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

$$\delta_j \geq 0 \qquad , j = 1,2,...,n$$

$$\bar{s}_i \geq 0 \qquad , i = 1,2,...,m$$

$$\overset{+}{s}_r \geq 0 \qquad , r = 1,2,...,s$$

$$t > 0$$

در مساله برنامه‌ریزی خطی (۳) معنی $t > ۰$ آن است که تبدیل قابل برگشت می‌باشد بنابراین اگر $(t^*, \delta_1^*, ..., \delta_n^*, \bar{s}_1^*, ..., \bar{s}_m^*, \overset{+}{s}_1^*, ..., \bar{s}_s^*)$ جواب بهینه مدل (۳) با مقدار تابع هدف Z^* باشد آنگاه

$\lambda_j^* = \frac{\delta_j^*}{t^*}, j = ۱,۲,...,n$ و $\bar{S}_i^* = \frac{\bar{S}_i^*}{t^*}, i = ۱,۲,...,m$ و $\overset{+}{S}_r^* = \frac{\overset{+}{S}_r^*}{t^*}, r = ۱,۲,...,s$ جواب بهینه مدل (۱) با مقدار تابع هدف P^* خواهد بود.

تعریف ۲: DMU_o ، SBM کارا است اگر و فقط اگر $P^* = Z^* = ۱$

بیان تعریف فوق آن است که DMU_o کارا است اگر هیچ ورودی را هدر ندهد و هیچ کمبودی در خروجی نداشته باشد. یعنی به ازای هر جواب بهینه مساله (۳) داشته باشیم $\bar{S}_i^* = ۰, i = ۱,۲,...,m$ و $\overset{+}{S}_r^* = ۰, r = ۱,۲,...,s$.

تعریف ۳: فرض کنید (X,Y) بردار ورودی و خروجی یک DMU دلخواه باشد. (X',Y') را انتقال یافته این واحد نسبت به مقادیر ثابت $\alpha_i, i = ۱,۲,...,m$ و $\beta_r, r = ۱,۲,...,s$ گوییم هرگاه:

$$x'_{ij} = x_{ij} + \alpha_i \quad , i = ۱,۲,...,m \ , j = ۱,۲,...,n$$
$$y'_{ij} = y_{ij} + \beta_r \quad , r = ۱,۲,...,s \ , j = ۱,۲,...,n$$

تعریف ٤: یک مدل DEA نسبت به انتقال پایا نامیده می‌شود هرگاه با انتقال ورودی‌ها یا خروجی‌های DMUها مقدار کارایی آن‌ها (مقدار تابع هدف)تغییر نکند.

اگر بعضی از خروجی‌های واحدهای تصمیم گیری منفی باشند، قرار می‌دهیم :

$$\bar{Y}_r = \underset{۱\le j\le n}{Max}\{Y_{rj}\} - \underset{۱\le j\le n}{Min}\{Y_{rj}\} \quad , r = ۱,۲,...,s$$

در این صورت مدل (۱) به مدل زیر تبدیل می‌شود.

$$Min\ P = \frac{1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{\bar{s}_i}{x_{io}}}{1 + \frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{\overset{+}{s}_r}{\bar{y}_r}} \qquad (٤)$$

$$S.t$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij} + \bar{s}_i = x_{io} \qquad , i = 1,2,...,m$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} - \overset{+}{s}_r = y_{ro} \qquad ,r=1,2,...,s$$

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

$$\lambda_j \geq 0 \qquad ,j=1,2,...,n$$

$$\overset{-}{s}_i \geq 0 \qquad ,i=1,2,...,m$$

$$\overset{+}{s}_r \geq 0 \qquad ,r=1,2,...,s$$

در صورت برابر بودن خروجی r‌ام همه DMU‌ها، قرار می‌دهیم:

$$\bar{Y}_r = \text{Max}\{Y_{rj}\} - \text{Min}\{Y_{rj}\} + \beta \quad ;0<\beta\leq 1$$

قضیه ۱: مدل (٤) نسبت به انتقال خروجی‌ها پایا است.

برهان: بدیهی است.

قضیه فوق بیانگر آن است که اگر در مدل (٤) خروجی‌ها انتقال یابند مقدار تابع هدف آن یا نمره کارایی به دست آمده، تغییر نمی‌یابد.

این مدل نیز مانند مدل (۱) خطی می‌گردد.

$$Min\, z = t - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{\overset{-}{s}_i}{x_{io}}$$

$$S.t$$

$$t + \frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{\overset{+}{s}_r}{\bar{y}_{ro}} = 1$$

$$\sum_{j=1}^{n}\delta_j x_{ij} + \overset{-}{s}_i = t x_{io} \qquad ,i=1,2,...,m \qquad (۵)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\delta_j y_{rj} - \overset{+}{s}_r = t y_{ro} \qquad ,r=1,2,...,s$$

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

$$\delta_j \geq 0 \qquad ,j=1,2,...,n$$

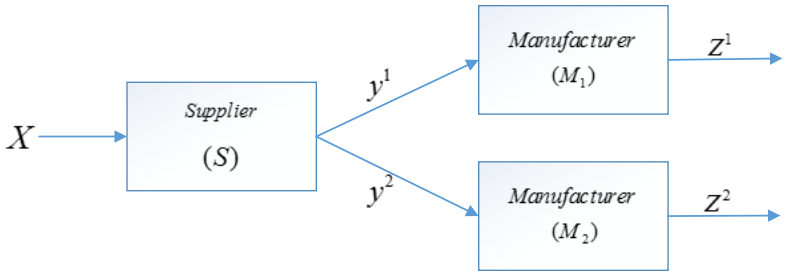
$$\overset{-}{s}_i \geq 0 \qquad ,i=1,2,...,m$$

$$\overset{+}{s}_r \geq 0 \qquad ,r=1,2,...,s$$

$t > 0$

- **مدل کنترل متمرکز**

مدل کنترل متمرکز توسط چن و یان در سال ۲۰۱۱ برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین دو مرحله‌ای ارائه گردید. آن‌ها برای سادگی، یک زنجیره تأمین کننده – تولیدکننده، مانند شکل (۱)را درنظر گرفتند.



شکل ۱. زنجیره تأمین دو مرحله‌ای

که در آن S تأمین کننده و M_1 و M_2 به ترتیب تولید کننده اول و دوم را نشان می‌دهد. $X=(x_1,...,x_m)$ بردار ورودی تأمین کنندهٔ S می‌باشد و $Y^1=(y_1^1,...,y_k^1)$ و $Y^2=(y_1^2,...,y_k^2)$ بردارهای خروجی آن هستند که همچنین بردارهای ورودی تولیدکنندگان M_1, M_2 نیز خواهند بود. $Z^1=(z_1^1,...,z_s^1)$ و $Z^2=(z_1^2,...,z_s^2)$ بردار خروجی متناظر تولیدکنندگان به ترتیب M_1, M_2 می‌باشند.

فرض کنید $DMU_1, DMU_2,...DMU_n$ واحدهای تصمیم گیرنده متناظر به ترتیب زنجیره اول، ... ، زنجیره nام، باشند. مدل ارائه شده توسط چن و یان برای محاسبهٔ کارایی کل زنجیرهٔ متناظر DMU_o با فرض بازده به مقیاس ثابت به صورت زیر می‌باشد.

$$
\begin{aligned}
&Min: \quad \theta, \\
&s.t: \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad (6)\\
&\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 x_{ij} \le \theta x_{io}, \qquad\qquad i=1,2,...,m,
\end{aligned}
$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 y_{tj}^1 \geq \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 y_{cj}^1, \qquad t=1,2,...,k,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 y_{t'j}^2 \geq \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 y_{c'j}^2, \qquad t'=1,2,...,k',$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 Z_{rj}^1 \geq Z_{ro}^1, \qquad r=1,2,...,s,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 Z_{r'j}^2 \geq Z_{r'o}^2, \qquad r'=1,2,...,s'$$

$$\lambda_j^1,\lambda_j^2,\lambda_j^3 \geq 0, \qquad j=1,2,...n.$$

بحث اصلی مدل (٤)، نحوه ارزیابی زنجیره تأمین با درنظر گرفتن تولیدات میانی در مدل‌های DEA می‌باشد. با استفاده از مدل فوق، زنجیرهٔ تأمین تحت ارزیابی کارا است اگر و فقط اگر $\theta^* = ۱$.

۲-۲ پیشینه تحقیق

در زمینه تحلیل پوششی داده‌ها با ساختار شبکه‌ای، تحقیقات زیادی انجام شده که در تمامی آن‌ها سعی شده حالت‌های مختلفی از یک شبکه را مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند. به منظور اندازه‌گیری مناسب جهت محاسبه کارایی زنجیره تأمین، لازم است هم خواص شبکه‌ای زنجیره درنظر گرفته شود و هم روابط بین "تأمین کننده"، "تولید کننده"، "توزیع کننده" و "مشتری"نیز لحاظ گردد. درنظر گرفتن این ملاحظات موجب گردید که سارانجا و موزر (۲۰۱۰) و چن و یان (۲۰۱۱)، مدل‌های مختلفی با ساختارهای متفاوت زنجیره تأمین ارائه دهند.

ژو و همکاران (۲۰۰۹) عملکرد زنجیره تامین صنایع تولید مبلمان در جنوب غربی چین را با ارئه مدلی از تحلیل پوششی داده‌های تقریبی ارزیابی کردند. آن‌ها عوامل اصلی عدم قطعیت را که بر روند ارزیابی تأثیر می‌گذارد، شناسایی و سپس آن‌ها را با استفاده از مدل های تحلیل پوششی داده‌های تقریبی[1] (RDEA) مدل سازی و آنالیز نمودند.

[1] Rough Data Envelopment Analysis

آزاده و عالم(۲۰۱۰) سه نوع مدل جهت انتخاب تأمین کننده در زنجیره تـأمین را در شـرایط قطعی، غیرقطعی و احتمالی ارائه دادند. این مدل‌ها، به تحلیل پوششی داده‌هـا (DEA)، تحلیـل پوششی داده‌های فازی[1] (FDEA) و محدودیت شانس درتحلیل پوششی داده هـا[2] (CCDEA) معروفند.

بدیع‌زاده و همکاران(۲۰۱۷) زنجیره تأمین را در حضـور داده‌هـای بـزرگ[3] و خروجـی‌هـای نامطلوب، مورد بحث و بررسی قرار دادند.

بوداغی و فرضی‌پور سائن(۲۰۱۸) برای پیش‌بینی عضویت گروهی تامین کنندگان در زنجیـره تامین پایدار، مدلی تلفیقـی از تحلیـل پوششـی داده هـا و تحلیـل ممیـز[4] (DEA-DA)، ارائـه که مدل ارائه شده، عضویت گروهی تامین کنندگان را با توجه به ماهیت عوامل، مانند ورودی-ها، خروجی‌ها و کارایی هر تامین کننده پیش بینی می‌نمود.

ایزدی‌خواه و فرضی‌پور سائن(۲۰۱٦) پایداری زنجیره‌های تأمین در حضور داده های منفی را با ارائه مدل دو مرحله ای، مورد ارزیابی قرار دادند.

ایزدی‌خواه و همکاران (۲۰۱۷) با توسعهٔ مدل‌های مرسوم DEA، روشی برای ارزیابی پایداری تامین کنندگان در حضور داده های بازه‌ای و فازی ارائه نمودند.

کلانتری و فرضی‌پور سائن (۲۰۱۸) پایداری زنجیره‌های تـأمین را بـا مـدلی از DEAپویـای شبکه‌ای معکوس، مورد ارزیابی قرار دادند.

خداکرمی و همکاران(۲۰۱۵) پایداری مدیریت زنجیره تأمین ۲۷ شرکت ایرانی را بـر اسـاس توسعه مدل دو مرحله‌ای، بررسی نمودند.

میرهدایتیان و همکاران (۲۰۱٤) مدیریت زنجیـره تـامین سـبز[5] را در حضـور خروجـی‌هـای نامطلوب و داده‌های فازی ارزیابی کردند.

شفیعی و همکاران(۲۰۱٤) ترکیبی از DEA شبکه‌ای و روش کـارت امتیـازی متـوازن[6] را در ارزیـابی زنجیـره تـأمین بـه کـار بردنـد. در ایـن روش، ابتـدا ترکیـب روش کـارت امتیـازی

[1] Fuzzy data Envelopment Analysis (FDEA)
[2] Chance Constrained Data Envelopment Analysis (CCDEA)
[3] Big Data
[4] Discriminant Analysis
[5] Green Supply Chain Management(GSCM)
[6] Balance Score Card (BSC)

متوازن(BSC) و روش دی‌متل[1] برای ساختار شبکه‌ای استفاده گردید. سپس ساختار این شبکه، در قالب DEA شبکه‌ای بیان و ارزیابی در این ساختار انجام گرفت.

تاج‌بخش و حصینی(۲۰۱۵) روشی برای ارزیابی پایداری شبکه‌های زنجیره تأمین ارائه دادند. و بر ۳ موضوع: به حداکثر رساندن بازده اقتصادی، به حداقل رساندن اثرات محیطی و دستیابی به انتظارات اجتماعی، تمرکز نمودند.

توانا و همکاران (۲۰۱۳) با ارائه مدل اپسیلون محور شبکه‌ای[2]، عملکرد زنجیره تامین را ارزیابی نمودند و تغییرات همزمان در ورودی‌ها و خروجی‌ها در شبکه را به‌صورت شعاعی و غیرشعاعی (ترکیبی)، مورد تأکید قرار دادند.

توانا و همکاران(۲۰۱٦) یک روش دو مرحله‌ای جهت ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سه بخشی شامل تهیه کننده، تولید کننده و توزیع کننده، ارائه نمودند.

توسلی و فرضی‌پور سائن(۲۰۱۹) پیش بینی عضویت در گروه تأمین‌کنندگان پایدار را از طریق DEA و تحلیل ممیز مورد ارزیابی قرار دادند.

اولین تحقیق در خصوص خروجی نامطلوب در تحلیل پوششی داده‌ها، توسط لیو و شارپ در سال ۱۹۹۹ انجام گرفت، آن ها خروجی نامطلوب را به عنوان ورودی در نظر گرفتند. هر واحد تصمیم گیرنده سعی می‌کند کارایی خود را با مینیمم نمودن ورودی‌های مطلوب و خروجی‌های نامطلوب در حالی‌که خروجی‌های مطلوب و ورودی‌های نامطلوب را ماکزیمم کند افزایش دهد.

نکته مهمی که وجود دارد این است که در بعضی مواقع، تغییرات در برخی ورودی‌ها و خروجی‌های زنجیرهٔ تأمین، کاملا و یا درصدی از آن در اختیار مدیر نمی‌باشد که به این شاخص‌ها، عوامل غیرقابل کنترل یا درصدی کنترل‌پذیر گویند. به‌علاوه در برخی مواقع ممکن است در فعالیت‌های میانی زنجیره تأمین، علاوه بر عوامل غیرقابل کنترل، شاخص‌های نامطلوب و منفی هم وجود داشته باشد. مواجهه با این شاخص‌ها در مدل‌های کلاسیک DEA، مطرح گردیده ولی در مطالعاتی که تاکنون در رابطه با زنجیره تأمین انجام شده، در خصوص

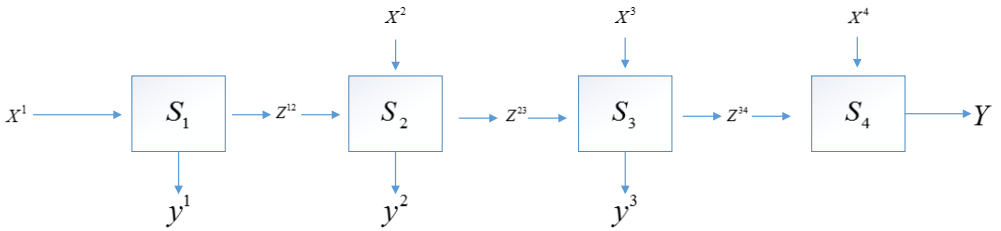
[1] De Matel
[2] Network Epsilon – Based Measure (NEBM)

آن‌ها کمتر بحث شده است. در این مقاله، محقق سعی براین دارد که در زنجیره تأمین کامل، این شرایط را نیز بررسی نماید.

۳. روش تحقیق

در این پژوهش، کاربرد مدل SBM در DEA شبکه‌ای جهت ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین چهار مرحله‌ای در حضور عوامل غیرقابل کنترل، نامطلوب و منفی مورد بررسی قرار می‌گیرد و مدلی با لحاظ قرار دادن شرایط خاص فوق ارائه می‌شود که بر اساس آن عملکرد شرکت‌های سیمان واقع در بورس و اوراق بهادار محاسبه می‌گردد.

بررسی عملکرد زنجیره تأمین در صنایع، نمونه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده چند مرحله‌ای و شبکه‌ای به شمار می‌آید که باید محصولات میانی و ارتباط فعالیت‌های بین بخش‌های مختلف درون سیستمی آن مد نظر قرار گیرد. در این سیستم‌ها خروجی‌های یک مرحله(فرآیند) به عنوان ورودی‌های مرحله بعدی محسوب می‌شوند که به آن‌ها داده‌های میانی گویند (کوک و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین در هر مرحله، امکان دارد ورودی‌های مستقل برای آن مرحله هم وجود داشته باشد که باید درنظر گرفته شوند. مدیران باید سعی کنند با ایجاد شیوه‌های مناسب، عوامل موثر بر عملکرد زنجیره تأمین را نیز شناسایی و از آن‌ها برای اندازه-گیری کارایی آن، استفاده نمایند. برخی از این عوامل موثر، ورودی‌ها و خروجی‌های غیر قابل کنترل و خروجی‌های نامطلوب و خروجی‌های منفی می‌باشند که لازم است شناسایی و در ارائه مدل برای ارزیابی، مورد توجه قرار گیرند. در این پژوهش زنجیره تأمینی در صنعت سیمان را در حضور عوامل غیرقابل کنترل، نامطلوب و منفی مورد ارزیابی قرار می‌دهیم که دارای ساختار ذیل باشد:



شکل ۲. زنجیره تأمین چهار مرحله‌ای

در زنجیره فوق:

- S_1، S_2، S_3 و S_4 نشان دهنده به ترتیب تأمین کننده، تولید کننده، توزیع کننده و مشتری می‌باشند.
- $X_j^f = \begin{pmatrix} x^f_{ij} , & i \in D^f \\ x^f_{ij} , & i \in ND^f \end{pmatrix}$ به ازای $f = 1,2,3,4$ بردار ورودی DMU_j، شامل ورودی‌های قابل کنترل و غیرقابل کنترل به مرحه S_f می‌باشد.
- $Z_j^{k_1,k_2} = \begin{pmatrix} z_{lj}^{k_1,k_2} , & l \in D^{k_1,k_2} \\ z_{lj}^{k_1,k_2} , & l \in ND^{k_1,k_2} \end{pmatrix}$ به ازای $k_1 = 1,2,3$ و $k_2 = 2,3,4$ داده میانی از مرحله S_{k_1} به مرحلهٔ S_{k_2} واحد jام می‌باشد که شامل داده‌های قابل کنترل و غیرقابل کنترل است یا به عبارت دیگر بردار خروجی مرحلهٔ S_{k_1} واحد jام، شامل خروجی‌های قابل کنترل و غیرقابل کنترل را نشان می‌دهد که بردار ورودی مرحلهٔ S_{k_1+1} آن واحد نیز خواهد بود.
- $Y^{k_3} = \left(y_{rj}^{k_3} \; ; \; r \in R^{k_3}\right)$ به ازای $k_3 = 1,2,3$ بردار خروجی نامطلوب مرحله S_{k_3} می‌شد.
- $Y = (y_1, y_2, ..., y_s)$ بردار خروجی مرحلهٔ S_4 می‌باشد.
- D^f و ND^f به ازای $f = 1,2,3,4$ مجموعه اندیس ورودی‌های به ترتیب قابل کنترل و غیرقابل کنترل را نشان می‌دهند.
- D^{k_1,k_2} و ND^{k_1,k_2} به ازای $k_1 = 1,2,3$ و $k_2 = 2,3,4$ مجموعه اندیس شاخص‌های به ترتیب قابل کنترل و غیرقابل کنترل را نشان می‌دهند.
- R^{k_3} به ازای $k_3 = 1,2,3$ مجموعه اندیس خروجی‌های نامطلوب مرحله S_{k_3} را نشان می‌دهد.

n زنجیره تأمین یکسان همانند زنجیرهٔ شکل(۲) که در ادبیات تحلیل پوششی داده‌ها n واحد تصمیم‌گیرنده $DMU_1, DMU_2, ..., DMU_n$ نامیده می‌شوند را درنظر بگیرید و فرض کنید بعضی از خروجی‌های نهایی زنجیره منفی باشند برای محاسبه کارایی آن‌ها به یک مدل DEA شبکه‌ای نیاز است که دارای ساختار سری باشد. مدلSBM، به طور خاص نمی‌تواند عملکرد جعبه سیاه متناظر زنجیره تأمین شکل (۲) را مورد شناسایی قرار دهد. چرا که فقط ورودی‌های

اولیه و خروجی‌های نهایی زنجیره تامین را مد نظر قرار می‌دهد و تولیدات میانی ناشی از مراحل زنجیره تامین و عوامل موثر بر عملکرد آن را نادیده می‌گیرد. در این مقاله برای ارزیابی عملکرد DMU_o، مدل شبکه‌ای غیر شعاعی زیر پیشنهاد می‌گردد:

$$Min\, P_o = \frac{1-\frac{1}{\alpha}\left(\sum_{i\in D^1}\frac{\bar{s}_{i1}}{x^1_{io}}+\sum_{i\in D^2}\frac{\bar{s}_{i2}}{x^2_{io}}+\sum_{i\in D^3}\frac{\bar{s}_{i3}}{x^3_{io}}+\sum_{i\in D^4}\frac{\bar{s}_{i4}}{x^4_{io}}+\sum_{r\in R^1}\frac{\dot{s}_{r1}}{y^1_{ro}}+\sum_{r\in R^2}\frac{\dot{s}_{r2}}{y^2_{ro}}+\sum_{r\in R^3}\frac{\dot{s}_{r3}}{y^3_{ro}}\right)}{1+\frac{1}{s}\sum_{r=1}^{s}\frac{\dot{s}_r}{\bar{y}_r}}$$

$$
\begin{aligned}
s.t:\ & \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 x^1_{ij} + \bar{s}_{i1} = x^1_{io} && i\in D^1\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 x^1_{ij} + \varphi_{i1} = x^1_{io} && i\in ND^1\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 z_{lj}^{12} - \mu_{l1} = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 z_{lj}^{12} && l\in D^{12}\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 z_{lj}^{12} = z_{lo}^{12} && l\in ND^{12}\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 z_{lj}^{12} = z_{lo}^{12} && l\in ND^{12}\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 y_{rj}^1 + \dot{s}_{r1} = y_{ro}^1 && r\in R^1\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 x^2_{ij} + \bar{s}_{i2} = x^2_{io} && i\in D^2\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 x^2_{ij} + \varphi_{i2} = x^2_{io} && i\in ND^2\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 z_{lj}^{23} - \mu_{l2} = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 z_{lj}^{23} && l\in D^{23}\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 z_{lj}^{23} = z_{lo}^{23} && l\in ND^{23}\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 z_{lj}^{23} = z_{lo}^{23} && l\in ND^{23}\\
& \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 y_{rj}^2 + \dot{s}_{r2} = y_{ro}^2 && r\in R^2
\end{aligned}
\qquad (۷)
$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3}\, x^{3}_{ij} + \bar{s}_{i3} = x^{3}_{io} \qquad i \in D^{3}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3}\, x^{3}_{ij} + \varphi_{i3} = x^{3}_{io} \qquad i \in ND^{3}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3}\, z^{34}_{lj} - \mu_{l3} = \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{4}\, z^{34}_{lj} \qquad l \in D^{34}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3}\, Z^{34}_{lj} = Z^{34}_{lo} \qquad l \in ND^{34}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{4}\, Z^{34}_{lj} = Z^{34}_{lo} \qquad l \in ND^{34}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3}\, y^{3}_{rj} + \bar{s}^{+}_{r3} = y^{3}_{ro} \qquad r \in R^{3}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{4}\, x^{4}_{ij} + \bar{s}_{i4} = x^{4}_{io} \qquad i \in D^{4}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{4}\, x^{4}_{ij} + \varphi_{i4} = x^{4}_{io} \qquad i \in ND^{4}$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{4}\, y_{rj} - \bar{s}^{+}_{r} = y_{ro} \qquad r = 1,2,\ldots,s$$

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

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{2} = 1 \quad ,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{3} = 1 \quad ,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^{4} = 1$$

$$\lambda_j^{1}\ ,\ \lambda_j^{2}\ ,\ \lambda_j^{3}\ ,\ \lambda_j^{4} \geq 0, \qquad j = 1,\ldots,\mathrm{n}$$

$$\bar{s}_{i1}, \bar{s}_{i2}, \bar{s}_{i3}, \bar{s}_{i4} \geq 0, \qquad i \in D^{t}, t = 1,2,3,4$$

$$\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{i3}, \varphi_{i4} \geq 0, \qquad i \in ND^{t}, t = 1,2,3,4$$

$$\bar{s}^{+}_{r} \geq 0, \qquad r = 1,\ldots,s$$

$$\mu_{l1} \geq 0 \ , l \in D^{12} \ , \ \mu_{l2} \geq 0 \ , l \in D^{23} \ , \mu_{l3} \geq 0 \ , l \in D^{34}$$

$$\overset{+}{s}_{r1} \geq 0 \ , r \in R^1 \ , \ \overset{+}{s}_{r2} \geq 0 \ , r \in R^2 \ , \overset{+}{s}_{r3} \geq 0 \ , r \in R^3$$

که در آن $\alpha = |D^1| + |D^2| + |D^3| + |D^4| + |R^1| + |R^2| + |R^3|$ و $\bar{Y}_r = Max\{Y_{rj}\} - Min\{Y_{rj}\}$ $\quad r = 1,2,...,s$ $\quad 1 \leq j \leq n$ $\quad 1 \leq j \leq n$ اسلک‌های

$\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{i3}, \varphi_{i4}$, $i \in ND^t, t = 1,2,3,4$ در تابع هدف مدل (۷) نمی‌آید چون مربوط به ورودی‌های غیر قابل کنترل است. همچنین اسلک‌های $\mu_{l1}, l \in D^{12}$ و $\mu_{l2}, l \in D^{23}$ و $\mu_{l3}, l \in D^{34}$ نیزدر تابع هدف این مدل نمی‌آید زیرا ساختار شبکه طوری طراحی شده که فروش یا عرضه خروجی مطلوب در مراحل میانی نداریم. لذا لزومی ندارد اختلاف تولید هر مرحله با مصرف مرحله بعد را در مراحل میانی ماکزیمم نماییم.

برای حل مدل (۷) که غیر خطی است، لازم است به مدلی خطی تبدیل شود. برای این منظور، با تغییر متغیر $\frac{1}{q} = 1 + \frac{1}{s}(\sum_{r=1}^{s} \frac{\overset{+}{s}_r}{\bar{y}_r})$ و تبدیلات مناسب، آن را به مسألهٔ برنامه‌ریزی خطی زیر تبدیل می‌نماییم.

$$Min\, P_o = q - \frac{1}{\alpha}\left(\sum_{i \in D^1} \frac{\bar{s}_{i1}}{x^1_{io}} + \sum_{i \in D^2} \frac{\bar{s}_{i2}}{x^2_{io}} + \sum_{i \in D^3} \frac{\bar{s}_{i3}}{x^3_{io}} + \sum_{i \in D^4} \frac{\bar{s}_{i4}}{x^4_{io}} + \sum_{r \in R^1} \frac{\overset{+}{s}_{r1}}{y^1_{ro}} + \sum_{r \in R^2} \frac{\overset{+}{s}_{r2}}{y^2_{ro}} + \sum_{r \in R^3} \frac{\overset{+}{s}_{r3}}{y^3_{ro}}\right)$$

$s.t:$

$$q + \frac{1}{s}\left(\sum_{r=1}^{s} \frac{\overset{+}{s}_r}{\bar{y}_r}\right) = 1$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j{}^1 x^1_{ij} + \bar{s}_{i1} - x^1_{io}.q = 0 \qquad i \in D^1 \qquad (۸)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j{}^1 x^1_{ij} + \varphi_{i1} - x^1_{io}.q = 0 \qquad i \in ND^1$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j{}^1 z_{lj}{}^{12} - \mu_{l1} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j{}^2 z_{lj}{}^{12} = 0 \qquad l \in D^{12}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j{}^1 z_{lj}{}^{12} - z_{lo}{}^{12}.q = 0 \qquad l \in ND^{12}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} z_{lj}^{12} - z_{lo}^{12}.q = 0 \qquad l \in ND^{12}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{1} y_{rj}^{1} + \overset{+}{s}_{r1} - y_{ro}^{1}.q = 0 \qquad r \in R^{1}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} x^{2}_{ij} + \overset{-}{s}_{i2} - x^{2}_{io}.q = 0 \qquad i \in D^{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} x^{2}_{ij} + \varphi_{i2} - x^{2}_{io}.q = 0 \qquad i \in ND^{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} z_{lj}^{23} - \mu_{l2} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} z_{lj}^{23} = 0 \qquad l \in D^{23}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} z_{lj}^{23} - z_{lo}^{23}.q = 0 \qquad l \in ND^{23}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} z_{lj}^{23} - z_{lo}^{23}.q = 0 \qquad l \in ND^{23}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} y_{rj}^{2} + \overset{+}{s}_{r2} - y_{ro}^{2}.q = 0 \qquad r \in R^{2}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} x^{3}_{ij} + \overset{-}{s}_{i3} - x^{3}_{io}.q = 0 \qquad i \in D^{3}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} x^{3}_{ij} + \varphi_{i3} - x^{3}_{io}.q = 0 \qquad i \in ND^{3}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} z_{lj}^{34} - \mu_{l3} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{4} z_{lj}^{34} = 0 \qquad l \in D^{34}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} Z_{lj}^{34} - Z_{lo}^{34}.q = 0 \qquad l \in ND^{34}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{4} Z_{lj}^{34} - Z_{lo}^{34}.q = 0 \qquad l \in ND^{34}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} y_{rj}^{3} + \overset{+}{s}_{r3} - y_{ro}^{3}.q = 0 \qquad r \in R^{3}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{4} x^{4}_{ij} + \overset{-}{s}_{i4} - x^{4}_{io}.q = 0 \qquad i \in D^{4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{4} x^{4}_{ij} + \varphi_{i4} - x^{4}_{io}.q = 0 \qquad i \in ND^{4}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{4}\, y_{rj} - \overset{+}{s}_r - y_{ro}.q = 0 \qquad r = 1,2,...,s$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{1} - q = 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} - q = 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{3} - q = 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{4} - q = 0$$

$$\lambda_j^{1}\ ,\ \lambda_j^{2}\ ,\ \lambda_j^{3}\ ,\ \lambda_j^{4} \geq 0, \qquad j = 1,...,\mathrm{n}$$

$$\overset{-}{s}_{i1}, \overset{-}{s}_{i2}, \overset{-}{s}_{i3}, \overset{-}{s}_{i4} \geq 0, \qquad i \in D^t, t = 1,2,3,4$$

$$\varphi_{i1}, \varphi_{i2}, \varphi_{i3}, \varphi_{i4} \geq 0, \qquad i \in ND^t, t = 1,2,3,4$$

$$\mu_{l1} \geq 0\ , l \in D^{12}\ ,\ \mu_{l2} \geq 0\ , l \in D^{23}\ , \mu_{l3} \geq 0\ , l \in D^{34}$$

$$\overset{+}{s}_{r1} \geq 0\ , r \in R^1\ ,\ \overset{+}{s}_{r2} \geq 0\ , r \in R^2\ , \overset{+}{s}_{r3} \geq 0\ , r \in R^3$$

$$\overset{+}{s}_r \geq 0, \qquad r = 1,...,s$$

$$q \geq 0,$$

قضیه ۲ : مدل (۸) همواره شدنی است.

برهان: چون جواب ذیل، یک جواب شدنی مدل (۸) می‌باشد. پس این مدل شدنی خواهد بود.

$$\begin{aligned}
&q = ۱,\\
&\lambda_j^{۱} = (\lambda_۱^{۱},...,\lambda_o^{۱},...\lambda_n^{۱}) = (۰,...,۰,۱,۰,...,۰),\\
&\lambda_j^{۲} = (\lambda_۱^{۲},...,\lambda_o^{۲},...\lambda_n^{۲}) = (۰,...,۰,۱,۰,...,۰),\\
&\lambda_j^{۳} = (\lambda_۱^{۳},...,\lambda_o^{۳},...\lambda_n^{۳}) = (۰,...,۰,۱,۰,...,۰),\\
&\lambda_j^{٤} = (\lambda_۱^{٤},...,\lambda_o^{٤},...\lambda_n^{٤}) = (۰,...,۰,۱,۰,...,۰),\\
&\mathrm{all\,Slack}, S = ۰
\end{aligned} \qquad (۹)$$

تعریف ۵: زنجیرهٔ تأمین متناظر DMU_o ، در ارزیابی با مدل (۸) پاراتوکارا است هرگاه $P_o^* = ۱$ و در هر جواب بهینه، مقدار همه متغیرهای کمکی برابر صفر باشند.

٤. برآورد مدل

مدیریت زنجیره تأمین، یکی از موضوعات حیاتی در سازمان‌ها می‌باشد که مدیران جهت ارزیابی عملکرد آن، نیاز به طراحی مدل‌های مناسب در این زمینه دارند. ارزیابی کارخانه‌های سیمان کشور در قالب زنجیره‌های تأمین کامل، با حضور عوامل نامطلوب و منفی و همچنین عوامل غیرقابل کنترلی که تغییرات در آن‌ها یا به طور کلی از حوزهٔ اختیارات مدیر خارج و یا درصدی قابل تغییر می‌باشند، انگیزه‌ای برای انجام این تحقیق گردید ه است.

شاخص‌های مدنظر در صنعت سیمان که در جداول ذیل بیان شده است، علاوه بر شاخص-های مالی، اقتصادی و تولیدی ، دربرگیرنده شاخص‌ها و عوامل غیرقابل کنترل، خروجی‌های نامطلوب و منفی نیز می‌باشد. مدل ارائه شده در این مقاله قادر است زنجیره تأمین متناظر این صنعت را ارزیابی نماید.

جدول ۱. شاخص‌ها و تعاریف آن‌ها برای واحد تصمیم گیرندهٔ j ام در ورودی‌ها و داده‌های میانی

نمادها		دسته‌بندی شاخص‌ها	عنوان شاخص‌ها
X_{ij}^{1}	X_{1j}^{1}	ورودی اولیه زنجیره	مجموع هزینه‌های جاری یا عملیاتی
	X_{2j}^{1}		مجموع سرمایه گذاری اولیه در بهره برداری از معادن و فرآیند کارخانه
	X_{3j}^{1}		مجموع بدهی های کارخانه
	X_{4j}^{1}		مجموع هزینه های مالی
	X_{5j}^{1}		مجموع هزینه حقوق و دستمزد پرداختی
	X_{6j}^{1}		کیفیت تأمین کنندگان به لحاظ پایداری در عرضه مواد معدنی و لوازم مصرفی
Z_{lj}^{12}	Z_{1j}^{12}	داده‌های میانی (خروجی مرحله اول و ورودی مرحله دوم)	مجموع ذخایر معدنی در اختیار
	Z_{2j}^{12}		مجموع تناژ مواد اولیه برداشت شده از معادن که باید در فرایند تولید مصرف شود

نمادها		دسته‌بندی شاخص‌ها	عنوان شاخص‌ها
	Z_{3j}^{12}		مجموع تناژ مواد شیمیایی و معدنی دیگر که در فرآیند تولید مصرف می شود
	Z_{4j}^{12}		مجموع مواد اولیه معدنی دپو شده برای استفاده در فصل سرما
	Z_{5j}^{12}		مجموع هزینه تحقیق و توسعه
	Z_{6j}^{12}		ظرفیت واقعی صنعت
Z_{lj}^{23}	Z_{1j}^{23}	داده‌های میانی (خروجی مرحله دوم و ورودی مرحله سوم)	مجموع تناژ تولیدی کلینکر کارخانه
	Z_{2j}^{23}		مجموع تناژ تولیدی سیمان کارخانه
Z_{lj}^{34}	Z_{1j}^{34}	داده‌های میانی (خروجی مرحله سوم و ورودی مرحله چهارم)	مجموع ارزش ریالی دارایی ها و موجودی نگهداری شده آماده برای فروش
	Z_{2j}^{34}		مجموع تناژ فروش سیمان پاکتی و فله در بازار داخلی و صادرات
	Z_{3j}^{34}		مجموع تناژ فروش کلینکر
	Z_{4j}^{34}		بهای تمام شده محصول

جدول ۲. شاخص‌ها و تعاریف آن‌ها برای واحد تصمیم گیرندهٔ j ام در خروجی نهایی

نمادها		وضعیت شاخص‌ها	دسته‌بندی شاخص‌ها	عنوان شاخص‌ها
Y_{rj}	y_{1j}	نامنفی	خروجی نهایی	مجموع دارایی‌های جاری
	y_{2j}			رقابت پذیری و جهانی سازی برند کارخانه
	y_{3j}	نامنفی یا منفی		مجموع سود حاصل شده
	y_{4j}			نرخ رشد سالانه بر اساس عملکرد
	y_{5j}			بازده حساب حقوق صاحبان سهام
	y_{6j}			رضایت‌مندی مشتریان

جدول ۳. شاخص‌ها و تعاریف آن‌ها برای واحد تصمیم گیرندهٔ j ام در ورودی‌های مستقل هر مرحله

نمادها		قابل کنترل و غیرقابل کنترل بودن شاخص‌ها	دسته‌بندی شاخص‌ها	عنوان شاخص‌ها
X_{ij}^{2}	X_{1j}^{2}	ND	ورودی مستقل مرحله دوم	مجموع هزینه پرداخت انرژی
X_{ij}^{3}	X_{1j}^{3}	D	ورودی مستقل مرحله سوم	مجموع هزینه در راستای افزایش قابلیت اطمینان در زنجیره تامین
X_{ij}^{4}	X_{1j}^{4}	D	ورودی مستقل مرحله چهارم	هزینه طراحی سازگاری با محیط زیست
	X_{2j}^{4}			مجموع هزینه بازاریابی

جدول ٤. شاخص‌ها و تعاریف آن‌ها برای واحد تصمیم گیرندهٔ j ام در خروجی‌های نامطلوب

نمادها		وضعیت شاخص‌ها	دسته‌بندی شاخص‌ها	عنوان شاخص‌ها
Y_{rj}^{1}	y_{1j}^{1}	U.D	خروجی‌های نامطلوب مرحله اول	ایجاد آثار مخرب زیست محیطی در برداشت از معادن
Y_{rj}^{2}	y_{1j}^{2}	U.D	خروجی‌های نامطلوب مرحله دوم	مجموع ذرات غبار تولید شده (mg/m3)
	y_{2j}^{2}			میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع NOX منتشر شده
	y_{3j}^{2}			میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع CO منتشر شده
	y_{4j}^{2}			میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع SO_2 منتشر شده
	y_{5j}^{2}			تاثیر مجموع نفوذ آب مصرفی و فاضلاب در آب های زیر زمینی
	y_{6j}^{2}			تاثیر عملکرد کارخانه بر ایجاد شرایط منفی در اکوسیستم پیرامون

برای نشان دادن کاربرد روش ارائه شده، داده‌های واقعی ٤٢ شرکت سیمان حاضر در بـورس و اوراق بهادار در سال‌های ١٣٩٤، ١٣٩٥ و ١٣٩٦ را با ورودی‌ها، خروجی‌هـا و داده‌هـای میـانی مطابق با جداول فوق، درنظر می‌گیریم. با درنظر گرفتن قضیه ۱ برای خروجی‌های منفی مرحله چهارم زنجیره متناظر شرکت‌های سیمان، مدل (۸) را اجـرا مـی‌نمـاییم. بـا اجـرای ایـن مـدل، کارایی هر یک از شرکت‌ها در سال‌های ١٣٩٤، ١٣٩٥ و ١٣٩٦ مشخص می‌گردد. که نتـایج بـه دست آمده در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ۵. کارایی کل شرکت‌ها

ردیف	کارخانه	کارایی سال ١٣٩٦	کارایی سال ١٣٩٥	کارایی سال ١٣٩٤
١	ساباد	٠/٧١٠	٠/٤٩٣	٠/٦٨٠
٢	سابیک	١	١	١
٣	ساراب	٠/٥٤٥	٠/٢٩٢	٠/٠٩٧
٤	ساربیل	٠/٦٧٨	٠/٦١٣	٠/٥٤٩
٥	ساروم	٠/٦٠٥	٠/٣٣٠	٠/٥٢٤
٦	ساوه	٠/٥٣٢	٠/٣٢٠	٠/٣٣٥
٧	سباقر	٠/٤٨٠	٠/٣٧٩	١
٨	سبجنو	٠/٨٦٥	١	٠/٩٠٠
٩	سبزوا	٠/٩٩٥	٠/٤١٥	٠/٠٨٢
١٠	سبهان	٠/٩٩٤	٠/٨١٨	١
١١	سپاها	٠/٣٤٩	١	٠/٩٨٣
١٢	ستران	١	٠/٢٦٢	٠/٢٠٣
١٣	سجام	٠/٠٨٣	٠/٠٨٠	٠/٠٨٢
١٤	سخاش	٠/٦٢٨	٠/٩٩٢	٠/١٢٧
١٥	سخرم	٠/٣٧٣	٠/٠٨٤	٠/٠٨٣
١٦	سخزر	٠/٦١٨	٠/٠٩٨	٠/٣٥٥
١٧	سخواف	١	١	١
١٨	سخوز	١	٠/٨٣٥	٠/٦٧٨

ردیف	کارخانه	کارایی سال ۱۳۹۶	کارایی سال ۱۳۹۵	کارایی سال ۱۳۹٤
۱۹	سدشت	۰/۹۹۸	۱	۰/۹۸٤
۲۰	سدور	۰/٤۸۱	۰/۰۸۷	۰/۱۰۹
۲۱	سرود	۰/٦۱۲	۰/۲۷۳	۰/۳۸۵
۲۲	سشرق	۰/۱۰۰	۰/۹۸۵	۰/۳۸۸
۲۳	سشمال	۰/۹۱۰	۰/٦۷۸	۰/۳۲۲
۲٤	سصفها	۰/۵۰۹	۰/۲۷۱	۰/٤۳۲
۲۵	سصوفی	۰/٦۸۹	۰/٤۲۸	۰/۱۵۰
۲٦	سغرب	۰/٦۳۷	۰/٤٦۰	۰/۱٦۱
۲۷	سفار	۰/٦۸۸	۰/۵۸٤	۰/۲٦۱
۲۸	سفارس	۰/٦۷۰	۰/٤۳۳	۱
۲۹	سفاروم	۰/۷۷۳	۱	۰/۹۸۹
۳۰	سفانو	۰/۸۱۹	۰/۸۲٦	۰/۷۲۸
۳۱	سفیروز	۰/٦۸۳	۰/٤۱٦	۰/۹۸۰
۳۲	سقاین	۱	۰/۹۸٦	۰/۱۷۲
۳۳	سکارون	۰/۷۵٦	۰/۳۸۳	۰/۱۸٦
۳٤	سکرد	۰/۰۷۹	۰/٤۰٦	۰/۳۹۷
۳۵	سکرما	۰/۹۹٦	۱	۰/٤۳۰
۳٦	سلار	۱	۱	۱
۳۷	سمازن	۰/۹۹۸	۱	۱
۳۸	سمتاز	۰/۸٤٦	۰/۸۵۱	۰/۷۹۰
۳۹	سنیر	۱	۱	۱
٤۰	سهرمز	۱	۱	۱
٤۱	سهگمت	۰/۵۳۳	۰/۰۸۸	۰/٤۳۲
٤۲	سیلام	۰/۲٦٤	۰/۳۰۱	۰/۸۳۰

همانطور که ملاحظه می‌گردد تعداد ۹ شرکت در سال ۹٤، ۱۱ شرکت در سال ۹۵ و ۸ شرکت در سال ۹٦ کارا می‌باشند. ۵ شرکت یعنی کارخانه‌های سابیک، سخواف، سلار، سنیر و سهرمز در همه

سال‌های ۹٤، ۹۵ و ۹٦ دارای عملکرد مطلوب بوده و کارا هستند. عملکرد ۱۳ شرکت سال به سال بهبود یافته به طوری که از بین آن‌ها ۳ شرکت در سال ۹٦ به نمره کارایی دست یافتند ولی نمره کارایی کارخانه سیلام در مقایسه با کارخانه‌های دیگر هر سال نسبت به سال گذشته کاهش یافته است. کارخانه سمازن در سال‌های ۹٤ و ۹۵ کارا است و نمره کارایی آن در سال ۹٦ برابر $\theta^* = ۰/۹۹۸۷$ می‌باشد که می‌توان در این سال نیز آن را کارا تلقی نمود.

۵. نتیجه گیری و پیشنهادها

در این مقاله با ارائه مدل غیر شعاعی، عملکرد زنجیره تأمین شامل ٤ مرحله تأمین کننده، تولیدکننده، توزیع کننده و مشتری با ورودی‌ها و خروجی‌هایی که دارای ساختار خاص اعم از ورودی‌ها و خروجی‌های غیرقابل کنترل، خروجی‌های نامطلوب و خروجی‌های منفی هستند، مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج نشان می‌دهند که از ٤۲ زنجیره تأمین با این ساختار، ۵ شرکت در ۳ سال متوالی ۹٤، ۹۵ و ۹٦ کارا و ۲۵ شرکت در همه این سال‌ها، ناکارا می‌باشند یعنی دارای نمره کارایی کمتر از ۱ هستند. واحد ۱۳ (کارخانه سجام) ناکاراترین زنجیره تأمین با نمره کارایی حدود $\theta^* = ۰/۰۸۰۰$ در هر سال می‌باشد و در این سال‌ها دارای عملکرد بسیار ضعیفی است.

تمرکز محقق در این مطالعه، ارائه مدل غیرشعاعی جهت ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین کامل با ورودی‌ها و خروجی‌های دارای ساختار خاص بوده و به محققین پیشنهاد می‌گردد: ۱- درخصوص ارائه مدلی به منظور تعیین علت ناکارایی زنجیره‌های تأمین و ارائه راه‌کارهایی جهت بهبود کارایی آن‌ها، ۲- محاسبه کارایی هر یک از مراحل زنجیره تأمین با استفاده از مدل SBM و ۳- ارائه مدل بهره‌وری مالم کوئیست جهت تعیین میزان پیشرفت یا پسرفت واحدها در سال‌های متفاوت، تحقیق نمایند.

منابع

- Azadeh, A., & Alem, S.M. (2010). A flexible deterministic, stochastic and fuzzy Data Envelopment Analysis approach for supply chain risk and vendor selection problem: Simulation analysis. *Expert Systems with Applications*, **37**(12): 7438-7448.
- Badiezadeh, T., Farzipoor Saen, R., and Samavati, T. (2018). Assessing sustainability of supply chains by double frontier network DEA: A big data approach. *Computers & Operations Research*, **98:** 284-290.
- Boudaghi, E., and Farzipoor Saen, R. (2018). Developing a novel model of data envelopment analysis–discriminant analysis for predicting group membership of suppliers in sustainable supply chain. *Computers & Operations Research*, **89:** 348-359.
- Chen, C., and Yan, H. (2011). Network DEA model for supply chain performance evaluation. *European journal of operational research*, **213**(1): 147-155.
- Cook, W.D., Zhu, J., Bi, G., and Yang, F. (2010). Network DEA: Additive efficiency decomposition. *European journal of operational research*, **207**(2): 1122-1129.
- Cook, W.D., Liang, L., and Zhu, J. (2010). Measuring performance of two-stage network structures by DEA: a review and future perspective. *Omega*, **38**(6): 423-430.
- Izadikhah, M., and Farzipoor Saen, R. (2016). Evaluating sustainability of supply chains by two-stage range directional measure in the presence of negative data. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **49:** 110-126.
- Izadikhah, M., Farzipoor Saen, R., and Ahmadi, K. (2017). How to assess sustainability of suppliers in volume discount context? A new data envelopment analysis approach. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, **51:** 102-121.
- Kalantary, M., and Farzipoor Saen, R. (2018). Assessing sustainability of supply chains: An inverse network dynamic DEA model. *Computers & Industrial Engineering*, **135:** 1224-1238.
- Khodakarami, M., Shabani, A., Farzipoor Saen, R., and Azadi, M. (2015). Developing distinctive two-stage data envelopment analysis models: An application in evaluating the sustainability of supply chain management. *Measurement*, **70:** 62-74.
- Mirhedayatian, S.M., Azadi, M., and Farzipoor Saen, R. (2014). A novel network data envelopment analysis model for evaluating green

supply chain management. *International Journal of Production Economics*, **147:** 544-554.

- Saranga, H., and Moser, R. (2010). Performance evaluation of purchasing and supply management using value chain DEA approach. *European journal of operational research*, **207**(1): 197-205.
- Shafiee, M., Lotfi, F.H., and Saleh, H. (2014). Supply chain performance evaluation with data envelopment analysis and balanced scorecard approach. *Applied Mathematical Modelling*, **38**(21-22): 5092-5112.
- Tajbakhsh, A., and Hassini, E. (2015). A data envelopment analysis approach to evaluate sustainability in supply chain networks. *Journal of Cleaner Production*, **105:** 74-85
- Tavana, M., Mirzagoltabar, H., Mirhedayatian, S.M., Farzipoor Saen, R., and Azadi, M. (2013). A new network epsilon-based DEA model for supply chain performance evaluation. *Computers & Industrial Engineering*, **66**(2): 501-513.
- Tavana, M., Kaviani, M. A., Di Caprio, D., and Rahpeyma, B. (2016). A two-stage data envelopment analysis model for measuring performance in three-level supply chains. *Measurement*, **78:** 322-333.
- Tavassoli, M., and Farzipoor Saen, R. (2019). Predicting group membership of sustainable suppliers via data envelopment analysis and discriminant analysis. *Sustainable Production and Consumption*, **18:** 41-52.
- Xu, J., Li, B., and Wu, D. (2009). Rough data envelopment analysis and its application to supply chain performance evaluation. *International Journal of Production Economics*, **122**(2): 628-638.
- Liu, W., & Sharp, J. (1999). DEA models via goal programming. In Data envelopment analysis in the service sector. *Deutscher Universitäts-verlag*, 79-101.