

یک روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای ارزیابی زنجیره‌های تأمین و کاربرد آن در داروسازی

فرشته کوشکی*

استادیار، گروه ریاضی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

المیرا مشایخی نظام آبادی، mashayekhi_elmira@yahoo.com

استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

چکیده تحلیل پوششی داده‌ها یک تکنیک ناپارامتری بر مبنای برنامه‌ریزی ریاضی برای ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده متجانس است. بسیاری از واحدها ساختار چندمرحله‌ای دارند که در آن خروجی یک مرحله به عنوان ورودی مرحله بعدی است. یک زنجیره تأمین، که شامل چندین عضو مانند تأمین‌کننده و تولیدکننده می‌باشد، فرایند چندمرحله‌ای دارد. در این مقاله، برای نخستین بار، روش‌های شبکه‌ای برای دستیابی به بیشترین میزان بهره‌وری در زنجیره‌های تأمین، که به صورت یک سیستم چندمرحله‌ای در نظر گرفته می‌شوند، معرفی می‌شود. مدل‌های پیشنهادی با نگاه به ساختار درونی زنجیره تأمین ارتباط بین مراحل سازنده آن را لحاظ می‌کند. چنین دیدگاهی مفاهیم مدیریتی را در جهت بهبود کارایی زنجیره تأمین و نیز بهره‌وری هر عضو آن ارائه می‌دهد.

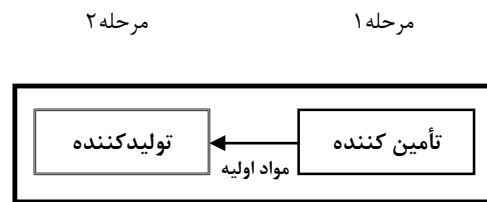
کلمات کلیدی تحلیل پوششی داده‌ها، زنجیره تأمین، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، اندازه مقیاس با بیشترین بهره‌وری.

* (Corresponding author) fkoushki@gmail.com

۱-مقدمه

کردند. کائو و هوانگ [۴] و چن و همکاران [۵] به ارزیابی DMUهای دومرحله‌ای پرداختند. در اولی کارایی واحد مورد نظر به صورت حاصل ضرب کارایی‌های مراحل سازنده آن و در دومی به صورت میانگین وزنی مراحل سازنده معرفی شد. ینگ و همکاران [۶] یک مدل غیرخطی برای محاسبه کارایی زنجیره تأمین دوعضوی به عنوان یک واحد دومرحله‌ای ارائه کردند. پارادی و همکاران [۷] یک روش DEA دومرحله‌ای برای تعیین بهترین الگو برای واحد تصمیم‌گیرنده از لحاظ مختلف از جمله موقعیت جغرافیایی و اندازه ابعاد معرفی کردند. فوکویاما و میردهقان [۸] یک مدل شبکه‌ای بر مبنای متغیرهای کمکی برای ارزیابی کل واحد و نیز مراحل سازنده آن پیشنهاد کردند. امیرتیموری [۹] و لیو [۱۰] به ترتیب مدل‌هایی را برای ارزیابی واحدهای دومرحله‌ای با فرض وجود خروجی نادقیق و داده‌های فازی ارائه کردند. ونگ و همکاران [۱۱] روش DEA شبکه‌ای را برای محاسبه کارایی بانک‌های تجاری چین به کار بردند. ساهو و همکاران [۱۲] برای ارزیابی سیستم‌های تولیدی دومرحله‌ای دو روش پیشنهاد و توسعه دادند؛ یک روش محاسبه کارایی کل واحد بدون در نظر گرفتن مراحل سازنده به صورت مستقل از هم است و در روش دیگر، که بر مبنای مدل پیشنهادی کائو و هوانگ [۱۳] می‌باشد، مراحل سازنده به صورت مستقل در نظر گرفته می‌شود. یک روش شبکه‌ای DEA برای اندازه‌گیری کارایی سیستم نوآوری ملی^۵ و بررسی تأثیر سرمایه‌گذاری^۶ بر کارایی NIS با استفاده از روش رگرسیون بریده^۷ توسط لو و همکاران [۱۴] ارائه شد. لیو و همکاران [۱۵] مدل‌هایی برای ارزیابی بانک‌های چین با فرض وجود ورودی، تولیدات میانی و خروجی نامطلوب پیشنهاد کردند. برس و وینک [۱۶] به ارزیابی خطوط هوایی آفریقا، به‌عنوان واحد چندمرحله‌ای، با استفاده از روش تاپسیس پرداختند. تاپسیس یک تکنیک تصمیم‌گیری چندمعیاره است که یک مجموعه متناهی از واحدها را بر مبنای کمیته‌سازی فاصله تا نقطه ایده‌آل و بیشینه‌سازی فاصله تا نقطه آنتی ایده‌آل رتبه‌بندی می‌کند. در این تحقیق تاپسیس برای محاسبه کارایی نسبی خطوط هوایی آفریقا بر مبنای شاخص‌های خطوط هوایی استفاده می‌شود. چائو و همکاران [۱۷] یک مدل DEA شبکه‌ای پویا را برای محاسبه کارایی بانک‌های تایوان طی سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۱ به کار بردند. هو و یو [۱۸] روش کمترین مربعات دومرحله‌ای را برای بررسی ارتباط بین کارایی عملیاتی، سرمایه و ریسک شرکت‌های بیمه تایوان طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۹ استفاده کردند. چن و همکاران [۱۹]

فرایند تولید یک کالا شامل تهیه مواد اولیه از تأمین‌کننده^۱ و تبدیل آن به محصول نهایی توسط تولیدکننده^۲ می‌باشد. چنین فرایندی یک زنجیره تأمین دو عضوی به صورت تأمین‌کننده-تولیدکننده تشکیل می‌دهد. مواد اولیه به عنوان خروجی عضو نخست این زنجیره و ورودی عضو بعدی است. بنابراین زنجیره تأمین دو عضوی ساختار دو مرحله‌ای دارد. (شکل ۱)



شکل ۱. زنجیره تأمین با ساختار دو مرحله‌ای

در این مقاله روش‌هایی برای ارزیابی زنجیره تأمین به‌عنوان یک فرایند دو مرحله‌ای با لحاظ کردن ارتباط بین مراحل ارائه می‌کنیم. مدل‌های پیشنهادی بر مبنای برنامه‌ریزی ریاضی است. مفاهیم اولیه در ادامه بیان می‌شود.

یک واحد تصمیم‌گیرنده^۳ چندین ورودی را برای تولید چندین خروجی استفاده می‌کند. تحلیل پوششی داده‌ها^۴ یک تکنیک ناپارامتری بر مبنای برنامه‌ریزی ریاضی برای محاسبه کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده متجانس است. یک DMU ممکن است ساختار چندمرحله‌ای داشته باشد که در آن خروجی یک مرحله به عنوان ورودی مرحله بعدی است؛ مانند زنجیره تأمین دو عضوی. به‌عنوان نخستین تحقیقات در به‌کارگیری DEA برای ارزیابی سیستم‌های چند مرحله‌ای، فار و پریمنت [۱] DEA را برای ارزیابی عملکرد شرکت‌های متشکل از چند شعبه یا زیرشاخه به کار بردند. فار و گروسکوف [۲] مدل‌هایی را برای اندازه‌گیری کارایی DMUهای چندمرحله‌ای در حالت‌های ایستا و پویا پیشنهاد کردند. در حالت پویا، عملکرد واحد مورد نظر در یک دوره بر عملکرد آن در دوره بعدی مؤثر است. با در نظر داشتن تولیدات میانی، ونگ و همکاران [۳] یک مدل DEA برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای دومرحله‌ای ارائه

¹ Supplier

² Manufacturer

³ Decision-making units (DMU)

⁴ Data envelopment analysis (DEA)

⁵ National Innovation System

⁶ Intellectual Capital

⁷ Truncated Regression

توسعه دادند. در روش آن‌ها تمامی فعالیت‌ها در یک دوره وارد دوره بعدی شده و لینک‌های بین دوره‌ها بر اساس فعالیت‌های مطلوب و نامطلوب تعریف می‌شود. یک مدل DEA شبکه‌ای دومرحله‌ای تصادفی به صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی معین با فرض تصادفی بودن مقادیر ورودی، خروجی و تولیدات میانی توسط ژو [۲۹] معرفی و برای ارزیابی عملکرد بانک‌ها در چین به کار برده شد. گالاگدرا و همکاران [۳۰] یک مدل شبکه‌ای را برای ارزیابی کارایی کلی و مرحله‌ای تابع مدیریت سرمایه به صورت یک فرایند تولید سه مرحله‌ای توسعه داد که در آن تأثیر شرایط محیطی بر تولیدات میانی سیستم در نظر گرفته شده است. لی و همکاران [۳۱] مدل ارزیابی واحد دو مرحله‌ای را برای تعیین مرحله رهبر در بازی پیرو-رهبر^۸ ارائه کردند.

در یک سیستم چندمرحله‌ای سری، خروجی یک مرحله به عنوان ورودی مرحله بعدی است و به این صورت یک ارتباط سری و پیوستگی بین مراحل وجود دارد. در تحقیقاتی که در بالا به آن اشاره شد برای ارزیابی سیستم‌های با ساختار چندمرحله‌ای محدودیت‌های مربوط به پیوستگی بین مراحل به‌گونه‌ای است که در بهینگی تناقض ایجاد می‌کند و این مطلب در این مقاله بیان و اصلاح می‌شود.

از سویی، استفاده بهینه از منابع (ورودی‌های سازمان) در تولید کالا یا ارائه خدمات همواره مورد توجه مدیران است. اگر با افزایش مقادیر ورودی با یک نسبت معین مقادیر خروجی حداقل به همان نسبت افزایش یابند، آن‌گاه افزایش منابع مصرفی سودآور و مقرون به صرفه است. این مقاله مدلهایی را برای تعیین بیشترین مقدار چنین نسبتی در زنجیره تأمین دو مرحله‌ای ارائه می‌دهد. شناسایی الگو با بیشترین اندازه مقیاس بهره‌وری^۹ برای هر مرحله و نیز برای کل سیستم این امکان را فراهم می‌کند که مدیران مقادیر ورودی و خروجی را برای دستیابی به بیشترین میزان بهره‌وری تنظیم نمایند. مفهوم MPSS توسط بنکر و ترال [۳۲] و بنکر [۳۳] معرفی شد؛ فرض کنید X_o, Y_o, T به ترتیب بردار ورودی، بردار خروجی و مجموعه DMU ها را نشان دهد. (X_o, Y_o) را یک امکان تولید گوئیم. امکان تولید $(X_o, Y_o) \in T$ MPSS است اگر و فقط اگر برای هر $(\alpha X_o, \beta Y_o) \in T$ داشته باشیم $\alpha \geq \beta$. به عبارت دیگر یک امکان تولید MPSS نیست اگر (۱) با افزایش ورودی‌ها به یک نسبت مقادیر خروجی حداقل به

مدل DEA ترکیبی را که در آن ورودی‌ها به دو صورت شعاعی و غیرشعاعی در نظر گرفته می‌شوند، برای بررسی تأثیر وام‌های ناکارآمد بر کارایی بانک‌های تایوان طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۰ به کار برد. وام‌های ناکارآمد وام‌هایی هستند که به طور کامل بازپرداخت نمی‌شوند. ورودی غیرشعاعی ورودی‌هایی تعریف می‌شوند که از طریق سیستم اتوماتیک مانند خودپرداز پردازش می‌شوند. کومار و همکاران [۲۰] یک مدل پویای شبکه‌ای برای ارزیابی زنجیره تأمین دارو در هند ارائه کردند. یک مدل DEA شبکه‌ای پویا توسط یو و همکاران [۲۱] پیشنهاد گردید و برای ارزیابی عملکرد ۲۰ شرکت ترانزیت اتوبوس تایوان طی سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۲ به کار گرفته شد. فوکویاما و همکاران [۲۲] مدل شبکه‌ای پویای فرایند تولید علم نانو بیوتکنولوژی در ۲۵ دانشگاه ایالات متحده طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۵ معرفی کردند. یک روش جامع برای اندازه‌گیری کارایی شعب بانک‌های دولتی و خصوصی هند و تجزیه آن به کارایی عملیاتی و میانی توسط گولانی و کومار [۲۳] ارائه شد. چائو و همکاران [۲۴] یک مدل DEA شبکه‌ای پویا برای ارزیابی فعالیت ۲۷ بانک تایوان به صورت یک فرایند تولید چندمرحله‌ای طی سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۲ پیشنهاد کردند. فوکویاما و ماتوسک [۲۵] با در نظر گرفتن یک تابع درآمد، که به صورت تفاوت بین عایدی کل و سود از دست رفته مربوط به وام‌های ناکارآمد تعریف می‌شود، به ارزیابی بانک‌های ژاپن از سپتامبر ۲۰۰۰ تا مارس ۲۰۱۳ پرداختند. چرفی و همکاران [۲۶] به ارزیابی زنجیره‌های تأمین دارو با محاسبه کارایی نسبی آن‌ها بر مبنای یک روش دو مرحله‌ای پرداختند. کوشکی [۲۷] یک مدل شبکه‌ای پویا برای بررسی چگونگی تأثیر عملکرد واحدهای تولیدی چندمرحله‌ای در یک دوره کاری بر دوره بعد ارائه کرد. در مدل پیشنهادی وی فرض وجود خروجی نامطلوب در سیستم در نظر گرفته شده است. همچنین یک تحلیل آماری برای عملکرد کلی و عملکرد مراحل سازنده سیستم طی چندین دوره کاری ارائه شده است. مدل‌های پیشنهادی برای اندازه‌گیری کارایی ۲۰ شعبه بانک ملت به کار گرفته شده است. لین و همکاران [۲۸] کارایی کلی سیستم در یک بازه را به کارایی‌هایی در چند زیر دوره تجزیه کردند. این روش برای مدیران در بررسی عملکرد و نیز بهبود مقادیر ورودی، خروجی و نیز تولیدات میانی سیستم در زیر دوره مورد نظر سودمند است. آن‌ها این روش را برای ارزیابی شرکت‌های بیمه چین و اروپا به کار بردند. شکرکی‌کاهی و همکاران [۲۹] مدل DEA پویای پیشنهاد شده توسط تن و سوتسویی [۳۰] را بهبود داده و یک مدل DEA شبکه‌ای جمعی برای ارزیابی پایداری زنجیره تأمین در چندین دوره

⁸ Leader-follower

⁹ Most productive scale size (MPSS)

همان نسبت افزایش یابند و یا ۲) با کاهش مقادیر خروجی به یک نسبت مقادیر ورودی حداقل به همان نسبت کاهش یابند.

این مقاله، برای نخستین بار، به چگونگی شناسایی MPSS در زنجیره تأمین دو مرحله‌ای می‌پردازد و میزان بهبود لازم در مقادیر ورودی و خروجی برای بهینه‌سازی بهره‌وری سیستم را تعیین می‌کند. در ادامه مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها برای محاسبه کارایی زنجیره تأمین پیشنهاد می‌شود و سپس برای تعیین الگو با بیشترین مقیاس بهره‌وری به کار می‌رود. مدل‌های پیشنهادی در بهینه‌سازی عملکرد زنجیره تأمین دارو که شامل تأمین کننده و تولیدکننده است استفاده می‌شود. روش‌های ارائه شده نشان می‌دهد که برای رسیدن به عملکرد بهتر در کل سیستم ناکارایی موجود در کدام زیر سیستم باید اصلاح شود.

۲- مدل‌های DEA

فرض کنید واحد تصمیم‌گیرنده DMU_j (به ازای $j = 1, \dots, n$) با ساختار دو مرحله‌ای باشد. X_j بردار m - تایی ورودی مرحله ۱، Y_j بردار s - تایی خروجی مرحله ۲ است. مدل DEA معمول در ارزیابی DMU دو مرحله‌ای که در شکل ۱ نشان داده شده به صورت زیر است [۳۴]:

$$\min \theta \quad s.t. \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j X_j \leq \theta X_o, \sum_{j=1}^n \lambda_j Y_j \geq Y_o, \lambda \geq 0 \quad (1)$$

بردارهای Y_o, X_o مربوط به DMU_o است که واحد تحت ارزیابی است. θ ضریب کاهش بردار ورودی است که کم‌ترین مقدار آن در مدل محاسبه می‌شود و کارایی سیستم را نشان می‌دهد. همان‌طور که در مدل فوق ملاحظه می‌شود، فقط ورودی اولیه و خروجی نهایی سیستم در ارزیابی آن لحاظ شده و تولیدات بین دو مرحله نادیده گرفته شده است. ما به ساختار درونی سیستم می‌نگریم و روش‌های دیگری را برای ارزیابی آن به صورت زیر پیشنهاد می‌کنیم.

تولیدات میانی را با بردار t -تایی Z نشان می‌دهیم. در واحد دومرحله‌ای DMU_j فرض کنید X_j, Z_j به ترتیب بردارهای ورودی و خروجی مرحله ۱ باشند. Z_j بردار ورودی مرحله ۲ است. با لحاظ کردن تولیدات میانی ارزیابی سیستم دو مرحله‌ای مستلزم مدلی متفاوت از مدل ۱ است و به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j \leq \gamma_1 X_o \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z_j = \alpha Z_o \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j = \alpha Z_o \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j \geq \gamma_2 Y_o \\ & \alpha > 0, \gamma_1 \leq 1, \gamma_2 \geq 1, \lambda^k \geq 0 \quad k = 1, 2 \end{aligned} \quad (2)$$

در مدل ۲، γ_1 ضریب کاهش مقادیر ورودی، γ_2 ضریب افزایش مقادیر خروجی و α میزان تغییرات ممکن در مقادیر تولیدات میانی در بهینه‌سازی کارایی DMU_o را نشان دهد. با توجه به این که هر مرحله ورودی و خروجی مستقل دارد و یک زیر واحد است بردارهای جداگانه λ^1, λ^2 برای قیود مربوط به مراحل ۱ و ۲ در نظر گرفته شده است. تساوی‌های $Z = \sum_{j=1}^n \lambda_j^l Z_j \quad l = 1, 2$ سری بودن مراحل ۱ و

۲ را نشان می‌دهد. در مدل‌های قبلی که برای ارزیابی واحدهای با ساختار شبکه‌ای ارائه شده‌اند نامساوی‌های $\sum_{j=1}^j Z_j \lambda_j \geq z_0, \sum_{j=1}^j Z_j \lambda_j \leq z_0$ (۳) برای بیان پیوستگی بین مراحل در نظر گرفته شده که در بهینگی نتیجه می‌شود

$$\sum_{j=1}^j Z_j \lambda_j^* - S^{*+} = z_0, \sum_{j=1}^j Z_j \lambda_j^* + S^{*-} = z_0 \quad (4)$$

بنابراین در بهینگی تساوی‌های

$$\sum_{j=1}^j Z_j \lambda_j^* = z_0 + S^{*+}, \sum_{j=1}^j Z_j \lambda_j^* = z_0 - S^{*-} \quad (5)$$

در صورت ناصفر بودن حداقل یکی از متغیرهای کمکی تناقض ایجاد می‌کند. مدل ۲ با فرض

$$\{\lambda_o^k = 1, \lambda_j^k = 0, \gamma_1 = 1, \gamma_2 = 1, \alpha = 1\} \quad (6)$$

شدنی است.

تعریف ۱. DMU_o کاراست اگر و فقط اگر در بهینگی

$$\gamma_1^* = 1, \gamma_2^* = 1$$

قضیه ۱. DMU با ورودی، خروجی و تولیدات میانی

$$(\gamma_1^* X_o, \alpha^* Z_o, \gamma_2^* Y_o)$$

برهان. مدل ۲ را برای ارزیابی DMU با ورودی، خروجی و

تولیدات میانی $(\gamma_1^* X_o, \alpha^* Z_o, \gamma_2^* Y_o)$ حل می کنیم. فرض

کنید $\bar{\gamma}_1, \bar{\gamma}_2$ جواب بهینه باشند. داریم:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \\ & \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j \leq \gamma_1 (\gamma_1^* X_o) \\ & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z_j = \alpha Z_o \\ & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j = \alpha Z_o \\ & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j \geq \gamma_2 (\gamma_2^* Y_o) \\ & \quad \gamma_1 \leq 1, \gamma_2 \geq 1, \lambda^k \geq 0 \quad k = 1, 2 \end{aligned} \quad (7)$$

اگر $\bar{\gamma}_1 < 1$ آنگاه از $\bar{\gamma}_2 \geq 1$ نتیجه می شود $\frac{\bar{\gamma}_1 \gamma_1^*}{\bar{\gamma}_2 \gamma_2^*} < \frac{\gamma_1^*}{\gamma_2^*}$

که تناقض است. تناقض مشابه از فرض $\bar{\gamma}_2 > 1$ نتیجه می

شود. ■ با تقسیم محدودیت های مدل ۲ بر γ_2 مدل خطی زیر

حاصل می شود:

$$\begin{aligned} & \text{Min} \quad \omega \\ & \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j \leq \omega X_o \\ & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z_j = \alpha' Z_o \\ & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j = \alpha' Z_o \\ & \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j \geq Y_o \\ & \quad \alpha' > 0, \lambda^k \geq 0 \quad k = 1, 2 \end{aligned} \quad (8)$$

که در آن

$$\lambda_j'^k = \frac{1}{\gamma_2} \lambda_j^k, \omega = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}, \alpha' = \frac{1}{\gamma_2} \alpha, \quad k = 1, 2 \quad (9)$$

تعریف ۳. مجموعه امکان تولید

$$T = \left\{ \begin{array}{l} (X, Z, Y) | \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j \leq X \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z_j = Z, \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j = Z \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j \geq Y \\ \lambda^k \geq 0, 1 \lambda^k = 1, k = 1, 2 \end{array} \right. \quad (10)$$

را به صورت ترکیبات محدب DMU_j ها به ازای

$j = 1, \dots, n$ تعریف می کنیم. امکان تولید (X, Z, Y)

MPSS است اگر و فقط اگر برای هر امکان تولید

$(\mu X, \eta Z, \beta Y) \in T$ داشته باشیم $\mu \geq \beta$. در این تعریف

ضرایب μ و β فقط برای ورودی و خروجی اصلی سیستم و

نه برای تولیدات میانی در نظر گرفته شده اند زیرا تولید میانی

در یک مرحله به وجود و در مرحله بعد تماماً مصرف می شود و

نمی توان به عنوان ورودی یا خروجی کلی سیستم در نظر

گرفت. همچنین قیود مربوط به پیوستگی مراحل سازنده واحد

چندمرحله ای در تعیین تصویر کارای قیاسی^{۱۰} به صورت

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

شود:

¹⁰ Scale efficient

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j'' X_j &\leq \frac{\gamma_1^*}{\delta} X \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j'' Z_j &= \frac{\alpha^*}{\delta} Z \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j'' Z_j &= \frac{\alpha^*}{\delta} Z \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j'' Y_j &\geq \frac{\gamma_2^*}{\delta} Y \\ \lambda^{nk} &\geq 0, 1\lambda^{nk} = 1 \quad k=1,2 \end{aligned} \quad (13)$$

که در آن $\lambda_j^{k''} = \frac{1}{\delta} \lambda_j^{k*} \quad k=1,2 \quad j=1,\dots,n \quad (14)$

اگر $\gamma_1^* = 1, \gamma_2^* > 1$ آنگاه $\frac{\gamma_2^*}{\delta} > \frac{\gamma_1^*}{\delta}$ همچنین می‌توان نشان داد که $(X, Z, Y) \in T$ بنابراین واحد $(\frac{\gamma_1^*}{\delta} X, \frac{\alpha^*}{\delta} Z, \frac{\gamma_2^*}{\delta} Y) \in T$ حاصل می‌شود. نتیجه مشابه با فرض $\gamma_1^* < 1$ می‌باشد.

اگر $(X, Z, Y) \in T$ MPSS نباشد آنگاه

$(\mu X, \eta Z, \beta Y) \in T$ موجود است به طوری که $\beta > \mu$

بنابراین داریم:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j &\leq \mu X \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z_j &= \eta Z \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j &= \eta Z \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j &\geq \beta Y \\ \lambda^k &\geq 0, 1\lambda^k = 1 \quad k=1,2 \end{aligned} \quad (15)$$

با تقسیم قیود فوق بر β داریم:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \hat{\lambda}_j^1 X_j &\leq \frac{\mu}{\beta} X \\ \sum_{j=1}^n \hat{\lambda}_j^1 Z_j &= \frac{\eta}{\beta} Z \\ \sum_{j=1}^n \hat{\lambda}_j^2 Z_j &= \frac{\eta}{\beta} Z \\ \sum_{j=1}^n \hat{\lambda}_j^2 Y_j &\geq Y \\ \sum_{j=1}^n \hat{\lambda}_j^1 &= \sum_{j=1}^n \hat{\lambda}_j^2 = \frac{1}{\beta} \\ \hat{\lambda}^k &\geq 0 \quad k=1,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \frac{\gamma_1}{\gamma_2} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j \leq \gamma_1 X_o \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z_j = \alpha Z_o \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j = \alpha Z_o \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j \geq \gamma_2 Y_o \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 = \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 \\ & \alpha > 0, \gamma_1 \leq 1, \gamma_2 \geq 1, \lambda^k \geq 0 \quad k=1,2 \end{aligned} \quad (11)$$

قضیه ۳. فرض کنید γ_1^*, γ_2^* مقادیر بهینه γ_1, γ_2 حاصل از حل مدل ۱۱ در ارزیابی امکان تولید $(X, Z, Y) \in T$ باشد.

MPSS (X, Z, Y) است اگر و فقط اگر $\gamma_1^* = 1, \gamma_2^* = 1$

برهان. فرض کنید $\{\lambda^{k*}\}_{k=1}^2$ در قیود زیر صدق کند:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1*} X_j &\leq \gamma_1^* X \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1*} Z_j &= \alpha^* Z \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2*} Z_j &= \alpha^* Z \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2*} Y_j &\geq \gamma_2^* Y \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1*} &= \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2*} \\ \alpha^* > 0, \gamma_1^* \leq 1, \gamma_2^* \geq 1, \lambda^{k*} \geq 0 \quad k=1,2 \end{aligned} \quad (12)$$

قرار دهید $\sum_{j=1}^n \lambda_j^{k*} = \delta \quad k=1,2$ با تقسیم محدودیت‌های

فوق بر δ داریم:

برهان. مشابه با برهان قضیه ۳ است. ■ قضیه ۴ تصویر MPSS (۱۶)

متناظر با واحد (X_o, Z_o, Y_o) را ارائه می‌دهد. مشابه با برهان

قضیه ۱ و با توجه به تعریف ۱ می‌توان نشان داد که امکان

تولید $(\gamma_1^* X_o - S^-, \alpha^* Z_o, \gamma_2^* Y_o + S^{+*})$ کاراست. واحد

$\frac{1}{\delta}(\gamma_1^* X_o - S^-, \alpha^* Z_o, \gamma_2^* Y_o + S^{+*}) \in T$ تصویر کارای

قیاسی گفته می‌شود. فرض کنید $\{\lambda^k\}_{k=1}^2$ در قیود زیر

صدق کند $(\{\lambda^k\}_{k=1}^2)$ یک جواب بهینه مدل ۱۸ باشد):

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j = \gamma_1^* X_o - S^-$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z_j = \alpha^* Z_o$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j = \alpha^* Z_o$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j = \gamma_2^* Y_o + S^{+*}$$

$$\lambda^k \geq 0, 1\lambda^1 = 1\lambda^2 \quad k=1,2$$

(۲۱)

قرار دهید $\sum_{j=1}^n \lambda_j^k = \delta$ و $\tau = \frac{1}{\delta}$ با این فرض

ها بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین تصویر MPSS به صورت زیر

تعریف می‌شود.

تعریف ۴. $(\tau(\gamma_1^* X_o - S^-, \alpha^* Z_o, \gamma_2^* Y_o + S^{+*}))$ بزرگ‌ترین

تصویر MPSS متناظر با واحد (X_o, Z_o, Y_o) است اگر و فقط

اگر برای هر $\bar{\tau} > \tau$ داشته باشیم:

$$\bar{\tau}(\gamma_1^* X_o - S^-, \alpha^* Z_o, \gamma_2^* Y_o + S^{+*}) \notin T$$

کوچک‌ترین تصویر MPSS به طور مشابه تعریف می‌شود.

بنابر تعریف فوق، بزرگ‌ترین تصویر MPSS واحد

$$\frac{1}{\delta}(\gamma_1^* X_o - S^-, \alpha^* Z_o, \gamma_2^* Y_o + S^{+*})$$

است به ازای کم‌ترین مقدار δ . پس بزرگ‌ترین تصویر

$$\hat{\lambda}_j^k = \frac{1}{\beta} \lambda_j^k \quad k=1,2 \quad j=1,\dots,n \quad (17)$$

پس جوابی برای مدل ۱۱ موجود است به طوری که

$$\gamma_1^* = \frac{\mu}{\beta} < 1, \gamma_2^* = 1$$

کمکی به صورت زیر است:

$$\text{Min} \quad \frac{\gamma_1 - \varepsilon(1S^- + 1S^+)}{\gamma_2}$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j = \gamma_1 X_o - S^-$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z_j = \alpha Z_o$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j = \alpha Z_o$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j = \gamma_2 Y_o + S^{+*}$$

$$1\lambda^1 = 1\lambda^2$$

$$\alpha > 0, \gamma_1 \leq 1, \gamma_2 \geq 1, S^- \geq 0, S^{+*} \geq 0, \lambda^k \geq 0 \quad k=1,2 \quad (18)$$

با تقسیم قیود فوق بر γ_2 خواهیم داشت

$$\text{Min} \quad \omega - \varepsilon(1\bar{S}^- + 1\bar{S}^{+*})$$

$$\text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \bar{\lambda}_j^1 X_j = \omega X_o - \bar{S}^-$$

$$\sum_{j=1}^n \bar{\lambda}_j^1 Z_j = \bar{\alpha} Z_o$$

$$\sum_{j=1}^n \bar{\lambda}_j^2 Z_j = \bar{\alpha} Z_o$$

$$\sum_{j=1}^n \bar{\lambda}_j^2 Y_j = Y_o + \bar{S}^{+*}$$

$$1\bar{\lambda}^1 = 1\bar{\lambda}^2$$

$$\bar{\alpha} > 0, \bar{S}^- \geq 0, \bar{S}^{+*} \geq 0, \bar{\lambda}^k \geq 0 \quad k=1,2 \quad (19)$$

که در آن

$$\bar{\lambda}_j^k = \frac{1}{\gamma_2} \lambda_j^k \quad k=1,2, \omega = \frac{\gamma_1}{\gamma_2}, \bar{S}^- = \frac{1}{\gamma_2} S^-, \bar{S}^{+*} = \frac{1}{\gamma_2} S^{+*} \quad (20)$$

قضیه ۴. فرض کنید $\lambda^k, k=1,2, S^-, S^{+*}, \alpha^*$

یک جواب بهینه مدل ۱۸ باشد و $\sum_{j=1}^n \lambda_j^k = \delta$. امکان تولید

$$\frac{1}{\delta}(\gamma_1^* X_o - S^-, \alpha^* Z_o, \gamma_2^* Y_o + S^{+*})$$

MPSS است.

MPSS واحد (X_o, Z_o, Y_o) با تقسیم قیود ۲۱ بر δ با حل

$$\lambda_j^k = \frac{1}{\gamma_2^*} \tilde{\lambda}_j^k, \quad \bar{\alpha}^* = \frac{1}{\gamma_2^*} \alpha^* \quad k=1,2$$

مدل زیر حاصل می‌شود:

مقادیر $\omega^*, \bar{\alpha}^*, \bar{S}^*, \bar{S}^{+*}$ از حل مدل ۲۲ به دست می‌آیند.

γ_2^* از حل مدل ۲۲ با قیود ۲۵ حاصل می‌شود. با داشتن

مقادیر ω^* و γ_2^* مقدار γ_1^* تعیین می‌شود.

Max τ

$$s.t. \sum_{j=1}^n \tilde{\lambda}_j^1 X_j = \tau(\gamma_1^* X_o - S^{-*})$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{\lambda}_j^1 Z_j = \tau(\alpha^* Z_o)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{\lambda}_j^2 Z_j = \tau(\alpha^* Z_o)$$

$$\sum_{j=1}^n \tilde{\lambda}_j^2 Y_j = \tau(\gamma_2^* Y_o + S^{+*})$$

$$\tilde{\lambda}_j^k \geq 0, 1\tilde{\lambda}^k = 1 \quad k=1,2 \quad (22)$$

کوچک‌ترین تصویر MPSS متناظر با واحد (X_o, Z_o, Y_o) با

در نظر گرفتن تابع هدف Min برای مدل فوق حاصل می‌شود.

بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین تصویر MPSS متناظر با

(X_o, Z_o, Y_o) را به ترتیب با (X, Z, Y) و (X', Z', Y') نشان

می‌دهیم که به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$X' = \tau'(\gamma_1^* X_o - S^{-*}) \quad Z' = \tau'(\alpha^* Z_o) \quad Y' = \tau'(\gamma_2^* Y_o + S^{+*}) \quad (23)$$

$$X = \tau^*(\gamma_1^* X_o - S^{-*}) \quad Z = \tau^*(\alpha^* Z_o) \quad Y = \tau^*(\gamma_2^* Y_o + S^{+*}) \quad (24)$$

که در آن τ^* و τ' مقدار بهینه تابع هدف مدل ۲۲ با فرض

Max و Min سازی حاصل می‌شود. با تقسیم قیود ۲۲ بر

γ_2^* نتیجه می‌شود:

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j = \tau(\omega^* X_o - \bar{S}^{-*})$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Z_j = \tau(\bar{\alpha}^* Z_o)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Z_j = \tau(\bar{\alpha}^* Z_o)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^2 Y_j = \tau(Y_o + \bar{S}^{+*})$$

$$1\lambda^k = \frac{1}{\gamma_2^*} \quad k=1,2$$

(25)

۳- مثال کاربردی

۱۸ زنجیره تأمین آنتی بیوتیک که توسط یک شرکت

داروسازی تولید می‌شود را مورد ارزیابی قرار می‌دهیم. بی

کرنات کلسیم یک ماده اولیه در صنعت داروسازی است که

این شرکت برای تولیدات خود از یک تأمین کننده تهیه می

کند. هر زنجیره تأمین دو مرحله ای است. (شکل ۱) در مرحله

۱، X (بر حسب دلار) هزینه تولید ماده اولیه توسط تأمین

کننده و Z (بر حسب کیلوگرم) مقدار ماده اولیه فرستاده شده

به شرکت است. مقدار داروی تولید شده توسط شرکت (Y_1)

و میزان رضایت مشتری (Y_2) ، با توجه به طول دوره درمان و

نیز عوارض جانبی دارو، خروجی‌های مرحله ۲ هستند. داده‌ها

در جدول ۱ نشان داده شده‌اند.

جدول ۱. داده‌ها

DMU (Supply chain)	x_j	y_{1j}	y_{2j}	z_j
۱	۱۹۰	۱۰۰۰	۴۶%	۷۶
۲	۱۲۰	۷۰۰	۵۴%	۴۸
۳	۴۲٫۵	۲۲۰	۷۰%	۱۷
۴	۲۵	۱۵۰۰	۸۸%	۱۰
۵	۹۲٫۵	۴۴۰	۶۳%	۳۷
۶	۲۴۰	۱۱۰۰	۷۱%	۹۶
۷	۳۲٫۵	۱۶۳۰	۵۱%	۱۳
۸	۲۱۰	۷۸۰	۹۰%	۸۴
۹	۸۷٫۵	۵۳۰	۳۵%	۳۵
۱۰	۱۱۵	۳۰۰	۸۹%	۴۶
۱۱	۱۲۷٫۵	۸۹۰	۷۵%	۵۱
۱۲	۲۶۵	۱۳۴۰	۸۸%	۱۰۶
۱۳	۳۳۰	۱۱۷۰	۵۱%	۱۳۲
۱۴	۴۷٫۵	۹۴۰	۸۰%	۱۹
۱۵	۲۹۵	۱۵۵۰	۵۰%	۱۱۸
۱۶	۱۵۷٫۵	۹۳۰	۶۵%	۶۳
۱۷	۱۶۵	۱۲۶۰	۹۵%	۶۶
۱۸	۵۰	۸۸۰	۴۹%	۲۰

جدول ۲. نتایج حاصل از حل مدل‌های (۱۹)، (۲۲) و فرمول (۲۳)

DMU (Supply chain)	γ_1^*	γ_2^*	x	y_1	y_2
۱	۰٫۱۷۵	۱٫۶۹	۱۶٫۶۶	۱۰۰۰	۷۰
۲	۰٫۱۹۳	۱٫۶۱	۱۵٫۳۴	۹۲۰	۸۸
۳	۰٫۵۸۲	۱٫۲۶	۱۹٫۸۸	۱۱۹۳	۸۳
۴	۱	۱	۲۵	۱۵۰۰	۹۰
۵	۰٫۳۱۱	۱٫۶۱	۱۷٫۸۹	۱۰۷۳	۹۵
۶	۰٫۱۲۵	۱٫۲۳	۲۰٫۱۷	۱۲۱۰	۹۰
۷	۰٫۸۳۵	۱	۲۷٫۱۶	۱۶۳۰	۵۵
۸	۰٫۱۲۱	۱	۲۵٫۵۶	۱۵۳۴	۸۹
۹	۰٫۲	۱٫۶	۹٫۹۴	۵۹۶	۷۵
۱۰	۰٫۳	۱	۲۵٫۲۸	۱۵۱۷	۹۰
۱۱	۰٫۲۱	۱	۳۱٫۳۰	۱۲۷۸	۷۵
۱۲	۰٫۱۴	۱	۲۵	۱۵۰۰	۸۸
۱۳	۰٫۶۱	۱٫۴	۱۹٫۵	۱۱۷۰	۶۸
۱۴	۰٫۱۱	۱٫۲۶	۲۲٫۷۲	۱۳۶۳	۸۰
۱۵	۰٫۲۱	۱	۲۵٫۸۳	۱۵۵۰	۹۰
۱۶	۰٫۳۳	۱٫۳	۱۸٫۴۶	۱۱۰۷	۶۵
۱۷	۰٫۲۵	۱	۲۶٫۹۸	۱۶۱۹	۹۵
۱۸	۰٫۵۴	۱٫۳	۱۴٫۶	۸۸۰	۵۱

میزان بهره‌وری به چه اندازه باید ورودی‌ها و منابع مصرفی را تغییر دهیم. طبق نتایج جدول ۲ فقط زنجیره تأمین داروی شماره ۴ کارا است و زنجیره تأمین داروی شماره ۷ در رتبه

جدول ۲ کارایی زنجیره‌ها و نیز تصویر کارای قیاسی و تصویر با بیشترین مقیاس بهره‌وری مربوط به هر زنجیره را نشان می‌دهد. این تصویر مشخص می‌کند که برای رسیدن به بیشترین

شناسایی الگو با بیشترین بهره‌وری در زنجیره تأمین پرداخته ایم. شناسایی چنین الگویی ضمن تعیین کارایی سیستم، تغییرات لازم در مقادیر ورودی‌ها (منابع سازمان) را جهت رسیدن به بیشترین میزان بهره‌وری معین می‌کند. مدل‌های ارائه شده را می‌توان با فرض وجود داده‌های فازی و نیز در حالتی که عملکرد سیستم در یک دوره بر کارایی آن در دوره بعد مؤثر است (که به آن سیستم پویا^{۱۱} گفته می‌شود)، توسعه داد. همچنین رتبه‌بندی بر اساس معیار فاصله تا MPSS از موضوعات دیگر مورد توجه در تحقیقات آتی است.

بعدی قرار دارد. به علاوه، واحدهای ۷، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۵ و ۱۷ در مرحله ۲ کارا هستند بدین معنا که میزان تولید و نیز درصد رضایت مشتری در سطح قابل قبولی است. با توجه به مقادیر γ_1^* ، γ_2^* افزایش مقادیر خروجی‌ها در مقایسه با کاهش مقادیر ورودی (در بهبود کارایی کلی سیستم) بسیار کمتر است. این نشان می‌دهد که زنجیره‌های تأمین می‌توانند مقدار فعلی داروی خود را با صرف هزینه کمتر تولید کنند. بنا بر تعاریف و قضایای بیان شده واحد ۴ MPSS است. تولیدات این زنجیره تأمین با توجه به مقدار کم هزینه کل قابل ملاحظه است و الگوی مناسبی برای سایر واحدها می‌باشد. ملاحظه می‌کنیم که مقادیر ورودی اغلب واحدها نزدیک به این زنجیره تأمین تنظیم شده‌اند.

این روش چگونگی مصرف منابع در جهت دستیابی به بیشترین میزان بهره‌وری و به طور خاص میزان بهبود ناکارایی‌های موجود در مراحل سازنده سیستم را نشان می‌دهد و مدیران را در امر تصمیم‌گیری و تخصیص بهینه منابع یاری می‌دهد و در سیستم‌های چند مرحله‌ای نیز قابل به کارگیری می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

زنجیره تأمین متشکل از اعضای مانند تأمین‌کننده و تولیدکننده است که با یکدیگر، مثلاً از طریق جریان مواد اولیه، در ارتباط هستند. این ساختار زنجیره تأمین را می‌توان به صورت یک شبکه دو مرحله‌ای در نظر گرفت که تولیدات یک مرحله (تأمین‌کننده) ورودی مرحله بعدی (تولیدکننده) است. در ارزیابی یک سیستم چند مرحله‌ای پیوستگی و ارتباط بین مراحل باید مورد توجه باشد در غیر این صورت مدل به کار رفته چگونگی فرایند تولید را به درستی منعکس نخواهد کرد. ما به ساختار درونی سیستم می‌نگریم و روش‌هایی را برای استفاده بهینه از منابع موجود ارائه کرده‌ایم. نظر به این که مفهوم MPSS برای مدیران سازمان‌ها اهمیت ویژه‌ای در تصمیم‌گیری دارد، در این مقاله برای نخستین بار به چگونگی

¹¹ Dynamic

commercial banking system using an additive two-stage DEA. *Omega*, 3, 445-20.

منابع

[۱۲] Sahoo, B. K., Zhu, J., Tone, K., Klemen, B. M. (2014).Decomposing technical efficiency and scale elasticity in two-stage network DEA. *European Journal of Operational Research*, 233(3), 584-594.

[۱۳] Kao, C., & Hwang, S. N. (2011).Decomposition of technical and scale efficiencies in two-stage production systems. *European Journal of Operational Research*, 211,515-519.

[۱۴] Lu, W-M, Kweh, Q. L., Huang, C-L. (2014). Intellectual capital and national innovation systems performance. *Knowledge-Based Systems*, 71, 201-210.

[۱۵] Liu, WB, Zhoua, ZB, Maa, CQ, Liu DB, Shen, WF. (2015).Two-stage DEA models with undesirable input-intermediate-outputs. *Omega*, 56, 74-87.

[۱۶] Barros, C.P., Wanke, P. (2015).An analysis of African airlines efficiency with two-stage TOPSIS and neural networks *Journal of Air Transport Management*,44-45, 90-102.

[۱۷] Chao, C-M, Yu, M-M, Wu, H-N. (2015).An application of the Dynamic Network DEA Model: The case of banks in Taiwan. *Journal of Emerging Markets Finance and Trade*, 51.

[۱۸] Hu, J-L, Yu, H-E. (2015).Risk, Capital, and Operating Efficiency: Evidence from Taiwan's Life Insurance Market. *Journal of Emerging Markets Finance and Trade*, 51(1), 121-132.

[۱۹] Chen, M-J, Chiu, Y-H, Jan, Ch., Chen, Y-C, Liu, H-H. (2015).Efficiency and Risk in Commercial Banks – Hybrid DEA Estimation. *Journal of Emerging Markets Finance and Trade*, 44, 3.

[۲۰] Kumar A., Mukherjee K., Adlakha A. (2015). Dynamic performance assessment of a supply chain process: A case from pharmaceutical supply chain in India. *Business Process Management Journal*, 21(4), 743-770.

[۱] Färe, R., Primont, D. (۱۹۸۴).Efficiency measures for multi plant firms. *Operations Research Letters*, 3 و 257-260.

[۲] Färe, R., Grosskopf, S. (2000).Network DEA. *SOCIO ECON PLAN SCI*, 34, 35-49.

[۳] Wang, C.H., Gopal, R. & Zionts, S. (1997).Use of data envelopment analysis in assessing information technology impact on firm performance. *Annals of Operations Research*, 73, 191-213.

[۴] Kao, C., Hwang, S-N. (2008).Efficiency decomposition in two-stage data envelopment analysis: An application to non-life insurance companies in Taiwan. *European Journal of Operational Research*. 185 (1), 418-429.

[۵] Chen, Y., Cook, W. D., Li, N., Zhu, J. (2009). Additive efficiency decomposition in two-stage DEA. *European Journal of Operational Research*,196, 1170-1176.

[۶] Yang, F., Wu, D., Liang, L., Bi, G., Wu, D.D. (2011).Supply chain DEA: production possibility set and performance evaluation model. *Annals of Operations Research*, 185, 195-211.

[۷] Paradi, J.C., Rouatt, S., Zhu, H. (2011).Two-stage evaluation of bank branch efficiency using data envelopment analysis. *Omega*, 39(1), 99-109.

[۸] Fukuyama, H, Mirdehghan, S. M. (2012).Identifying the efficiency status in network DEA. *European Journal of Operational Research*, 220(1), 85-92.

[۹] Amirteimoori, A. (2013).A DEA two-stage decision processes with shared resources. *Central European Journal of Operations Research*, 21, 141-151.

[۱۰] Liu, S-T. (2014).Fuzzy efficiency ranking in fuzzy two-stage data envelopment analysis. *Optimization Letters*, 8(2), 633-652.

[۱۱] Wang, K., Huang, W., Wu, J., Liu Y. N. (2014). Efficiency measures of the Chinese

diversification to multi-period performance evaluation of funds. *OR Spectrum*, 39(3), 821-860.

[۲۹] Shokri Kahi, V., Yousefi, S., Shabanpour, H., Farzipoor Saen, R. (2017). How to evaluate sustainability of supply chains? A dynamic network DEA approach. *Industrial Management & Data Systems*, 117(9):1866-1889.

[۳۰] Tone, K., Tsutsui, M. (2014). Dynamic DEA with network structure: a slacks-based measure approach. *Omega*, 42(1): 124-131.

[۳۱] Zhou Z., Lin L., Xiao H., Ma Ch., Wu Sh. (2017). **Stochastic** network DEA models for two-stage systems under the centralized control organization mechanism. *Computers & Industrial Engineering*, 110, 404-412.

[۳۲] Galagedera, D. U. A., Roshdi, I., Fukuyama, H., & Zhu, J. (2018). A new network DEA model for mutual fund performance appraisal: An application to U.S. equity mutual funds. *Omega*. 77, 168-179

[۳۳] Li, H., Chen Ch., Cook, W.D., Zhang, J., Zhu, J. (2018). Two-stage network DEA: Who is the leader?. *Omega*. 24(C), 15-19.

[۳۴] Banker, R. D, & Thrall, R. M. (1992). Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*. 1002, 62, 74-84.

[۳۵] Banker, R. D. (1984). Estimating most productive scale size using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 17, 35-44.

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

[۲۷] Yu, M-M, Chen, L-H, Hsiao, B. (2016). Dynamic performance assessment of bus transit with the multi-activity network structure. *Omega*, 60, 15-25.

[۲۸] Fukuyama, H, Weber, W L., Xia, Y. (2016). Time substitution and network effects with an application to Nano biotechnology policy for US universities. *Omega*, 60, 34-44.

[۲۹] Gulati, R., Kumar, S. (2017). Analysing banks' intermediation and operating efficiencies using the two-stage network DEA model: The case of India, *International Journal of Productivity and Performance Management*. 66, 4, 500-516.

[۳۰] Chao, C-M, Yu, M-M, Lee, U-T, Hsiao, B. (2016). Measurement of Banking Performance in a Dynamic Multi-activity Network Structure: Evidence from Banks in Taiwan. *Journal of Emerging Markets Finance and Trade*, 53(4), 786-805.

[۳۱] Fukuyama, H. and Matousek, R. (2016). Modeling Bank Performance: A Network DEA Approach. *European Journal of Operational Research*, 259 (2). 721-732.

[۳۲] Chorfi, Z., Benabbou L., Berrado A. (2016). An experimental approach for dimensioning healthcare supply chains. *Intelligent Systems: Theories and Applications*, 11th International Conference on Logistics Operations Management, 1-6.

[۳۳] Koushki, F. (2017). Modeling Dynamic Production Systems with Network Structure. *Iranian Journal of Mathematical Sciences and Informatics*, 12(1), 13-26.

[۳۴] Lin, R., Chen, Z., Hu, Q., Li Z. (2017). Dynamic network DEA approach with