فصلنامه مدلسازی اقتصادی (سال سیزدهم، شماره ۲ «پیاپی ٤٦» تابستان ۱۳۹۸، صفحه‌های ۹۹-۷۳)

محاسبه کارایی زنجیره تامین پایدار در صنعت سیمان (کاربرد مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای)

محمدحسین درویش متولی*، فرهاد حسین‌زاده لطفی، نقی شجاع+، امیر غلام ابری×**

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰٦/۱٤

چکیده

هدف این مقاله ارائه مدل مناسب مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها با ساختار شبکه‌ای برای ارزیابی کارایی زنجیره تامین پایدار شرکت‌های سیمان حاضر در بورس ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۳-۹۵ و تعیین میزان بهره‌وری آن‌ها بر اساس شاخص مالم‌کوئیست می‌باشد. این مدل می‌کوشد با در نظر گرفتن محدودیت‌های کمّی و کیفی و نیز خروجی‌های نامطلوب، معیارهای پایداری در شبکه تامین معرفی نماید و از طریق سنجش آنها بر زنجیره تامین، نتایج سازگارتری با واقعیت حاصل نماید. به طور کلی، نتایج حاکی از کاهش بهره‌وری کل شرکت‌های یاد شده است؛ در این میان، تنها ۷ شرکت کارایی خود را حفظ کرده و سایر شرکت‌ها نوسان عملکرد داشته‌اند.

طبقه‌بندی JEL: E23, D24, C60.

واژگان کلیدی: تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای (NDEA)، شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست (MPI)، زنجیره تامین پایدار (SSCM)، صنعت سیمان، بورس اوراق بهادار ایران.

---

* استادیار گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)، پست الکترونیکی: mhd.darvish@gmail.com

** استاد گروه ریاضیات کاربردی، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: hosseinzadeh_lotfi@srbiau.ac.ir

+ دانشیار گروه ریاضی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران، پست الکترونیکی: nashoja@yahoo.com

× دانشیار گروه ریاضی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران، پست الکترونیکی: amirgholamabri@gmail.com

۱. مقدمه

با توجه به دنیای رقابتی، شرایط اقتصادی و منابع مالی، شرکت‌ها و سازمان‌های تولیدی و خدماتی به منظور حفظ دوام و پایداری نیازمند سنجش عملکرد در «زنجیره تامین»[1] خود هستند. زنجیره تامین همچون شبکه‌ای از سلول‌های ارزش‌افزاست که هدف آن تحویل یک محصول سطح بالا، با بالاترین کیفیت و کم‌ترین هزینه در سریع‌ترین زمان ممکن است (کیانی و رحیمی، ۲۰۱٤).

در سال‌های اخیر بحث «زنجیره تامین پایدار»[2] در مرکز توجه محققان قرار گرفته است. زنجیره تامین با ساختاری شبکه‌ای دارای پیچیدگی خاصی است که شاخص‌هایی را نظیر مسئولیت اجتماعی، جوّ فرهنگی، خروجی‌های نامطلوب (گازهای گلخانه‌ای، نشت مواد سمّی و دیگر آلاینده‌های محیط زیست که نقش مهمی در تغییرات اکوسیستمی ایفا می‌کنند و سهم زیادی در ناکارا کردن بسیاری از شرکت‌ها دارند) دربر می‌گیرد (آزادی و جعفریان، ۲۰۱۵).

مدیران سعی می‌کنند با ایجاد شیوه‌های مناسب، عوامل موثر بر عملکرد پایدار را در زنجیره تامین شناسایی کنند و از آنها برای اندازه‌گیری کارایی و برآورد هزینه‌های کاهش آلودگی و عوامل نامطلوب استفاده نمایند. به همین دلیل از تحلیل پوششی داده‌ها[3] که ابزار توانمندی در ارزیابی عملکرد واحدهایی با چند ورودی و چند خروجی است، استفاده می‌شود (لیو[4]، ۲۰۱۳).

بررسی عملکرد زنجیره تامین پایدار در صنایع حاضر در بورس نمونه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای و شبکه‌ای به شمار می‌آید (گویندان، کاژینسکی و سیواکومار[5]، ۲۰۱٦).

در مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی نسبی واحد تصمیم‌گیرنده[6] با توجه به ورودی‌هایی که برای تولید خروجی‌های نهایی به کار می‌رود، ارزیابی می‌شود. یکی از مشکلات این مدل‌ها، نادیده گرفتن محصولات میانی و ارتباط فعالیت‌ها بین بخش‌های

---

[1] Supply Chain
[2] Sustainable Supply Chain Management (SSCM)
[3] Data Envelopment Analysis (DEA)
[4] Liou
[5] Govindan, Kadziński & Sivakumar
[6] Decision Making Unit (DMU)

مختلف درون سیستمی است؛ بنابراین، برای رفع این مشکل و ارتقای مدل‌های کلاسیک این مقاله سعی دارد مدلی معرفی کرده و مورد سنجش قرار دهد که در آن، هر فعالیت یا متعلق به ورودی باشد و یا خروجی و نه هر دو؛ بر این اساس، ارزیابی در دو مرحله انجام می‌شود؛ یعنی، در یک مرحله محصولات میانی به عنوان خروجی و در مرحله دوم، به عنوان ورودی به کار می‌روند که همان مدل شبکه ساده است. بنابراین، نوآوری مقاله در معرفی این مدل و نتایج واقع‌گرایانه‌تر آن می‌باشد.

مهم‌ترین اشکال مدل‌های سنتی، نادیده گرفتن محصولات چند بخش یا مولفه میانی است و در آن، خروجی بخش اول، به طور مستقیم در یک مرحله استفاده می‌شود. همچنین، مشکل دیگر این است که معمولاً به انجام فعالیت‌های انتقالی و ارتباط داخلی مولفه‌ها در بین چند دوره متوالی بی‌توجه هستند. در این حالت، تنها مدل بهینه‌سازی شبکه ساده برای ارزیابی عملکرد مناسب نیست؛ زیرا به ارتباط خصوصی یا مشترک بخش‌های درونی سیستم بی‌توجه است و قابلیت سنجش کارایی و عملکرد را در چند دوره متوالیِ به هم وابسته ندارد. بسیاری از تحقیقات مشابه در ارزیابی شرکت‌های حاضر در بورس، بر اساس مدل‌های سنتی و شبکه‌ای ساده انجام گرفته است (حسین‌زاده لطفی، جهانشاهلو و محمدپور، ۲۰۱۳ و حاتمی، ابراهیم‌نژاد و لوزانو، ۲۰۱۷).

مطالعه زنجیره تامین پایدار صنعت سیمان به عنوان یکی از عوامل اصلی در زیربنای توسعه، بازار مالی و اقتصادی کشور بسیار مهم تلقی می‌شود. بر همین اساس، هدف اصلی این مقاله، ارائه مدلی جدید از تحلیل پوششی داده‌هاست که برای سنجش کارایی زنجیره تامین پایدار صنعت سیمان حاضر در بورس اوراق بهادار به عنوان سیستمی پیچیده به کار رود و قابلیت تلفیق با شاخص بهره‌وری مالم کوئیست برای تعیین پیشرفت یا پسرفت عملکرد در دوره‌های متوالی را داشته باشد.

برای دست‌یابی به این هدف، مقاله بدین شکل سازماندهی شده است؛ در ادامه، بعد از مقدمه، در بخش دوم، ادبیات مرور می‌شود. بخش سوم، به روش پژوهش اختصاص یافته است. در بخش چهارم، یافته‌ها ارائه می‌شود و در نهایت، نتیجه‌گیری و پیشنهادها بیان می‌گردد.

۲. مروری بر ادبیات

- مدیریت زنجیره تامین پایدار

در سال‌های اخیر کاربردهای گوناگون زنجیره تامین در علوم مختلف مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است. زنجیره تامین شبکه‌ای شامل چهار بخش تامین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری است. ساختار زنجیره تامین از نظر اندازه و پیچیدگی با یک زنجیره ساده (که نشان‌دهنده تصمیم‌گیری مستقل است) تفاوت دارد؛ این اختلاف از سطوح اولیه تا عرصه رفتارها و تعاملات شرکت‌های پیچیده را دربر می‌گیرد. بنابراین، سنجش عملکرد مناسب در زنجیره تامین باید طوری طراحی شود که ویژگی‌های شبکه‌ای زنجیره و تعاملات آن را مد نظر قرار دهد.

به طور کلی، هرچه زنجیره تامین بزرگ‌تر و پیچیده‌تر باشد، ارزیابی آن مشکل‌تر و چالش برانگیزتر خواهد بود. در بین روش‌های ارزیابی، تحلیل پوششی داده‌ها به طور گسترده در ارزیابی عملکرد نسبی مجموعه‌ای از فرایندهای تولید به نام «واحد تصمیم‌گیرنده»، استفاده می‌شود (کانان و سوساجابور[1]، ۲۰۱٤).

این روش غیرپارامتریک با ارائه مدل‌های مختلف قادر است واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ای را که با مصرف چندین ورودی، چندین خروجی تولید می‌نماید، ارزیابی کند. تحلیل پوششی داده‌ها تکنیک بسیار مهمی در ادبیات مدیریت زنجیره تامین می‌باشد. در ادامه به کاربرد آن در زنجیره تامین پرداخته می‌شود.

- تحلیل پوششی داده‌ها

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش ناپارامتری با رویکرد حل مسائل برنامه‌ریزی خطی است که چارنز، کوپر و رودز (۱۹۷۸) آن را با معرفی مدل خود- با عنوان علمی (CCR)[2] و مرحله بعدی، بنکر و چارنز و کوپر (۱۹۸٤) با معرفی مدل (BCC)[3] گسترش دادند. این تکنیک یک روش مناسب جهت ارزیابی کارایی واحدهایی است که با مصرف چند ورودی بتوانند چند خروجی را تولید نمایند. روش‌های یاد شده، مدل‌های شعاعی بوده که دارای

[1] Kannan & Sousa Jabbour
[2] Charnes, Cooper & Rohdes (CCR)
[3] Banker, Charnes & Cooper (BCC)

معایب و مزایایی هستند. در ادامه، تن[1] (۲۰۰۱) با ارائه مدل غیرشعاعی مبتنی بر متغیرهای کمکی روش‌های فوق را توسعه داد (جهانشاهلو و علی‌رضایی، ۲۰۰۰). مدل گسترش‌یافته با عنوان مدل (SBM) [2] معرفی گردید؛ این مدل بر مبنای متغیرهای کمکی طراحی شده است و نسبت به تغییر واحد پایدار است؛ یعنی، اگر با هر واحد، ورودی و خروجی‌ها اندازه‌گیری شود، کارایی تغییر نمی‌کند. این ویژگی، «دیماسیون آزاد»[3] نامیده می‌شود (برادنبورگ[4]، ۲۰۱٤). بر حسب مبانی تحلیل پوششی داده‌ها، اگر تعداد n واحد تصمیم‌گیرنده وجود داشته باشد که هریک دارای ماتریس‌های ورودی و خروجی Y و X باشد و به ترتیب، دارای m ورودی و s خروجی باشد؛ آن گاه با توجه به مجموعه امکان تولید T_C، مدل SBM به صورت زیر خواهد بود. در این مدل، فرض بر این است که $X_o > ۰$ و $Y_o > ۰$ و در آن، DMU_O با بردار ورودی و خروجی X_O و Y_O واحد تحت ارزیابی می‌باشد و همواره رابطه $0 \le \rho \le ۱$ برقرار است.

$$
\begin{aligned}
\min \quad & P_{\circ} = \frac{۱ - \frac{۱}{m}\sum_{i=۱}^{m} \frac{S_i^-}{x_{i\circ}}}{۱ + \frac{۱}{S}\sum_{r=۱}^{s} \frac{S_r^+}{y_{r\circ}}} \\
s.t \quad & \sum_{j=۱}^{n} \lambda_j x_{ij} + S_i^- = x_{i\circ} \quad , \quad i = ۱,۲,\dots,m \\
& \sum_{j=۱}^{n} \lambda_j y_{ij} - S_r^+ = y_{r\circ} \quad , \quad r = ۱,۲,\dots,s \\
& \lambda_j = ۱ \quad , \quad j = ۱,۲,۳,۴ \\
& S_i^- \ge ۰ \quad , \quad i = ۱,۲,\dots,m \\
& S_r^+ \ge ۰ \quad , \quad r = ۱,۲,\dots,s
\end{aligned}
\qquad (۱)
$$

در ادامه، گروسکوف و فارا[5] (۲۰۰۰) رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را برای مدل‌سازی فرایندهای چندمرحله‌ای عمومی با ورودی و خروجی‌های میانی ارائه دادند. این مدل، روابط میانی واحد تصمیم‌گیرنده را پیش‌بینی می‌کند و اجازه می‌دهد درون یک واحد تصمیم‌گیرنده پیچیده با مولفه‌های مختلف بررسی شود. در این سیستم‌ها، خروجی‌های فرایند

[1] Tone
[2] Slacks-Based Measure (SBM)
[3] Free Dimension
[4] Brandenburg
[5] Fare and Grosskopf

یا مرحله اول به عنوان ورودی‌های فرایند یا مرحله بعدی محسوب می‌شوند که به آنها «داده‌های میانی[1]» می‌گویند (کوک[2] ، ۲۰۱۰).

برای محاسبه کارایی یک سیستم شبکه، به مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای نیاز است. برخلاف مدل تحلیل پوششی داده‌های مرسوم، مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، استاندارد ثابتی ندارد؛ بلکه شکل آن بستگی به ساختار شبکه مورد نظر دارد (بادیه‌زاده، فرضی‌پور صائن و سماواتی، ۲۰۱۷).

گفتنی است؛ به طور کلی، دو نوع ساختار «سری» و «موازی» برای مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای وجود دارد. مدل ارائه شده در این مقاله بر پایه روش‌های سری استوار است. از آنجا که در یک زنجیره تامین به عنوان یک شبکه گسترده مراحل و بخش‌ها به یکدیگر وابسته هستند، از روش سری استفاده می‌شود.

- شاخص مالم‌کوئیست[3]

بهره‌وری یک واحد در حالت یک ورودی و یک خروجی به صورت نسبت سطح خروجی آن واحد به سطح ورودی آن تعریف می‌شود. در حالت چند ورودی و چند خروجی، دیگر نمی‌توان آن را به صورت نسبت متوسط تولید به متوسط منابع تعریف نمود؛ در این حالت از شاخص‌های مربوط به نظریه «مصرف‌کننده» در اقتصاد خرد استفاده می‌شود. فارل[4] در سال ۱۹۸۹ میلادی از تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه تغییر بهره‌وری به کمک شاخص مالم‌کوئیست استفاده کرد و در ادامه، شاخص مورد نظر را به دو مؤلفه «تغییر کارایی» و «تغییر تکنولوژیکی» تجزیه کرد. تعداد زیادی از پژوهشگران در تحقیقات خود با فرض بازده به مقیاس ثابت، نشان داده‌اند که اندیس مالم‌کوئیست نیز قابل تجزیه به دو مؤلفه مشابه «تغییرات تکنولوژی» و «تغییرات کارایی» است (شجاع، فلاح و درویش‌متولی، ۱۳۸۹). کارایی تکنیکی با استفاده از مدل‌های زیر محاسبه می‌گردد:

---

[1] Middle Data
[2] Cook
[3] Malmquist index
[4] Farell

$$D_o^t(X_o^t, Y_o^t) = Min\ \theta_o$$
$$S.t: \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}^t - \theta_o x_{io}^t \le \circ \qquad i = 1,2,...,m$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^t \ge y_{ro}^t \qquad r = 1,2,...,s \qquad (۲)$$
$$\lambda_j \ge \circ \qquad j = 1,2,..,n; \qquad \theta_o \quad \text{آزاد}$$

$$D_o^t(X_o^{t+1}, Y_o^{t+1}) = Min\ \theta_o$$
$$S.t: \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}^t - \theta_o x_{io}^{t+1} \le \circ \qquad i = 1,2,...,m$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^t \ge y_{ro}^{t+1} \qquad r = 1,2,...,s \qquad (۳)$$
$$\lambda_j \ge \circ \qquad j = 1,2,..,n; \qquad \theta_o \quad \text{آزاد}$$

$$D_o^{t+1}(X_o^t, Y_o^t) = Min\ \theta_o$$
$$S.t: \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}^{t+1} - \theta_o x_{io}^t \le \circ \qquad i = 1,2,...,m$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^{t+1} \ge y_{ro}^t \qquad r = 1,2,...,s \qquad (٤)$$
$$\lambda_j \ge \circ \qquad j = 1,2,..,n; \qquad \theta_o \quad \text{آزاد}$$

$$D_o^{t+1}(X_o^{t+1}, Y_o^{t+1}) = Min\ \theta_o$$
$$S.t: \sum_{j=1}^{n} \lambda_j x_{ij}^{t+1} - \theta_o x_{io}^{t+1} \le \circ \qquad i = 1,2,...,m$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj}^{t+1} \ge y_{ro}^{t+1} \qquad r = 1,2,...,s \qquad (۵)$$
$$\lambda_j \ge \circ \qquad j = 1,2,..,n; \qquad \theta_o \quad \text{آزاد}$$

در ادامه، به اهمّ برخی مطالعات پیشین اشاره می‌شود.

بوداغی و فرضی‌پور صائن (۲۰۱۸) به ارائه یک مدل جدید از تحلیل پوششی داده‌ها برای پیش‌بینی عضویت گروهی تامین‌کنندگان در زنجیره تامین پایدار پرداختند که متغیرهای متعددی را در حوزه فروش و توزیع دربر می‌گیرد. در این مطالعه، مدل سویوشی[1] (که در سال ۱۹۹۹ ارائه شده) توسعه یافته و یک شبکه گسترده نیز مورد سنجش قرار گرفته است.

[1] Sueyoshi

پولیاکووسکی و ورسی[1] (۲۰۱۷) به طراحی شبکه زنجیره تامین پایدار در صنعت نوشیدنی کشور استرالیا پرداخته‌اند. در این تحقیق با بهره‌گیری از یک مدل ریاضی خطی به طراحی شبکه مربوط به زنجیره تامین در صنعت نوشیدنی پرداخته شد. نتایج نشان داد شاخص‌های پایداری زنجیره تامین، تاثیر زیادی در نمره کارایی آنها داشته و در مقایسه با شاخص‌های غیرپایدار، این تفاوت قابل توجه است.

ماریدوس و همکاران[2] (۲۰۱۷) در پژوهش خود یک چارچوب مدیریت زنجیره تامین پایدار بر پایه مدل‌های کلاسیک در تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای ارائه نمود. این مدل به سنجش کارایی شرکت‌های بورس اوراق بهادار امریکا پرداخته است و نسبت به مدل‌های قبل دقیق‌تر است.

حاتمی- ماربینی، ابراهیم‌نژاد و لوزانو (۲۰۱۷) به اندازه‌گیری بازده فازی در تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از رویکرد چند هدفه در شرکت‌های حاضر در بورس ایران پرداخته‌اند. در این پژوهش یک رویکرد کاملا جدید از تحلیل پوششی داده‌ها عرضه شد که در آن، علاوه بر فازی بودن تمام ورودی و خروجی‌ها، یک روش برنامه‌ریزی چندجانبه خطی پیشنهاد شده است.

لیو (۲۰۱۳) در تحقیق خود یک مدل تلفیق قطب و اقمار جدید برای تلفیق بازاریابی سبز و مدیریت زنجیره تامین پایدار پیشنهاد کرد. این مدل در صنایع آلاینده اروپا و طی دوره زمانی پنج ساله مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد نسبت به مدل‌های پیشین از دقت بیشتری برخوردار است.

آزادی و جعفریان (۲۰۱۵) در پژوهش خود با بررسی صنعت رزین ایران، برای ارزیابی کارایی و بهبود عملکرد تامین‌کنندگان پایدار، یک روش ناپارامتری تحلیل مرز کارایی را پیشنهاد دادند که بر اساس سیستم‌های فازی و الگوریتم ژنتیک عمل می‌نماید. نتایج نشان داد الگوریتم طراحی شده، انعطاف بیش‌تری نسبت به روش‌های سنتی و کلاسیک دارد.

جهانی، صوفی، منتی و رحیمی‌نژاد (۲۰۱۳) به ترکیب روش‌های فرایند تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل پوششی داده‌ها جهت رتبه‌بندی صنایع ایران پرداختند. روش یاد شده در

---

[1] Polyakovskiy & Varasi
[2] Mariadoss

تخصیص بهینه نیروگاه‌های خورشیدی دارای انعطاف بسیار زیادی بوده و با شرایط محیطی و عدم قطعیت سازگار است و می‌تواند شاخص‌های متعدد پایداری را مد نظر قرار دهد.

علی‌محمدلو و محمدی (۱۳۹٤) ترکیب روش تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای و شاخص مالم‌کوئیست برای اندازه‌گیری پویای کارایی و رتبه‌بندی را در شرکت‌های دارویی پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار ایران مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد میزان پیشرفت و یا پسرفت نمره کارایی در دوره‌های زمانی بین سال‌های ۸۸ – ۹۳ با روش ارائه شده قابل اندازه‌گیری است.

دریجانی (۱۳۹۲) در پژوهش خود با استفاده از شاخص بهره‌وری مالم کوئیست و تحلیل فراگیر داده‌ها به محاسبه و تحلیل بهره‌وری کل عوامل تولید واحدهای زیرمجموعه صنعت کرمان خودرو در سال ۱۳۹۲ پرداخته است. نتایج این مدل در مقایسه با مدل‌های کلاسیک از دقت بیشتری برخوردار بوده و به میزان واقعی کارایی واحدهای تحت بررسی نزدیک‌تر است.

علی‌پور و هژبرکیانی (۱۳۹۱) با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم‌کوئیست به تخمین و ارزیابی تغییرات بهره‌وری کل و عناصر تعیین‌کننده آن در صنایع فلزات اساسی کارخانه‌ای حاضر در بورس ایران پرداختند. نتایج نشان داد تاثیرگذارترین عامل در تغییرات بهره‌وری کل در صنایع فلزات اساسی ایران، تغییرات تکنولوژیکی بوده است که آن هم از رشد متوسط سالیانه مثبت برخوردار بوده است.

با توجه به مطالعات صورت گرفته روشن می‌شود، بررسی عملکرد زنجیره تامین شرکت‌های سیمان حاضر در بورس اوراق بهادار به عنوان یک شبکه پیچیده بر اساس مدل تحلیل پوششی داده‌ها و تلفیق آن با شاخص بهره‌وری مالم کوئیست صورت نگرفته است. با توجه به نقش و جایگاه این صنعت در توسعه کشور، ارائه مدلی به منظور تعیین کارایی زنجیره تامین پایدار آن، با شرایط بیان شده بیش از پیش احساس می‌شود که در این مقاله به آن پرداخته شده است.

۳. روش تحقیق

این مقاله از نظر جهت‌گیری از نوع ارزیابی (کاربردی – توسعه‌ای) می‌باشد و قصد دارد؛ نخست، مدلی برای تعیین کارایی شرکت‌های سیمان حاضر در بورس و ارزیابی عملکرد زنجیره

تامین پایدار آنها در سطوح پایداری، استراتژیک، فرایندی و عملیاتی و بر اساس شاخص‌های اثرگذار در مرتبط با این سطوح ارائه دهد و به ارزیابی و تخمین عملکرد بپردازد. سپس سعی می‌شود با توسعه مفهوم مدیریت بهره‌وری مالم‌کوئیست در زنجیره تامین، میزان بهره‌وری یک شرکت اعم از پیشرفت، پسرفت یا مانایی (که معمولاً در عمل اتفاق نمی‌افتد) را به دست آورد. مزیت استفاده از این روش مقایسه عملکرد یک شرکت در سال‌های متفاوت می‌باشد. همچنین، از نظر هدف، توصیفی و از لحاظ فرایند اجرا به صورت ترکیبی و مقطعی می‌باشد.

برای آزمون مدل جدید از داده‌های واقعی صنعت سیمان کشور که در بورس اوراق بهادار حاضر هستند، در دوره زمانی سه سال متوالی ۱۳۹۳ – ۱۳۹۵ استفاده شده است. داده‌های مربوط به این شاخص‌ها از سازمان بورس اوراق بهادار ایران، فرم‌های ارزیابی سازمان محیط زیست ایران، صنف کارفرمایان صنعت سیمان و بررسی‌های میدانی جمع‌آوری شده است. شاخص‌های منتخب زنجیره تامین پایدار این صنعت بر مبنای چهار معیار کلان پایداری، استراتژیک، فرایندی و عملیاتی شناسایی گردید که بر عملکرد حوزه‌های مختلفی از جمله تامین‌کنندگان، استخراج معادن، دپارتمان تولید و توسعه، انبارهای اصلی و فرعی، توزیع، فروش و مشتریان اثر می‌گذارد. شاخص‌های کلیدی در شاخص‌هایی فرعی نظیر مالی و اقتصادی، زیست محیطی و عملکرد اجتماعی بسط یافته است.[۱]

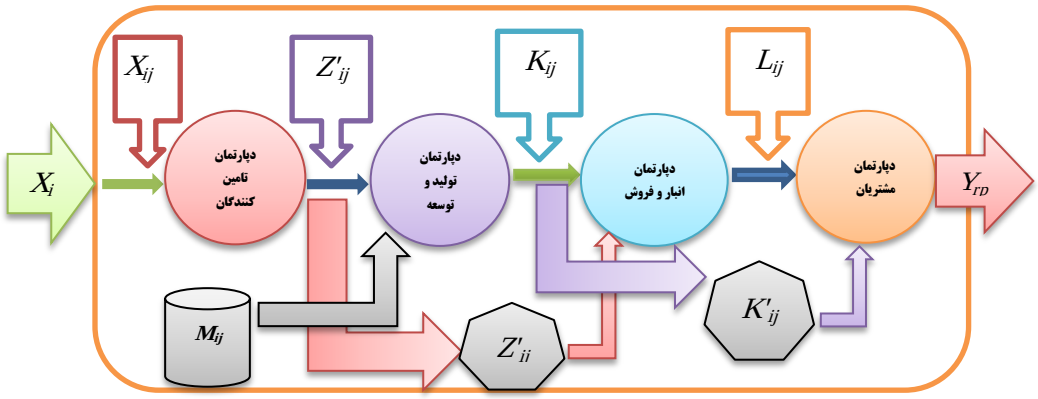
وجود خروجی‌های نامطلوب مانند انتشار غبار، انتشار گازهای گلخانه‌ای، وجود مواد غیرقابل بازیافت و رها شده در طبیعت (که عملاً موجب ناکارایی و عملکرد منفی زنجیره‌های تامین صنعت سیمان شده‌اند و بر بهره‌وری اثر نامطلوبی دارند) سبب شده است در این مقاله شاخص‌های یاد شده با ماهیت ورودی و با مقداری جریمه به دلیل عملکرد خارج از سطح استاندارد در نظر گرفته شود.

– مدل تحلیل پوششی داده‌ها با ساختار شبکه

همان طور که در بخش ادبیات، بیان شد؛ یک شبکه زنجیره تامین پایدار کامل از چهار مرحله «تامین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری» تشکیل یافته است. در این بخش، زنجیره تامین پایدار کارخانه‌های سیمان به صورت شکل (۱) عرضه شده است.

---

[۱] به دلیل رعایت اختصار، از بحث تفصیلی شاخص‌ها خودداری شد. توضیح تفصیلی در رساله موجود است.



شکل ۱. زنجیره تامین پایدار

منبع: یافته‌های تحقیق

در این تصویر، ورودی‌های هر مرحله خروجی‌های مرحله بعدی بوده و برخی مراحل دارای ورودی یا خروجی مستقل هستند. در ادامه برای تصریح مدل، متغیرها و تشریح نمادها در جدول (۱) معرفی شده است.

جدول ۱. نمادها و متغیرهای مدل ریاضی (شبکه زنجیره تامین پایدار)[۱]

پارامتر	تعریف	پارامتر	تعریف
X_{ij}	متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار ورودی به شبکه زنجیره تامین است. این بردار وارد مرحله اول می‌شود.	P_0	مقدار کارایی نسبی DMU تحت ارزیابی است.
Z_{ij}	متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی مرحله اول و نیز ورودی مرحله دوم در شبکه زنجیره تامین است.	j	تعداد واحد تصمیم‌گیرنده $j = 1,2,\dots,n$
K_{ij}	متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی مرحله دوم و نیز ورودی مرحله سوم در شبکه زنجیره تامین است.	i	معرف تعداد ورودی‌ها $i = 1,2,\dots,m$
L_{ij}	متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی مرحله سوم و نیز ورودی مرحله چهارم در شبکه زنجیره تامین است.	r	معرف تعداد خروجی‌ها $r = 1,2,\dots,s$

[۱] گفتنی است برای رعایت اختصار، منابع و مآخذ نمادها و متغیرها در رساله موجود است. در صورت نیاز ارائه خواهد شد.

پارامتر	تعریف	پارامتر	تعریف
Y_{ro}	متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی مرحله اول و نیز ورودی مرحله دوم در شبکه زنجیره تامین است.	S	معرف سلول یا بخشی از زنجیره تامین پایدار (مرحله) r = 1,2,3,4
Z'_{ij}	متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی مرحله اول و نیز ورودی مرحله سوم در شبکه زنجیره تامین است.	Ur	وزن داده‌های خروجی rام
K'_{ij}	متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی مرحله دوم و نیز ورودیمرحله چهارم در شبکه زنجیره تامین است.	Vi	وزن داده‌های ورودی i ام
S^-	بردارهای Slack ورودی	Mi	مقدار جریمه خروجی‌های نامطلوب
S^+	بردارهای Slack خروجی	μ	کنترل وزنی پارامتر K
V	کنترل وزنی پارامتر X	ρ	کنترل وزنی پارامتر $\mathbf{K'}$
W	کنترل وزنی پارامتر Z	μ′	کنترل وزنی پارامتر L
W′	کنترل وزنی پارامتر Z’	U	کنترل وزنی پارامتر Y

منبع یافته‌های پژوهش

- تابع هدف و قیدهای اصلی

تابع هدف مدل طراحی شده، مقدار کارایی نسبی زنجیره‌های تامین پایدار را محاسبه می‌کند. با توجه به ساختار مدل SBM تابع هدف مدل به صورت زیر خواهد بود. در مدل جدید، مقدار P_0^*، «کارایی کل ماهیت ورودی DMU» نامیده می‌شود. اگر داشته باشیم: ۱= P_0^*؛ آن گاه DMU در ماهیت ورودی، به طور کلی، «کارا» نامیده می‌شود.

با توجه به نوع ارتباط متغیرهای اصلی در مساله و ارتباط بین سلول‌های شبکه تامین باید قیدهای اصلی تدوین شود؛ به گونه‌ای که اول، ارتباط یاد شده را پوشش دهد و دوم، پیوندهای برقرار شده توسط قیدها نقض نشود. این دو اصل با توجه به تعریف چهار λ_j تدوین می‌شود.

$$\min P_0 = \frac{1 - \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}\frac{S_i^-}{|X_{ip}|}}{1 + \frac{1}{S}\sum_{r=1}^{s}\frac{S_r^+}{|Y_{rp}|}} \qquad (٦)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\lambda_j^1 Z X_j + S_i^- = X_p} \qquad \sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\lambda_j^3 L_j \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^4 L_j}$$

$$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\lambda_j^1 Z_j \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 Z_j} \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^4 Y_j - S_r^+ = Y_p$$

$$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\lambda_j^1 Z'_j \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 Z'_j} \qquad \lambda^1 \geq 0\,, \lambda^2 \geq 0, \lambda^3 \geq 0\,, \lambda^4 \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\lambda_j^2 K_j \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 K_j} \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 = 1\,, \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 = 1\,, \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 = 1\,, \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^4 = 1$$

$$\sum_{j=1}^{n} \boldsymbol{\lambda_j^2 K'_j \geq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^4 K'_j}$$

با توجه به ساختار شبکه تامین و رعایت روابط بین ورودی و خروجی‌ها که در شکل (۱) آمده است و استفاده از نمادها و متغیرها که به طور کامل در جدول (۱) توضیح داده شد، مدل مد نظر در این مقاله به صورت مجموعه معادلات (٦) طراحی شد. اما با توجه به اینکه مدل فوق یک مدل غیرخطی است، باید مدل را خطی‌سازی نموده و در نتیجه، مدل (۷)، که همان مدل توسعه یافته و خطی شده مدل SBM می‌باشد، به صورت زیر عرضه می‌شود.

$$\boldsymbol{min\ \varphi - \frac{1}{m} \sum_{i}^{n} \frac{s_i^-}{|x_{ip}|}} \qquad (۷)$$

$$\boldsymbol{Q(q + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^{s} \frac{S_r^+}{|Y_{rp}|}) = 1} \qquad \mu(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 K_j - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 K_j\ ) \geq 0$$

$$V(-\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_j - S^- + X_p q) \geq 0 \qquad (\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 K'_j - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^4 K'_j) \geq 0$$

$$W(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_j - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 Z_j) \geq 0 \qquad \mu'(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 L_j - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^4 L_j) \geq 0$$

$$W'(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z'_j - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 Z'_j) \geq 0 \qquad U(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^4 Y_j - S^+ - Y_p\, q) \geq 0$$

$$u_0^1(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 - q) = 0\,, u_0^2\left(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 - q\right) = 0\,, u_0^3(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 - q) = 0\,, u_0^4\,(\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^4 - q) = 0$$

بر همین اساس، از مدل (۷)، برای به دست آوردن کارایی کل زنجیره تامین پایدار شرکت‌های سیمان حاضر در بورس ایران استفاده می‌شود؛ اما برای به دست آوردن میزان کارایی مراحل مختلف در زنجیره تامین باید مدل ثانویه (۷) درنظر گرفته شود. بدین منظور، این مدل ثانویه به صورت زیر (مدل ۸) ارائه می‌شود.

$$
\begin{aligned}
&max\ \varphi \\
&-\boldsymbol{VX_j} + \boldsymbol{WZ_j} + \boldsymbol{W'Z_j}' + \boldsymbol{u_0^1} \le \boldsymbol{0}\ ,\forall \boldsymbol{j} \\
&-\boldsymbol{WZ_j} + \boldsymbol{\mu K_j} + \boldsymbol{\rho K_j'} + \boldsymbol{u_0^2} \le \boldsymbol{0}\ ,\forall \boldsymbol{j} \\
&-\boldsymbol{W'Z_j}' - \boldsymbol{\mu K_j} + \boldsymbol{\mu' L_j} + \boldsymbol{u_0^3} \le \boldsymbol{0}\ \ ,\forall \boldsymbol{j} \\
&-\boldsymbol{\rho}\ \boldsymbol{K_j'} - \boldsymbol{\mu' L_j} + \boldsymbol{UY_j} + \boldsymbol{u_0^4} \le \boldsymbol{0}\ \ ,\forall \boldsymbol{j} \\
&\boldsymbol{\varphi}\left(\frac{\boldsymbol{1}}{\boldsymbol{S|Y_{rp}|}}\right) - \boldsymbol{u_r} \le \boldsymbol{0}\ \ ,\forall \boldsymbol{j} \\
&-\boldsymbol{v_i} \le \frac{\boldsymbol{-1}}{\boldsymbol{m|x_{rp}|}}\ ,\forall \boldsymbol{j} \\
&\boldsymbol{\varphi} + \boldsymbol{VX_P} - \boldsymbol{UY_P} - \boldsymbol{u_0^1} - \boldsymbol{u_0^2} - \boldsymbol{u_0^3} - \boldsymbol{u_0^4}\ \le \boldsymbol{1} \\
&\boldsymbol{\varphi}\ \text{آزاد در علامت}\ \boldsymbol{U_0}\text{ها و} \\
&\boldsymbol{V, U, W, \mu, \mu', W'} \ge \boldsymbol{0}
\end{aligned}
\qquad (۸)
$$

در ادامه، جهت اعمال محدودیت‌های وزنی (روابط ۹) به این مدل ثانویه اضافه می‌شود تا نتایج دقیق‌تری در سنجش کارایی زنجیره تامین حاصل شود.

$$
\begin{aligned}
&\mathrm{V_1} \ge \frac{0.174}{0.146}\mathrm{V_2} \qquad \mathrm{V_2} \ge \frac{0.146}{0.133}\mathrm{V_5} \qquad \mathrm{V_5} \ge \frac{0.133}{0.120}\mathrm{V_7} \\
&\mathrm{W_6} \ge \frac{0.165}{0.132}\mathrm{W_3} \quad , \ \mathrm{W_3} \ge \frac{0.132}{0.116}\mathrm{W_7} \qquad \mathrm{W_7} \ge \frac{0.116}{0.103}\mathrm{W_8} \\
&\mu'_3 \ge \frac{0.147}{0.146}\mu'_2 \qquad \mu'_2 \ge \frac{0.146}{0.140}\mu'_6 \qquad \mu'_6 \ge \frac{0.140}{0.122}\mu'_1 \\
&\mathrm{W_2'} \ge \frac{0.139}{0.133}\mathrm{W_1'} \qquad \mathrm{W_1'} \ge \frac{0.133}{0.103}\mathrm{W_3'} \qquad \rho_2' \ge \frac{0.181}{0.163}\rho_1' \\
&,\ \rho_1' \ge \frac{0.163}{0.137}\rho_3' \qquad \rho_3' \ge \frac{0.137}{0.134}\rho_4' \qquad \mathrm{u_5} \ge \frac{0.176}{0.158}\mathrm{u_{14}} \\
&\mathrm{u_{14}} \ge \frac{0.158}{0.149}\mathrm{u_4} \qquad \mathrm{u_4} \ge \frac{0.149}{0.140}\mathrm{u_6} \qquad \mathrm{u_6} \ge \frac{0.140}{0.139}\mathrm{u_9} \\
&\mathrm{u_9} \ge \frac{0.139}{0.138}\mathrm{u_{12}} \qquad \mathrm{u_{12}} \ge \frac{0.138}{0.133}\mathrm{u_{13}} \qquad \mathrm{u_{13}} \ge \frac{0.133}{0.131}\mathrm{u_1}
\end{aligned}
\qquad (۹)
$$

٤. تجزیه و تحلیل یافته‌ها

برای حل مدل با نظر خبرگان مقدار برخی از پارامترهای مدل به صورت جدول (۲) تعیین شده است و بر این اساس، مدل شبکه‌ای طراحی شده با این ضرائب حل شده است. داده‌ها در نرم‌افزار گمز[1] و بر اساس مدل جدید صورت‌بندی شده که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد.

قیدهای مربوط به سطوح اول زنجیره تامین پایدار

$$
\begin{aligned}
&\boldsymbol{a \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{1j} \le b} && \boldsymbol{(g)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{2j} \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{6j} \le (e)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{2j}}\\
&\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{2j} \le (c)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 L_{6j}} && \boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{7j} \le (h)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 L_{6j}}\\
&\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{3j} \le (d)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{9j}} && \boldsymbol{o \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{8j} \le p}\\
&\boldsymbol{(e)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 L_{6j} \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{5j} \le (f)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 L_{6j}} && \boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 X_{10j} \le (q)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 L_{6j}}
\end{aligned}
\qquad (۱۰)
$$

قیدهای مربوط به سطح دوم زنجیره تامین پایدار

$$
\begin{aligned}
&\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{1j} \ge (n)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{9j}} && \boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{7j} \le (ac)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 L_{6j}}\\
&\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{2j} \le (ab)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 K_{2j}} && \boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{8j} \le (ad)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^3 L_{6j}}\\
&\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{3j} \le (e)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 K_{2j}} && \boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{10j} \le (ac)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 K_{2j}}\\
&\boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{4j} \le (q)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{9j}} && \boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{11j} \le (af)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 K_{2j}}\\
&\boldsymbol{a \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{5j} \le b} && \boldsymbol{\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{12j} \le (ag)\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^2 K_{2j}}\\
&\boldsymbol{a \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^1 Z_{6j} \le b}
\end{aligned}
\qquad (۱۱)
$$

[1] GAMS

قیدهای مربوط به سطح دوم و فرعی اول زنجیره تامین پایدار

$$(\mathbf{ao})\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Z_{9j}\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{1j}\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Z_{9j} \qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{5j}Bad\le ar$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{2j}\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Z_{9j} \qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{6j}Bad\le as \qquad (۱۲)$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{3j}Bad\le ap \qquad a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{7j}\le b$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{4j}Bad\le aq \qquad a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{10j}\le b$$

قیدهای مربوط به سطح سوم و فرعی دوم زنجیره تامین پایدار

$$a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Z'_{1j}\le b \qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Z'_{3j}\le(ah)\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{6j}$$
$$(۱۳)$$
$$a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Z'_{2j}\le b \qquad a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 Z'_{4j}\le b$$

قیدهای مربوط به سطح چهارم و فرعی سوم

$$a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K'_{1j}\le b \qquad a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K'_{4j}\le b$$
$$a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K'_{2j}\le b \qquad a\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K'_{5j}\le b \qquad (۱٤)$$
$$(q)\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{6j}\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K'_{3j}\le(ac)\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{6j}$$

قیدهای مربوط به سطح سوم زنجیره تامین پایدار

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{1j}\le(au)\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{6j} \qquad o\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{4j}\le(an)\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2 K_{2j}$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{2j}\le\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^4 Y_{1j} \qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{5j}\le[(\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 k_{1j})\times bc]\times(be) \qquad (۱۵)$$
$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^3 L_{3j}\le(ab)\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1 k_{1j}$$

قیدهای مربوط به سطح چهارم زنجیره تامین پایدار

$$\begin{aligned}
&\mathbf{a} \le \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}} \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{j}}^{\mathbf{4}} \mathbf{Y_{2j}} \le \mathbf{b} && \mathbf{a} \le \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}} \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{j}}^{\mathbf{4}} \mathbf{Y_{9j}} \le \mathbf{b} \\
&\mathbf{a} \le \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}} \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{j}}^{\mathbf{4}} \mathbf{Y_{3j}} \le \mathbf{b} && \mathbf{a} \le \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}} \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{j}}^{\mathbf{4}} \mathbf{Y_{10j}} \le \mathbf{b} \\
&\mathbf{bg} \le \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}} \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{j}}^{\mathbf{4}} \mathbf{Y_{7j}} \le \mathbf{bh} && \mathbf{a} \le \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}} \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{j}}^{\mathbf{4}} \mathbf{Y_{13j}} \le \mathbf{b} \\
&\mathbf{bg} \le \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}} \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{j}}^{\mathbf{4}} \mathbf{Y_{8j}} \le \mathbf{bh} && \mathbf{a} \le \sum_{\mathbf{j=1}}^{\mathbf{n}} \boldsymbol{\lambda}_{\mathbf{j}}^{\mathbf{4}} \mathbf{Y_{14j}} \le \mathbf{b}
\end{aligned} \qquad (۱۶)$$

جدول ۲. ضرائب متغیرهای تصمیم

$j = 1, 2, \dots, 42$	$a = 1$	$b = 5$	$c = 0.02$	$d = 7.2$	$e = 0.05$
$f = 0.012$	$g = 0.03$	$h = 0.25$	$o = 0$	$p = 70000$	$q = 0.03$
$n = 32$	$ab = 1.65$	$ac = 0.1$	$ad = 0.35$	$ac = 110$	$af = 99.6$
$ag = 2.6$	$ah = 0.8$	$ao = 0.6$	$ap = 130$	$aq = 500$	$ar = 2200$
$as = 700$	$au = 0.07$	$an = 1.1$	$bc = 20$	$be = 1.15$	$bg = -100$
$bh = 100$	$bo = 70$	-	-	-	-

منبع: یافته‌های پژوهش

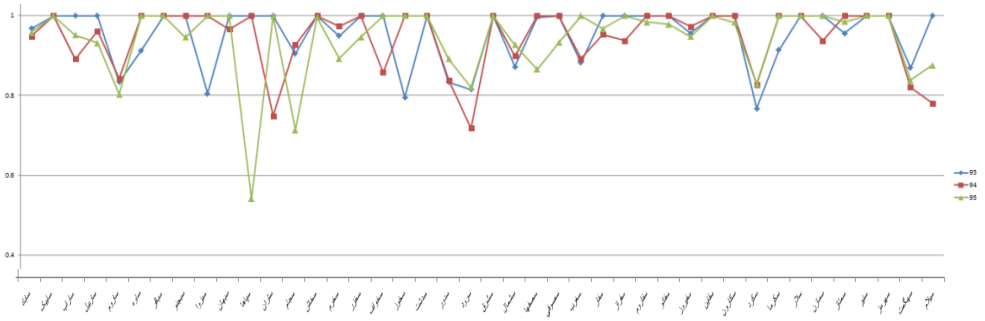
پس از حل مدل، نتایج مربوط به وضعیت ٤٢ زنجیره تحت بررسی بر اساس مدل ارائه شده در این مقاله مطابق با جدول (۳) ارائه شده است. کارخانه‌هایی که دارای نمره کارایی (۱/۰۰) می‌باشند، به عنوان «زنجیره‌های تامین کارا» تلقی می‌شوند و پایین‌تر از این نمره، «ناکارا» هستند.

نتایج نشان می‌دهد در سال ۹۳ تعداد ٢٤ زنجیره تامین توانسته‌اند پایداری مناسبی داشته باشند و به مرز کارایی دست یابند. در سال ۹٤ این تعداد به ۲۱ زنجیره کاهش یافته است و در سال ۹۵ تعداد زنجیره‌های تامین پایدار کارا به ۱۸ رسیده است. با وجود تدوین قوانین و مقررات پیرامون پایداری محیط زیست در حوزه صنعت، معدن و تجارت، روند ارزیابی عملکرد در این ۳ سال نزولی است.

به نظر می‌رسد در استفاده بهینه از منابع و کنترل تولید و عملیات به لحاظ تولید خروجی‌های نامطلوب و مضر برای محیط زیست عملکرد مطلوبی در طول زنجیره‌های تامین

مورد بررسی وجود ندارد. افزون بر این، موضوع فرایندهای برنامه‌ریزی تولید، عرضه و فروش به لحاظ سودآوری و شاخص‌های وابسته در مسیر رسیدن به حداکثر بهره‌وری نیز، چندان مناسب نمی‌باشد. البته، برخی از این زنجیره‌ها توانسته‌اند در مصرف ورودی‌ها و تولید خروجی‌ها شایسته عمل کنند؛ اما، در مجموع، وضعیت عملکرد به لحاظ پایداری زنجیره تامین قابل تامّل است.

برای تعیین میزان بهره‌وری در زنجیره تامین پایدار کارخانه‌های سیمان و شناخت وضعیت پیشرفت یا پسرفت آنان در طول بازه زمانی مورد بررسی از شاخص مالم‌کوئیست استفاده شده است.



نمودار۱. نمودار تغییرات کارایی زنجیره تامین پایدار صنعت سیمان در طی سال‌های مورد بررسی

منبع: یافته‌های پژوهش

جدول ۳. نتایج حاصل از پیاده‌سازی و حل مدل تحلیل پوششی داده‌ها با ساختار شبکه

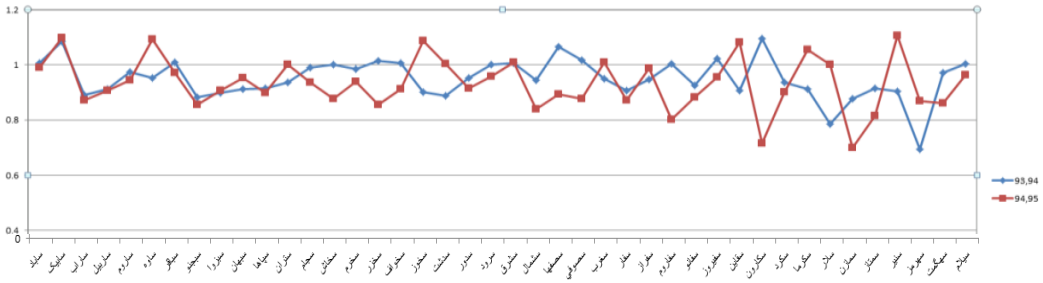
ردیف	نام زنجیره صنعت	نمرات کارایی در زنجیره تامین پایدار بر اساس مدل جدید			ردیف	نام زنجیره صنعت	نمرات کارایی در زنجیره تامین پایدار بر اساس مدل جدید		
		سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۹٤	سال ۱۳۹۵			سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۹٤	سال ۱۳۹۵
۱	ساباد	۰/۹٦۸	۰/۹۸٤	۰/۹۵۷	۲۲	سشرق	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۲	سابیک	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۲۳	سشمال	۰/۸۷۲	۰/۸۹۸	۰/۹۲٦
۳	ساراب	۱/۰۰	۰/۸۹۱	۰/۹۵۱	۲٤	سصفها	۰/۹۹۵	۱/۰۰	۰/۸٦۵

ردیف	نام زنجیره صنعت	نمرات کارایی در زنجیره تامین پایدار بر اساس مدل جدید			ردیف	نام زنجیره صنعت	نمرات کارایی در زنجیره تامین پایدار بر اساس مدل جدید		
		سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۹٤	سال ۱۳۹۵			سال ۱۳۹۳	سال ۱۳۹٤	سال ۱۳۹۵
٤	ساربیل	۱/۰۰	۰/۹٦۱	۰/۹۳۱	۲۵	سصوفی	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۳۲
۵	ساروم	۰/۸۳۳	۰/۸٤۲	۰/۸۰۳	۲٦	سغرب	۰/۸۸۲	۰/۸۹۲	۱/۰۰
٦	ساوه	۰/۹۱۳	۱/۰۰	۱/۰۰	۲۷	سفار	۱/۰۰	۰/۹۵۳	۰/۹٦۷
۷	سباقر	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۲۸	سفراز	۱/۰۰	۰/۹۳۷	۱/۰۰
۸	سبجنو	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹٤٦	۲۹	سفاروم	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸٤
۹	سبزوا	۰/۸۰٤	۱/۰۰	۱/۰۰	۳۰	سفانو	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۷۸
۱۰	سبهان	۱/۰۰	۰/۹٦٦	۱/۰۰	۳۱	سفیروز	۰/۹۵۹	۰/۹۷۲	۰/۹٤۷
۱۱	سپاها	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۵٤۰	۳۲	سقاین	۰/۹۹۹	۱/۰۰	۱/۰۰
۱۲	ستران	۱/۰۰	۰/۷٤۸	۱/۰۰	۳۳	سکارون	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۸۲
۱۳	سجام	۰/۹۰٤	۰/۹۲٦	۰/۷۱۳	۳٤	سکرد	۰/۷٦۷	۰/۸۲۷	۰/۸۲۹
۱٤	سخاش	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹۹٦	۳۵	سکرما	۰/۹۱٤	۱/۰۰	۱/۰۰
۱۵	سخرم	۰/۹٤۹	۰/۹۷۳	۰/۸۹۲	۳٦	سلار	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۱٦	سخزر	۱/۰۰	۱/۰۰	۰/۹٤٦	۳۷	سمازن	۱/۰۰	۰/۹۳٦	۱/۰۰
۱۷	سخواف	۱/۰۰	۰/۸۵۸	۱/۰۰	۳۸	سمتاز	۰/۹۹۵	۱/۰۰	۰/۹۸٤
۱۸	سخوز	۰/۷۹۵	۱/۰۰	۱/۰۰	۳۹	سنیر	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۱۹	سدشت	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	٤۰	سهرمز	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰
۲۰	سدور	۰/۸۳۳	۰/۸۳۸	۰/۸٤۱	٤۱	سهگمت	۰/۸٦۹	۰/۸۲۰	۰/۸۳۸
۲۱	سرود	۰/۸۱۵	۰/۸۱۷	۰/۸۲۰	٤۲	سیلام	۱/۰۰	۰/۷۸۰	۰/۸۷۵

منبع: نتایج حاصل از اجرای مدل

با توجه به مقایسه صورت گرفته به وسیله شاخص مالم‌کوئیست، مشاهده می‌شود در بررسی مربوط به دوره اول تحت مطالعه در دوره زمانی سال ۱۳۹۳ –۱۳۹٤، تعداد ۱٤ زنجیره تامین دارای عملکرد مثبتی نسبت به سنوات قبل بوده‌اند و رشد نسبی داشته‌اند که با کلمه پیشرفت در جدول (٤) مشخص شده‌اند. در بررسی مربوط به مقایسه بهره‌وری در دوره زمانی ۱۳۹٤–۱۳۹۵، در مجموع، ۱۱ زنجیره تامین توانسته‌اند نسبت به دوره قبل دارای پیشرفت

باشند. روند تغییرات مربوط به پیشرفت عملکرد و بهبود بهره‌وری و یا پسرفت عملکرد و نزول بهره‌وری در طی دوره‌های مورد ارزیابی به صورت زیر می‌باشد.



نمودار۲. روند تغییرات پسرفت و پیشرفت زنجیره تامین پایدار صنعت سیمان بر اساس شاخص مالم‌کوئیست

جدول ٤. نتایج حاصل از پیاده‌سازی و حل مدل جدید و شاخص بهره‌وری مالم کوئیست

ردیف	نام زنجیره	نمرات شاخص مالم‌کوئیست و وضعیت زنجیره تامین پایدار				ردیف	نام زنجیره	نمرات شاخص مالم‌کوئیست و وضعیت زنجیره تامین پایدار			
		دوره ۹۳ و ۹٤	وضعیت	دوره ۹٤ و ۹۵	وضعیت			دوره ۹۳ و ۹٤	وضعیت	دوره ۹٤ و ۹۵	وضعیت
۱	ساباد	۱/۰۰۵	(+)	۰/۹۹۱	(-)	۲۲	سشرق	۱/۰۰۵	(+)	۱/۰۰۹	(+)
۲	سابیک	۱/۰۸۵	(+)	۱/۰۹۹	(+)	۲۳	سشمال	۰/۹٤۵	(-)	۰/۸۳۹	(-)
۳	ساراب	۰/۸۹۰	(-)	۰/۸۷۱	(-)	۲٤	سصفها	۱/۰٦٦	(+)	۰/۸۹۲	(-)
٤	ساربیل	۰/۹۱۳	(-)	۰/۹۰٦	(-)	۲۵	سصوفی	۱/۰۱٦	(+)	۰/۸۷٦	(-)
۵	ساروم	۰/۹۷۳	(-)	۰/۹٤۳	(-)	۲٦	سغرب	۰/۹٤۹	(-)	۱/۰۰۸	(+)
٦	ساو	۰/۹۵۳	(-)	۱/۰۹۱	(+)	۲۷	سفا	۰/۹۰۸	(-)	۰/۸۷۱	(-)
۷	سباقر	۱/۰۰۹	(+)	۰/۹۷۲	(-)	۲۸	سفرا	۰/۹٤٦	(-)	۰/۹۸۷	(-)
۸	سبج	۰/۸۸۲	(-)	۰/۸۵۵	(-)	۲۹	سفارو	۱/۰۰٤	(+)	۰/۸۰۲	(-)
۹	سبزوا	۰/۸۹۹	(-)	۰/۹۰۸	(-)	۳۰	سفانو	۰/۹۲٦	(-)	۰/۸۸۲	(-)
۱۰	سبهان	۰/۹۱۳	(-)	۰/۹۵۳	(-)	۳۱	سفیرو	۱/۰۲۲	(+)	۰/۹۵۵	(-)
۱۱	سپاه	۰/۹۱۵	(-)	۰/۸۹۷	(-)	۳۲	سقا	۰/۹۰٦	(-)	۱/۸۳۲	(+)
۱۲	ستران	۰/۹۳۵	(-)	۱/۰۰	(+)	۳۳	سکارو	۰/۰۹۵	(+)	۰/۷۱٦	(-)
۱۳	سجام	۰/۹۹۰	(-)	۰/۹۳۵	(-)	۳٤	سکرد	۰/۹۳۵	(-)	۰/۹۰۰۵	(-)

ردیف	نام زنجیره	نمرات شاخص مالم‌کوئیست و وضعیت زنجیره تامین پایدار				ردیف	نام زنجیره	نمرات شاخص مالم‌کوئیست و وضعیت زنجیره تامین پایدار			
		دوره ۹۳ و ۹٤	وضعیت	دوره ۹٤ و ۹۵	وضعیت			دوره ۹۳ و ۹٤	وضعیت	دوره ۹٤ و ۹۵	وضعیت
۱٤	سخا	۱/۰۰	(+)	۰/۸۷٦	(-)	۳۵	سکر	۰/۹۱۳	(-)	۱/۰۵٦۲	(+)
۱۵	سخر	۰/۹۸۵	(-)	۰/۹۳۸	(-)	۳٦	سلار	۰/۷٤۸	پسرفت	۱/۰۰	پیشرفت
۱٦	سخزر	۱/۰۱٤	(+)	۰/۸۵۵	(-)	۳۷	سمازن	۰/۸۷۷	پسرفت	۰/٦۹۹	پسرفت
۱۷	سخوا	۱/۰۰٦	(+)	۰/۹۱۳	(-)	۳۸	سمتاز	۰/۹۱۵	پسرفت	۰/۸۱۵	پسرفت
۱۸	سخوز	۰/۹۰۲	(-)	۱/۰۸٦	(+)	۳۹	سنیر	۰/۹۰۵	پسرفت	۱/۱۰۵	پیشرفت
۱۹	سدش	۰/۸۸۹	(-)	۱/۰٤۰	(+)	٤۰	سهرمز	۰/٦۹٤	پسرفت	۰/۸٦۹	پسرفت
۲۰	سد	۰/۹۵۳	(-)	۰/۹۱٤	(-)	٤۱	سه	۰/۹۷۰	پسرفت	۰/۸٦۲	پسرفت
۲۱	سرو	۱/۰۰	(+)	۰/۹۵٦	(-)	٤۲	سیلا	۱/۰۰٤	پیشرفت	۰/۹٦۲	پسرفت

منبع: یافته‌های پژوهش علامت (+) در جدول، بیانگر پیشرفت عملکرد یک دوره نسبت به دروه ماقبل و علامت (-) نشان‌دهنده میزان پسرفت یک دوره نسبت به دوره پیشین است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این مقاله به ارائه رویکردی تلفیقی از روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست به منظور ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار صنعت سیمان حاضر در بورس اوراق بهادار پرداخته است.

یکی از مهم‌ترین الزامات شرکت‌ها به منظور حفظ تداوم عملکرد مثبت در فضای بورس و افزایش ارزش سهام، سنجش کارایی است. در گذشته این سنجش عملکرد عموماً بر پایه شاخص‌های مالی استوار بوده است و از لحاظ سایر عوامل بررسی دقیقی صورت نمی‌گرفت.

با توجه به فضای رقابتی این شرکت‌ها در حفظ منابع مادی و جلب رضایت سهام‌داران و مشتریان، توجه به عوامل اجتماعی، فرهنگی و تمرکز بر شاخص‌های پایداری در طول زنجیره تامین دارای اهمیت است. بنابراین، شرکت‌های حاضر در بورس را در مسیری قرار داده است تا بتوانند هم‌زمان با افزایش کارایی و ایجاد تراز مثبت مالی در سود و سهام و غیره به عوامل پایداری و زیست محیطی زنجیره تامین نیز توجه داشته باشند؛ زیرا رویکرد پایداری می‌تواند به عنوان بهترین کاتالیزور و تسهیل‌گر برای تحقق اهداف مالی باشد.

برای دست‌یابی به این هدف، استفاده از مدل‌ها و تکنیک‌های کاربردی ضرورت دارد. بیش‌تر مدل‌هایی که تاکنون ارائه شده است، شاخص‌های زنجیره تامین را از سه بعد استراتژیک، فرایندی و عملیاتی بررسی نموده و بر پایه مدل‌های سنتی یا شبکه ساده از تحلیل پوششی داده‌ها استوار بوده است و لزوماً نمی‌توانند یک شبکه گسترده چندمرحله‌ای را ارزیابی نمایند.

بر همین اساس، در این مقاله مدلی از تحلیل پوششی‌داده‌ها با ساختار شبکه‌ای ارائه گردید تا به وسیله آن پیچیدگی روابط زنجیره تامین پایدار در شرکت‌های سیمان حاضر در بورس ارزیابی شود و قابلیت تلفیق با شاخص بهره‌وری مالم‌کوئیست را داشته باشد.

با توجه به ارزیابی عملکرد شرکت‌های سیمان حاضر در بورس به وسیله مدل جدید، نتایج نشان داد در هر دوره تقریباً نیمی از زنجیره‌های تامین مورد بررسی نتوانسته‌اند خود را به مرز کارایی برسانند. به طور کلی و بر اساس نتایج می‌توان زنجیره تامین پایدار این صنعت را به سه دسته تقسیم کرد؛ دسته اول، هم در بخش پایداری و حفظ محیط زیست ضعیف عمل نموده‌اند و هم نتوانسته‌اند به جنبه‌های استراتژیکی، فرایندی و عملیاتی مناسبی دست یابند. مصرف نهاده‌ها و تولید خروجی متناسب با آن‌ها چندان مطلوب نیست؛ زیرا افزون بر تولید خروجی‌های نامطلوب متغیرهایی نظیر فروش، درآمد و سود نیز متناسب با اهداف به دست نیامده است. تعداد ۱۰ شرکت سیمان حاضر در بورس در این دسته قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از: ساباد، ساروم، سجام، سخرم، سدور، سرود، سشمال، سفیروز، سکرد و سهگمت.

دسته دوم زنجیره تامین، کارا بوده‌اند که توانسته‌اند طی سه دوره مورد بررسی عملکرد مطلوبی از خود به جای بگذارند و شرایط خوب خود را حفظ کنند. تعداد ۷ کارخانه سیمان حاضر در بورس در این دسته قرار می‌گیرند که عبارت‌اند از: سابیک، سباقر، سشرق، سنیر، سهرمز، سدشت و سلار.

تعداد ۲۸ کارخانه سیمان دیگر که در دسته سوم جای می‌گیرند، دارای نوسانات عملکردی هستند؛ به گونه‌ای که در یک سال، کارا بوده و در سال‌های دیگر، با کاهش نمره کارایی، در وضعیت ناکارا قرار گرفته‌اند. با توجه به مقایسه صورت گرفته در خصوص بهره‌وری زنجیره تامین پایدار صنعت سیمان به وسیله شاخص مالم‌کوئیست، مشاهده می‌شود در بررسی مربوط به دوره اول مورد مطالعه (یعنی، سال‌های ۹۳ و ۹٤) تعداد ١٤ زنجیره تامین دارای عملکرد مثبتی نسبت به سال‌های قبل بوده‌اند و رشد نسبی داشته‌اند. در بررسی مربوط به مقایسه

بهره‌وری زنجیره تامین پایدار در دوره دوم مورد (یعنی، سال‌های ۹۴ و ۹۵)، مشاهده می‌شود ۱۱ زنجیره تامین توانسته‌اند نسبت به دوره قبل دارای پیشرفت می‌باشند. نام این کارخانه‌ها در جدول نتایج (۷) ارائه شده است.

پیشنهاد می‌شود زنجیره‌های تامین ناکارا، از زنجیره‌های کارا الگوبرداری نمایند تا در آینده بتوانند خود را در شرایط مطلوب قرار دهند. با رعایت این موضوع و نزدیک شدن به مرز کارایی، به تبع در مقایسه بهره‌وری این زنجیره‌ها نسبت به دوره‌های گذشته نیز شاهد رشد عملکردی خواهیم بود.

در پایان گفتنی است مدل تلفیقی ارائه شده در این مقاله قادر است بازخورد مناسبی از وضعیت عملکرد زنجیره‌های تامین با رویکرد پایداری ارائه نماید و به ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار شرکت‌های سیمان حاضر در بورس بپردازد و حتی در سایر صنایع استراتژیک حاضر در بورس نیز به کار گرفته شود. بدون شک، برای کارخانه‌های سیمان حاضر در بورس افزون بر شاخص‌های مالی زنجیره تامین، شاخص‌های پایداری محیط زیست نیز باید مد نظر قرار گیرد که مدل شبکه‌ای ارائه شده قادر است با تلفیق این شاخص‌ها نمره کارایی نزدیک به واقعیت را ارائه نماید.

منابع

- جهانشاهلو، غلامرضا، حسین‌زاده، فرهاد، نیکومرام، هاشم (۱۳۸۷). مقدمه‌ای بر تحلیل پوششی داده‌ها و کاربردهای آن. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
- دریجانی، موسی (۱۳۹۲). محاسبه و تحلیل شاخص بهره‌وری کل عوامل تولید در صنایع خودروسازی با استفاده از تحلیل فراگیر داده‌ها و مالم‌کوئیست) مطالعه موردی: سالن رنگ کرمان موتور. دومین کنفرانس ملی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد.
- شجاع، نقی، فلاح جلودار، مهدی، درویش‌متولی، محمد حسین (۱۳۸۹). ارزیابی کارایی واحدهای دانشگاهی بر اساس مدل چند مولفه‌ای در تحلیل پوششی داده‌ها و شاخص مالم‌کوئیست. *فصلنامه مدلسازی اقتصادی*، ۹ (۳۲): ۱۲۳-۱۴۱.

- علی‌پور، محمد صادق، هژبر کیانی، کامبیز (۱۳۹۱). اندازه‌گیری و تحلیل شاخص مالم‌کوئیست برای صنایع فلزات اساسی ایران. *فصلنامه اقتصاد مالی*، ٦ (۲۰) : ۱٤٦-۱۲۷.
- علی‌محمدلو، مسلم، محمدی، سحر (۱۳۹٤). تحلیل پویای عملکرد شرکت‌های دارویی پذیرفته شده در بورس اوراق بهادار تهران با استفاده از روش ترکیبی تحلیل پوششی‌داده‌های پنجره‌ای و شاخص مالم‌کوئیست. *فصلنامه حسابداری سلامت*، ٤ (۱٤):٤۲-٦۰.
- Anderson, P., & Peterson, N.C. (1993). A procedure for ranking efficient units in data envelopment analysis. *Management Science*, 39, (10): 1261-1264.
- Azadi, M. & Jafarian, M. (2015). A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. Computers & Operations Research, 54: 274 -285.
- Badiezadeh, T., & Farzipoor Saen, R., & Samavati, T. (2017). Assessing sustainability of supply chains by double frontier network DEA: A big data approach. *Computers & Operations Research*, 61(2): 1-7.
- Banker, R. D., Charnes, A. & Cooper, W.W. (1984). Models for the estimation of technical and scale efficiencies in data envelopment analysis, *Management Science*,
- Brandenburg, m. (2014). Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions. *European Journal of Operational Research*, 233(2): 299-312.
- Boudaghi, E., FarzipoorSaen, R. (2018). Developing a novel model of data envelopment analysis–discriminant analysis for predicting group membership of suppliers in sustainable supply chain. *Computers and Operations Researc*h 89,348–359.
- Charnes, A., & Cooper, W.W., & Rohdes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. *Europen Journal of operational Research*, 2: 249-444.
- Cook Wade D., & Zhu, Joe. Bi, Gongbing. Yang, Feng. Network DEA: Additive efficiency decomposition. *European Journal of Operational Research*, 207: 1122–1129.
- De Camargo Fiorini, P., & Charbel José, j. (2017). Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society. *International Journal of Information Management*, 37 (4): 241-249.
- Fare, R., & Grosskopf, S. (2000). Network DEA, *Socio-Economic Planning Sciences*, 34: 35-49.
- Farell, M.J. (1957). The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120: 253-281.

- Gandhi, S., & Kumar Mangla, S., & Kumar, P. (2015). Evaluating factors in implementation of successful green supply chain management using DEMATEL: A case study. *International Strategic Management Review*, 3: 96–109.
- Genovese, A., & Adolf, A., & Alejandro, F. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications. In O mega journal: 344- 357.
- Govindan, K., & Kadziński, M., & Sivakumar, R. (2016). Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain. *In Omega journal*, 58: 132–142.
- Green, K., & Morton, B. & New, S. (1996). Purchasing and environmental management: Interactions, policies and opportunities. *Journal of Business Strategy and the Environment*, 5: 188-197
- Hatami-Marbini, A., & Ebrahimnejad, A., & Lozano, S. (2017). Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis using lexicographic multiobjective approach. *Journal of Computers & Industrial Engineering*, 6 (105): 362–376.
- Hosseinzadeh-Lotfi, f., & Jahanshahloo, G.R., & Mohammadpour, M. (2013). An Extension of Cross Redundancy of Interval Scale Outputs and Inputs in DEA., *Journal of Applied Mathematics Volume 2013, Article ID 658635*.
- Hsu, SH., & Kuo, T. (2013). Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. *Journal of Cleaner Production*, 56: 164-172.
- Jahan Shohloo. R. & Alirezaee. M.R. (2000). Measuring the efficience of academic units at the Teacher Training University, institute of mathematics, Teacher training university Tehran Iran.
- Jahani, A., & Soofi, F., & Mennati, R., & H. Rahimi Nezhad. (2013). Identifying the ranking of the companies listed on the Tehran stock exchange using studied variables and analytical hierarchy process, the national conference of accounting and management, september 5th, safashahr kharazmi international institute for educational research.
- Kannan, D., & Sousa Jabbour, AB. (2014). Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company. *European Journal of Operational Research, 233: 432–447.*
- Kao, CH. (2013). Dynamic data envelopment analysis: A relational analysis. *European Journal of Operational Research*, 227: 325–330.
- Kiani, Fatemeh, Ansari, Rahimi. (2014). Economic, social and environmental impacts of Hegmatan cement plant on Shangjarin Village. *Quarterly Journal of Rural Space and Rural Development*, 4 (2): 144-133.

- Liang, L., & Cook, W.D., & Zhu, J, (2008). DEA models for two Stage processes: Game approach and efficiency decomposition, *Naval Research Logistics*, 55: 643–653.
- Liou, J.J.H. (2013). New concepts and trends of MCDM for tomorrow–in honor of Professor. *Journal Technological and Economic Development of Economy Volume*, 19: 331-347.
- Mariadoss, B., & Ting Chi, H., & Tansuhaj, P., & Pomirleanu, N. Polyakovskiy, S., Varasi, M. (2016). Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia. *In Omega journal*, 66: 236–247.
- Mathiyazhagan, K., & Govindan, K., & Noorul Haq, A. (2014). Pressure analysis for green supply chain management implementation in Indian industries using analytic hierarchy process. *International Journal of Production Research, 52*: 1-16.
- Mollenkopf, D., & Stolze, H., & Tate, W.L., & Ueltschy, M. (2010) Green, lean, and global supply chains. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, 40(1/2): 14-41.
- Olfat, L., & Amiri, M., & Bamdad Soufi, J., & Pishdar, M. (2016). A dynamic network efficiency measurement of airports performance considering sustainable development concept: A fuzzy dynamic network-DEA approach. *Journal of Air - Transport Management*, 57: 272-290.
- Polyakovskiy, S., Varasi, M. (2017). Sustainable supply chain network design: A case of the wine industry in Australia. *Omega Vol 66: 236–247.*
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 130: 498–509.
- Shabanpour, H., & Yousefi, S., & Farzipoor Saen, R. (2017). Forecasting efficiency of green suppliers by dynamic data envelopment analysis and artificial neural networks. *Journal of Cleaner Production*, 142, 1098-1107.
- Seied Hosseini, S. M.(2014). Advanced engineering economics and decision analysis. Science and Technology University Press.
- Seiford, L.M., & J. Zhu. (1999). Profitability and marketability of the top 55 US commercial banks. *Management Science*, 45: 1270–1288.
- Tavana, M., & Shabanpour, H. (2016). A hybrid goal programming and dynamic data envelopment analysis framework for sustainable supplier evaluation. Neural Comput & Applic, *journal of Neural Comput & Applic*, 28: 3683–3696.
- Tseg, G. H., & Chiang, C. H., & Li, C. W. (2007). Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL. *Expert System with Applications*, 32:1028-1044.

- Toke, L. K., & Gupta, R. C., & Dandekar M. (2012). An empirical study of green supply chain management in Indian perspective. *International Journal of Applied Science and Engineering Research*, 1(2): 372–83.
- Vafaie, F., & A. Babaie (2010). Designing the group fuzzy multiple criteria decision-making model for ranking the stocks on the Tehran stock exchange. *Journal of Industrial Management*, 14 (1): 89- 102.
- Wolf, C., & Seuring, S. (2010). Environmental impacts as buying criteria for third party logistical services. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 40(1/2): 84–10.
- Yalcin, N., & Ali, B., & K. Cengiz (2012). Application of fuzzy multicriteria decision making methods for financial performance evaluation of Turkish manufacturing industries. *Expert Systems with Applications*, 39(1): 350-364.