



ارائه مدل هیبرید تحلیل پوششی داده‌های پویا با ساختار شبکه‌ای جهت ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار؛ ص ۱۴۹-۱۷۵

محمد حسین درویش متولی^۱

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴

چکیده

هدف این مقاله ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا با ساختار شبکه‌ای جهت ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار است. بر همین اساس، با بهره‌گیری از مدل غیر شعاعی در تحلیل پوششی داده‌ها، مدلی با ساختار شبکه‌ای تدوین شده است که اول بتواند زنجیره تامین پایدار را به عنوان یک شبکه پیچیده و گسترده ارزیابی و رتبه‌بندی نماید؛ و دوم بتواند در دوره‌های زمانی متوالی با فعالیت‌های انتقالی پویا، کارایی را مورد سنجش قرار دهد و علاوه بر شاخص‌های رایج مالی و فنی، خروجی‌های نامطلوب و معیارهای پایداری را در شبکه تامین مدنظر قرار دهد. این پژوهش از نظر روش، توصیفی و از نظر هدف کاربردی و بر مبنای توسعه مدل ریاضی SBM غیر شعاعی در تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد. اعتبار مدل ارائه شده بر مبنای داده‌های واقعی ۴۲ شرکت سیمان حاضر در بورس مورد آزمون و تأیید قرار گرفته است. نتایج نشان داد این مدل به خوبی قادر است کارایی را در یک ساختار شبکه‌ای و پویا ارزیابی کند. بر اساس اجرای این مدل، تعداد ۱۶ زنجیره تامین توانسته‌اند به مرز کارایی دست یابند.

کلمات کلیدی: تحلیل پوششی داده‌های پویا، ساختار شبکه، زنجیره تامین پایدار

^۱ استادیار، گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (نویسنده مسئول) / mhd.darvish@gmail.com

مقدمه و بیان مساله

در فضای رقابتی، شرکت‌ها و سازمان‌های تولیدی و خدماتی به منظور بقا و دوام نیازمند سنجش عملکرد در زنجیره تامین خود می‌باشند (فلاح پور و همکاران، ۲۰۱۷). در سال‌های اخیر بحث زنجیره تامین پایدار بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در واقع عواملی نظیر مسئولیت اجتماعی، جو فرهنگی، خروجی‌های نامطلوب (گازهای گلخانه‌ای، نشت موادسمی و دیگر آلاینده‌های محیط زیست) نقش زیادی در تغییرات اکوسیستمی ایفا می‌کنند و سهم عظیمی در ناکارا کردن خیلی از شرکتها و کارخانجات دارند (براندنبرگ^۱، ۲۰۱۴). مدیران صنایع به دنبال آن هستند تا با ایجاد شیوه‌های مناسب عوامل موثر بر عملکرد پایدار و سبز را در زنجیره تامین شناسایی کنند (آزادی، ۲۰۱۵) و از آنها برای اندازه‌گیری کارایی و هزینه‌های کاهش آلودگی و عوامل نامطلوب استفاده نمایند و در همین راستا تصمیمات مناسب را در راستای بهبود کارایی و بهبود اثر بخشی اتخاذ کنند (گنووژ و همکاران^۲، ۲۰۱۷). به همین دلیل از تحلیل پوششی داده‌ها که ابزار توانمندی در ارزیابی عملکرد واحدهایی با چند ورودی و چند خروجی است، استفاده می‌شود. تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتری برای ارزیابی واحدهای هم‌جنس می‌باشد که اولین بار در سال ۱۹۷۸ توسط کوپر و همکاران، برای ارزیابی یک مرکز آموزشی در آمریکا تحت عنوان مقاله CCR، ابداع گردید. بنکر و همکاران در سال ۱۹۸۴ این روش را تحت عنوان مقاله BCC، توسعه دادند (حاتمی و همکاران، ۲۰۱۷). سپس بر مبنای این مدل‌ها، مدل‌های دیگری نظیر مدل‌های دیگری نظیر مدل^۳ BCC، مدل^۴ SBM، مدل جمعی^۵، مدل شبکه و ... جهت قوت بخشیدن به DEA معرفی شدند.

بررسی عملکرد زنجیره تامین پایدار^۶ در صنایع، نمونه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری چند مرحله‌ای و شبکه‌ای به شمار می‌آید (دیکامرگو^۷، ۲۰۱۷) که در اقتصاد و مدیریت نقش بسیار مهمی دارد و لجستیک این‌ها از فعالیت‌های وابسته به هم تشکیل شده‌اند (علمداری و

۱ Brandenburg

۲ Genovese et.al

۳ Benker, Charnes & Cooper (BCC)

۴ Slacks-Based Measure (SBM)

۵ Additive

۶ Sustainable Supply Chain Management (SSCM)

۷ De Camargo

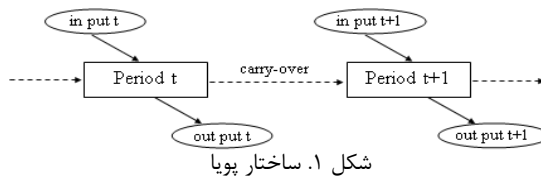
همکاران: ۱۳۹۹، ۷۶). در مدل‌های سنتی DEA، کارایی نسبی^۱ DMU با توجه به ورودی‌هایی که برای تولید خروجی‌های نهایی به کار می‌رود ارزیابی می‌شود (بابازاده، ۲۰۱۷). یکی از مشکلات این مدل‌ها نادیده گرفتن محصولات میانی و ارتباط فعالیت‌های بین بخش‌های مختلف درون سیستمی است. به منظور رفع این مشکل و ارتقای مدل‌های کلاسیک مدلی ارائه شد که در آن هر فعالیت باید یا متعلق به ورودی باشد و یا خروجی و نه هر دو، بنابراین ارزیابی در دو مرحله انجام می‌شود (فرناندا^۲، ۲۰۱۸)؛ یعنی در یک مرحله محصولات میانی به عنوان خروجی و در مرحله دیگر به عنوان ورودی استفاده می‌شود که همان مدل شبکه ساده است. مهمترین اشکال این مدل‌ها نادیده گرفتن محصولات چند بخش یا مولفه میانی است و در آن خروجی بخش اول، به طور مستقیم در یک مرحله استفاده می‌شود (توسلی، ۲۰۱۵). ولی با وجود این همه پیشرفت که در این رشته به وجود آمده است، نکته‌ای که باید به آن اشاره نمود این است که در این تحقیقات ارزیابی در طی دوره‌های زمانی نادیده گرفته شده است و عموماً مدل‌ها با داده‌های مقطعی به ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیری (DMU) می‌پردازند (حسین زاده لطفی، ۲۰۱۳). این مدل‌ها معمولاً به انجام فعالیت‌های انتقالی و ارتباط داخلی مولفه‌ها در بین چند دوره متوالی بی‌توجه‌اند و تنها در دوره زمانی مجزا به طور مستقل به بهینه‌سازی موضعی در یک دوره خاص توجه دارند. در این حالت تنها مدل بهینه‌سازی شبکه ساده برای ارزیابی عملکرد مناسب نیست چرا که به ارتباط خصوصی یا مشترک بخش‌های درونی سیستم بی‌توجه است و قابلیت سنجش کارایی و عملکرد را در چند دوره متوالی به هم وابسته ندارد. برای مقابله با این نقطه نظر و در نظر گرفتن کارایی در مدت زمان طولانی از مدل DEA پویا^۳ که شامل فعالیت انتقالی است استفاده می‌شود. این مدل قادر به اندازه‌گیری کارایی دوره خاص بر اساس بهینه‌سازی بلندمدت می‌باشد (توانا، ۲۰۱۶). به طور کلی یک مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا را می‌توان به صورت شکل زیر در نظر گرفت. در این مدل n واحد تصمیم‌گیرنده را در T دوره در نظر می‌گیریم. می‌توان با به دست آوردن مقادیر پارامترهای مدل، دلایل ناکارآمدی DMU را در یک مقطع زمانی مشخص کرده و راه کارهای مناسب را ارائه نمود (حسین زاده لطفی، ۲۰۱۷). ر دوره t ، ورودی و خروجی‌های مربوط به خودش را دارد که با فعالیت‌های انتقالی با دوره بعدی $(t+1)$ مرتبط می‌شود. آنچه که DEA پویا را از تحلیل پوششی داده‌های سنتی متمایز می‌کند این است که فعالیت‌های

^۱ Decision Making Unit (DMU)

^۲ Fernanda

^۳ Dynamic Data Envelopment Analysis

انتقالی بین دو دوره متوالی ارتباط برقرار می‌کنند (کوک^۱، ۲۰۱۰).



پیشینه تحقیق

نموتو و گوتو نموتو و گوتی^۲ (۲۰۱۸) با تقسیم ورودی‌های یک واحد به دو دسته ورودی‌های نیمه ثابت و متغیر، مدل DEA پویا (DDEA) را ارائه کردند. امروزی نژاد و تاناسلیس^۳ (۲۰۰۶) مدل پویایی را توسعه دادند که کارایی فرایندهای تولید پویا را با در نظر گرفتن ورودی و خروجی-های بین زمانی به عنوان متغیرهای اضافی در مدل DEA ایستا ارزیابی می‌کرد؛ اما در مدل آنها بعد فضای حل به طور مضربی با توجه به تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها و دوره‌های ارزیابی افزایش می‌یابد. امیر تیموری (۲۰۰۶) با معرفی کارایی درآمد پویا، یک مدل DDEA را توسعه داد و از آن برای ارزیابی شرکت‌های گاز در ایران استفاده کرد. در مدل وی ترکیب محدب کارایی دوره‌ها، کارایی کل را تشکیل می‌دهد. چن^۴ (۲۰۰۹)، مدلی برای ارزیابی عملکرد شبکه تولید پویا که از واحدهای تولید فرعی چندگانه تشکیل شده پیشنهاد داد. او یک شاخص کارایی جدید برای در نظر گرفتن اثرات زمان در ارزیابی عملکرد معرفی کرد؛ اما وی روشی برای تعیین مقدار پارامتر زمان معرفی نکرد. چن و دالن^۵ (۲۰۱۰)، با نقد مدل‌های ایستا، یک مدل DEA پویا توسعه دادند و از آن برای ارزیابی کارایی تبلیغات چندین شرکت دارویی و خودرویی در آمریکای شمالی استفاده کردند. تن و تسوتسوی^۶ (۲۰۱۰)، مدل مبتنی بر متغیرهای کمبود تحلیل پوششی داده‌های پویا

^۱ Cook

^۲ Nemoto, J. & Goto, M

^۳ Emrouznejad, A. & Thanassoulis, E

^۴ Chen

^۵ Chen, Chien M. & van Dalen, J

^۶ Tone, k. & Tsutsui, M

(DSBM) را توسعه دادند. کائو^۱ (۲۰۱۳) نیز مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای ساختارهای پویا معرفی کردند؛ اما مدل‌های DDEA معرفی شده، DMU را در هر دوره زمانی به صورت جعبه سیاه در نظر می‌گیرند و به ساختار داخلی آن توجه نمی‌کنند. به منظور توسعه مدل‌های پویا به ساختارهای شبکه‌ای، مطالعاتی انجام شده است. تن و تسوتسوی (۲۰۱۴)، یک مدل شبکه‌ای پویا مبتنی بر متغیرهای کمبود ارائه کردند که در آن متغیرهای بین زمانی می‌تواند تاثیر مثبت یا منفی بر تولیدات دوره بعد داشته باشد. اوکیران و مک کریستال^۲ (۲۰۱۴)، با معرفی یک مدل شبکه‌ای پویا به مقایسه مدل خود با مدل‌های شبکه‌ای پویا مبتنی بر متغیرهای کمبود با استفاده از آزمون استواری پرداخت. چانگ و تن بر مبنای مدل تن و تسوتسوی در سال ۲۰۱۰ مدل‌هایی را ارائه کردند که حیطة زمانی گذشته، حال و آینده را شامل می‌شد و فعالیت‌های هر سه دوره را در نظر می‌گرفت (فرضی پور و ترابی پور، ۲۰۱۳). شعبان پور (۲۰۱۷) با ارائه مدلی از DEA پویا به سنجش عملکرد زنجیره تامین سبز در صنایع پرداخت. بادیه زاده و دیگران^۳ (۲۰۱۷) با ارائه یک مدل DEA پویا، به پیش بینی کارایی تامین کنندگان در زنجیره تامین سبز پرداخت. بادیه زاده و همکاران (۲۰۱۸) با ارائه مدلی از DEA با ساختار شبکه‌ای به ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار پرداخت. فوکویاما و همکاران^۴ (۲۰۱۵) با توسعه یک مدل DEA پویا، به مدلی جدید دست پیدا کرد که عملکرد و کارایی زنجیره تامین را می‌تواند پیش بینی نماید. سلیمانی دامنه (۱۳۹۸) به توسعه یک مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا (DDEA) جهت ارزیابی دوره ای واحدهای تصمیم گیرنده پرداخت. محمدی فر و همکاران (۱۳۹۵) مدلی بر اساس تحلیل پوششی داده‌های پویا با رویکرد اوزان مشترک ارائه نموده اند. عباسی و همکاران (۱۳۹۴) محاسبه بازده به مقیاس با استفاده از یک مدل شعاعی در تحلیل پوششی داده‌های پویا را مورد بررسی قرار داده اند. اوکیران (۲۰۱۳)، فوکویاما و وبر^۵ (۲۰۱۵)، مورنو و لوزانو^۶ (۲۰۱۶)، ژا و دیگران^۷ (۲۰۱۶) و تن (۲۰۰۱) از دیگر پژوهشگرانی هستند که مدل‌هایی را برای ارزیابی ساختارهای شبکه‌ای پویا معرفی کردند. در این مقاله با دیدگاه و رویکردی متفاوت یک مدل تحلیل پوششی شبکه‌ای پویا

۱ Kao

۲ Avkiran, N. Mccrystal, A

۳ Badiezadeh et.all

۴ Fukuyama et.all

۵ Fukuyama, H. & Weber, W.L.

۶ Moreno, P. & Lozano, S.

۷ Zha, Y. Liang, N. Wu, M. & Bian, Y.

جدید ارائه می‌شود.

روش تحقیق

روش تحقیق در این پژوهش از نوع توصیفی و از نظر هدف کاربردی می‌باشد. بر همین اساس، مدل DEA پویا با ساختار شبکه‌ای را در چهارچوب اندازه‌گیری مبتنی بر مدل SBM^1 و تاکید بر متغیرهای کمکی ارائه می‌نماییم و سپس با بهره‌گیری از داده‌های واقعی در صنعت سیمان، اعتبار مدل ارائه شده را مورد سنجش قرار می‌دهیم. تن (۲۰۰۱) مدل SBM را معرفی نمود. این مدل بر مبنای متغیرهای کمکی طراحی شده است و نسبت به تغییر واحد پایدار است؛ یعنی با هر واحدی ورودی و خروجی‌ها اندازه‌گیری شود کارایی تغییر نمی‌کند. این خاصیت تحت عنوان دیماسیون آزاد نیز نامیده می‌شود. برخلاف روش شعاعی که فرض تغییرات متناسب در ورودی و خروجی می‌باشد، این مدل غیر شعاعی است و می‌تواند ورودی و خروجی را به طور جداگانه بررسی کند و به صورت رابطه شماره یک بیان می‌شود.

در این مدل، فرض بر این است که $X_o > 0$ و $Y_o > 0$ ؛ که در آن DMU_o باریدار ورودی و خروجی (X_o, Y_o) واحد تحت ارزیابی می‌باشد و همواره رابطه $0 \leq \rho \leq 1$ برقرار می‌باشد.

$$\min P_o = \frac{1 - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{S_i^-}{x_{i_o}}}{1 + \frac{1}{s} \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{y_{r_o}}} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$s.t \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} + S_i^- = x_{i_o} \quad , \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j y_{ij} - S_r^+ = y_{r_o} \quad , \quad r = 1, 2, \dots, s$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad , \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$$S_i^- \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$S_r^+ \geq 0, \quad r = 1, 2, \dots, s$$

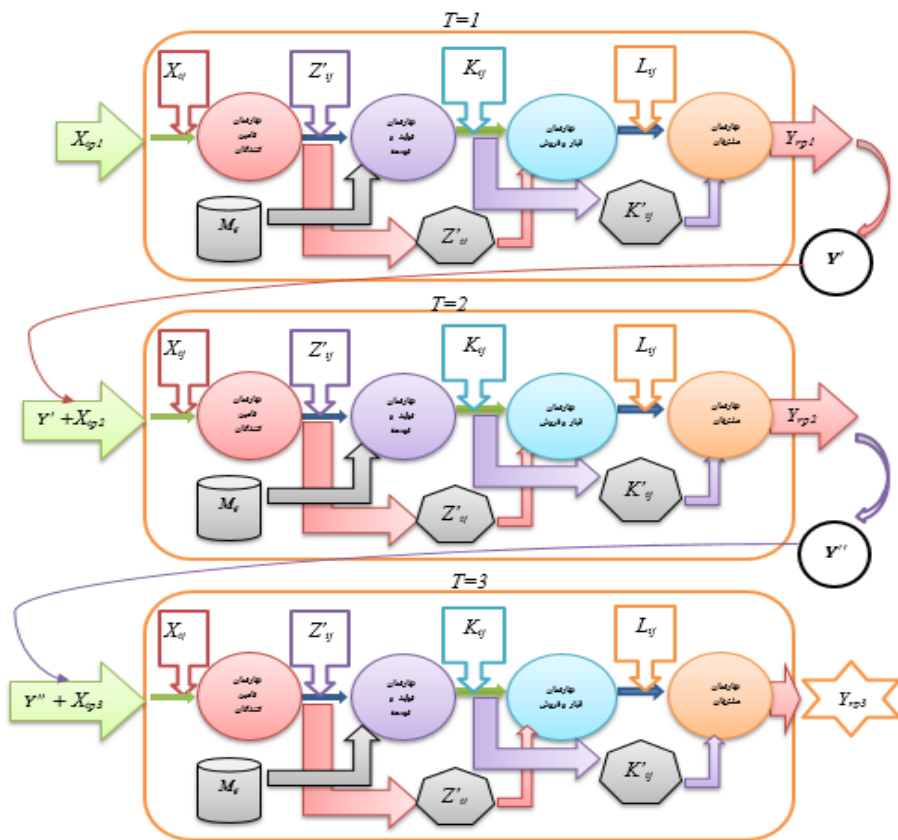
مدل DEA پویا با ساختار شبکه

به منظور ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار، مدل DEA پویا را با ساختار شبکه ارائه می‌دهیم. در این شبکه، بخش‌ها توسط پیوندها و دوره‌های متوالی به وسیله انتقال‌ها^۱ به هم مرتبط اند. یک انتقال از بخش مشخصی به همان بخش در دوره بعدی وارد می‌شود. در این مدل فعالیت‌های انتقالی به چهار نوع، مطلوب (خوب)، نامطلوب (بد)، اختیاری (آزاد)، غیر اختیاری (ثابت) طبقه‌بندی می‌شوند؛ بنابراین می‌توانیم خواسته‌های محققان و پژوهشگران را به طور صحیح برآورده کنیم.

همانطور که در شکل شماره دو مشاهده می‌شود، هر زنجیره تامین پایدار طی یک پریود زمانی حاوی چهار دپارتمان^۲ است. خروجی هر دپارتمان به عنوان ورودی دپارتمان بعدی در نظر گرفته می‌شود. از آنجائیکه ممکن است خروجی یک دپارتمان در دپارتمان غیر متوالی مصرف شود، ورودی‌های اختصاصی برای آن دپارتمان‌ها در نظر گرفته شده است که در این شکل با نمادهای $(K'_{ij}$ و Z'_{ij}) نشان داده شده‌اند. با عنایت به پویایی مدل، خروجی نهایی یک دوره زمانی (Y_{r0}) ، خود به عنوان ورودی برای دوره زمانی بعد لحاظ می‌شود. با تکرار این فرایند در دوره‌های متوالی در نهایت خروجی اصلی مدل حاصل می‌گردد. مدل اصلی و جدید ارائه شده در این مقاله بر مبنای این شکل ساختار یافته است. به منظور تدوین مدل مناسب، پارامترهای مدل را به صورت جدول (یک) در نظر می‌گیریم.

۱ Carry-over

۲ Stage



جدول ۱. تشریح نمادها و پارامترهای مدل ریاضی

پارامتر	تعریف	پارامتر	تعریف
P_0	مقدار کارایی نسبی DMU تحت ارزیابی	X_{ij}	متغیر تصمیم که نشان دهنده بردار ورودی به شبکه زنجیره‌تأمین است. این بردار وارد Stage اول می‌شود
j	تعداد واحد تصمیم گیرنده $j = 1, 2, \dots, n$	Z_{ij}	متغیر تصمیم که نشان دهنده بردار خروجی Stage اول است. این متغیر به عنوان ورودی Stage دوم در شبکه زنجیره‌تأمین است
i	معرف تعداد ورودی ها $i = 1, 2, \dots, m$	K_{ij}	متغیر تصمیم که نشان دهنده بردار خروجی Stage دوم است. این متغیر به عنوان ورودی Stage سوم در شبکه زنجیره‌تأمین است
r	معرف تعداد خروجی ها $r = 1, 2, \dots, s$	L_{ij}	متغیر تصمیم که نشان دهنده بردار خروجی Stage سوم است. این متغیر به عنوان ورودی Stage چهارم در شبکه زنجیره‌تأمین است
U_r	وزن داده های خروجی r ام	Y_{r0}	متغیر تصمیم که نشان دهنده بردار خروجی کل زنجیره‌تأمین پایدار است
V_i	وزن داده های ورودی i ام	Z'_{ij}	متغیر تصمیم که نشان دهنده بردار خروجی Stage اول است. این متغیر به عنوان ورودی Stage سوم در شبکه زنجیره‌تأمین است
M_i	مقدار جریمه مربوط به خروجی های نامطلوب که ورودی Stage دوم در نظر گرفته می‌شود.	K'_{ij}	متغیر تصمیم که نشان دهنده بردار خروجی Stage دوم است. این متغیر به عنوان ورودی Stage چهارم در شبکه زنجیره‌تأمین است
t	زمان در برنامه ریزی پویا (دوره زمانی) $t = 1, 2, 3$	Y^t	مقدار خروجی منتخب که از دوره $t=1$ وارد بخش $t=2$ شده و با X^2 جمع شده و

			ورودی به حساب می آید.
s^+	بردارهای Slack خروجی	y''	مقدار خروجی منتخب که از دوره $t=2$ وارد بخش $t=3$ شده و با X^3 جمع شده و ورودی این بخش به حساب می آید.
μ	کنترل وزنی پارامتر K	s^-	بردارهای Slack ورودی
ρ	کنترل وزنی پارامتر K'	v	کنترل وزنی پارامتر X
μ'	کنترل وزنی پارامتر L	w	کنترل وزنی پارامتر Z
U	کنترل وزنی پارامتر Y	w'	کنترل وزنی پارامتر Z'

تدوین تابع هدف

در تابع هدف مدل تحت بررسی به دنبال تعیین مقدار کارایی نسبی زنجیره‌های تامین پایدار هستیم. با عنایت به ساختار مدل SBM تابع هدف مدل به صورت زیر ارائه می‌شود. در این مدل جدید P_0^* را کارایی کل ماهیت ورودی DMU_0 می‌نامیم. اگر داشته باشیم $P_0^* = 1$ ، آنگاه DMU_0 را در ماهیت ورودی به طور کلی کارا می‌نامند. در این تابع هدف $K=m.t$ و $T=s.t$ می‌باشد.

با توجه به نوع ارتباط متغیرهای اصلی در مساله و ارتباط بین سلول‌های شبکه تامین می‌بایست قیدهای اصلی مساله را تدوین نماییم به گونه‌ای که اولاً ارتباط ذکر شده را پوشش دهد و ثانیاً لینک‌های برقرار شده توسط قیدها نقض نشود. این دو اصل با عنایت به تعریف چهار به ازای هر مرحله یا سلول تحت بررسی تدوین می‌گردد.

$$\min P_0 = \frac{1 - \frac{1}{k} \left(\sum_{t=1}^t \sum_{i=1}^m \frac{S_i^{-t}}{|X_{ip}|} \right)}{1 + \frac{1}{T^s} \left(\sum_{t=1}^t \sum_{r=1}^s \frac{S_r^{+t}}{|Y_{rp}|} \right)} \quad (\text{رابطه 2})$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j + S_i^- = X_p \quad t = 1, 2, 3 \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} L_j^t \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} L_j^t \quad t = 1, 2, 3$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} Z_j^t \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} Z_j^t \quad t = 1, 2, 3 \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_j - S_r^+ = Y_p \quad t = 1, 2, 3$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} Z_j^{t'} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} Z_j^{t'} \quad t = 1, 2, 3 \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^{t'} Y_j^{t'} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{(t+1)'} Y_j^{t'} \quad t = 1, 2$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^t \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} K_j^t \quad t = 1, 2, 3 \quad \lambda^{1t} \geq \cdot, \lambda^{2t} \geq \cdot, \lambda^{3t} \geq \cdot, \lambda^{4t} \geq \cdot$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^{t'} \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} K_j^{t'} \quad t = 1, 2, 3 \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} = 1$$

با عنایت به اینکه در مساله دارای محدودیت های وزنی می باشیم و نیاز به دوآل این مدل ضروری می باشد، ابتدا مدل فوق را خطی سازی نموده و فرم کانونی آن را می نویسیم:

$$\min \varphi - \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^t \sum_{i=1}^m \frac{S_i^{-t}}{|X_{ip}|} \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

$$Q \left(q + \frac{1}{T^s} \left(\sum_{i=1}^t \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{|Y_{rp}|} \right) \right) = 1 \quad \mu \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} K_j^t \right) \geq 0$$

$$V \left(- \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} X_j^t - S_i^- + X_p^t q \right) \geq 0 \quad \rho \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^{t'} - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} K_j^{t'} \right) \geq 0$$

$$W \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} Z_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} Z_j^t \right) \geq 0 \quad \mu' \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} L_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} L_j^t \right) \geq 0$$

$$W' \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} Z_j^{t'} - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} Z_j^{t'} \right) \geq 0 \quad U \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{t'} Y_j^{t'} - S_r^+ - Y_p^t q \right) = 0$$

$$\mu \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} K_j^t \right) \geq 0 \quad F \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{t+1} Y_j^{t+1} - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{(t+1)} Y_j^{t+1} \right) \geq 0$$

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

در ادامه جهت اعمال محدودیت های وزنی، دوآل مدل فوق را می نویسیم:

max φ

رابطه ۴)

$$-VX_j^t + WZ_j^t + W'Z_j^t + u_0^1 \leq 0, \forall j$$

$$-WZ_j^t + \mu K_j^t + \rho K_j^t + u_0^2 \leq 0, \forall j$$

$$-W'Z_j^t - \mu K_j^t + \mu' L_j^t + u_0^3 \leq 0, \forall j$$

$$-\rho K_j^t - \mu' L_j^t + UY_j + u_0^4 \leq 0, \forall j$$

$$\varphi \left(\frac{1}{S|Y_{ip}^t|} \right) - u_r \leq 0, \forall j$$

$$-v_i \leq \frac{-1}{m|X_{ip}^t|}, \forall j$$

$$\varphi + VX_j^t - UY_p - u_0^1 - u_0^2 - u_0^3 - u_0^4 \leq 1$$

آزاد در علامت u_0 ها و φ

$$V, U, W, \mu, \mu', W', F \geq 0$$

یافته‌های تحقیق

با عنایت به ساختار مدل هیبریدی تحلیل پوششی داده‌ها و به منظور پوشش کامل مدل در زنجیره‌تأمین پایدار صنعت سیمان که یک شبکه پیچیده محسوب می‌شود، شاخص‌های متعددی را در نظر گرفته شده است که بر اساس آن‌ها محدودیت‌های زیر تدوین شده است.

قیدهای مربوط به سطح اول زنجیره‌تأمین پایدار

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t X_{ij}^t \leq b \quad \text{رابطه ۵} \quad (g) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t X_{rj}^t \leq (e) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \quad \text{رابطه ۹}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t X_{rj}^t \leq (c) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{rj}^t \quad \text{رابطه ۶} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t X_{rj}^t \leq (h) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{rj}^t \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t X_{rj}^t \leq (d) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \quad \text{رابطه ۷} \quad 0 \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t X_{ij}^t \leq p \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$(e) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{rj}^t \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t X_{rj}^t \leq (f) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{rj}^t \quad \text{رابطه ۸} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t X_{rj}^t \leq (q) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{rj}^t \quad \text{رابطه ۱۲}$$

قیدهای مربوط به سطح دوم زنجیره‌تأمین پایدار

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \geq (n) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \quad \text{رابطه ۱۳} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (ac) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{rj}^t \quad \text{رابطه ۱۹}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (ab) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{rj}^t \quad \text{رابطه ۱۴} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (ad) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{rj}^t \quad \text{رابطه ۲۰}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (e) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{rj}^t \quad \text{رابطه ۱۵} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (ac) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{rj}^t \quad \text{رابطه ۲۱}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (q) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \quad \text{رابطه ۱۶} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (af) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{rj}^t \quad \text{رابطه ۲۲}$$

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq b \quad \text{رابطه ۱۷} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (ag) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{rj}^t \quad \text{رابطه ۲۳}$$

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq b \quad \text{رابطه ۱۸} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{rj}^t \leq (ac) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{rj}^t \quad \text{رابطه ۲۴}$$

قیدهای مربوط به سطح دوم و فرعی اول زنجیره‌تأمین پایدار

$$(ao) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{s,j}^t \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{s,j}^t \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{s,j}^t \quad \text{رابطه ۲۵} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{s,j}^t Bad \leq a \quad \text{رابطه ۲۹}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{r,j}^t \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z_{s,j}^t \quad \text{رابطه ۲۶} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{r,j}^t Bad \leq a \quad \text{رابطه ۳۰}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{v,j}^t Bad \leq ap \quad \text{رابطه ۲۷} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{v,j}^t \leq b \quad \text{رابطه ۳۱}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{r,j}^t Bad \leq aq \quad \text{رابطه ۲۸} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{r,j}^t \leq b \quad \text{رابطه ۳۲}$$

قیدهای مربوط به سطح دوم و فرعی دوم زنجیره‌تأمین پایدار

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z'_{r,j} \leq b \quad \text{رابطه ۳۳} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z'_{r,j} \leq (ah) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{r,j}^t \quad \text{رابطه ۳۵}$$

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z'_{r,j} \leq b \quad \text{رابطه ۳۴} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Z'_{r,j} \leq b \quad \text{رابطه ۳۶}$$

قیدهای مربوط به سطح سوم و فرعی سوم زنجیره‌تأمین پایدار

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K'_{r,j} \leq b \quad \text{رابطه ۳۷} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K'_{r,j} \leq b \quad \text{رابطه ۴۰}$$

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K'_{r,j} \leq b \quad \text{رابطه ۳۸} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K'_{s,j} \leq b \quad \text{رابطه ۴۱}$$

$$(q) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{s,j}^t \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K'_{r,j} \quad \text{رابطه ۳۹}$$

$$\leq (ac) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{r,j}^t$$

قیدهای مربوط به سطح سوم زنجیره‌تأمین پایدار

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^r L_{rj} \leq (au) \sum_{j=1}^n \lambda_j^r L_{rj} \quad \text{رابطه ۴۲} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{tj} \leq (an) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t K_{tj} \quad \text{رابطه ۴۵}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^r L_{rj} \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \quad \text{رابطه ۴۳} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j^t L_{tj} \leq [(\sum_{j=1}^n \lambda_j^t k_{tj}^t) \times bc] \times (be) \quad \text{رابطه ۴۶}$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^r L_{rj} \leq (ab) \sum_{j=1}^n \lambda_j^t k_{tj} \quad \text{رابطه ۴۴}$$

قیدهای مربوط به سطح چهارم زنجیره‌تأمین پایدار

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \leq b \quad \text{رابطه ۴۷} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \leq b \quad \text{رابطه ۵۱}$$

$$a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \leq b \quad \text{رابطه ۴۸} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \leq b \quad \text{رابطه ۵۲}$$

$$bg \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \leq bh \quad \text{رابطه ۴۹} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \leq b \quad \text{رابطه ۵۳}$$

$$bg \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \leq bh \quad \text{رابطه ۵۰} \quad a \leq \sum_{j=1}^n \lambda_j^t Y_{tj} \leq b \quad \text{رابطه ۵۴}$$

با عنایت به نظر خبرگان، محدودیت‌های وزنی لحاظ شده در داده‌های واقعی استخراج شده، به صورت زیر به مدل ارائه شده اضافه می‌گردد.

محدودیت‌های وزنی رابطه ۵۵)

$$\begin{aligned} V_1 &\geq \frac{0.174}{0.146} V_1 & V_5 &\geq \frac{0.146}{0.133} V_5 & V_6 &\geq \frac{0.133}{0.120} V_6 \\ W_2 &\geq \frac{0.165}{0.132} W_2 & W_7 &\geq \frac{0.132}{0.116} W_7 & W_8 &\geq \frac{0.116}{0.103} W_8 \\ \mu'_{\tau} &\geq \frac{0.147}{0.146} \mu'_{\tau} & \mu'_{\epsilon} &\geq \frac{0.146}{0.140} \mu'_{\epsilon} & \mu'_{\delta} &\geq \frac{0.140}{0.122} \mu'_{\delta} \\ W'_{\tau} &\geq \frac{0.139}{0.132} W'_{\tau} & W'_{\delta} &\geq \frac{0.133}{0.102} W'_{\delta} & \rho'_{\tau} &\geq \frac{0.181}{0.163} \rho'_{\tau} \end{aligned}$$

$$\rho'_1 \geq \frac{0.163}{0.137} \rho'_1 \quad \rho'_2 \geq \frac{0.137}{0.133} \rho'_2 \quad u_5 \geq \frac{0.176}{0.158} u_5$$

$$u_{13} \geq \frac{0.158}{0.149} u_{13} \quad u_6 \geq \frac{0.149}{0.140} u_6 \quad u_4 \geq \frac{0.140}{0.139} u_4$$

تجزیه و تحلیل داده ها (پایه سازی مدل)

داده های مربوط به متغیرهای ورودی و خروجی از سازمان بورس اوراق بهادار، فرم‌های ارزیابی سازمان محیط‌زیست، صنف کارفرمایان صنعت سیمان و بررسی‌های میدانی مطابق با شاخص‌های جدول (دو) جمع آوری شده است و سپس در نرم افزار GAMS برنامه نویسی و حل شده است.

همانطور که اشاره شد، مدل پیشنهادی در این مقاله بر اساس داده های واقعی زنجیره تامین پایدار صنعت سیمان در قالب یک شبکه پویا و در طی سه دوره متوالی بین سال های ۹۳ الی ۹۵ مورد آزمون قرار می گیرد و نمره کارایی شبکه بر اساس اجرای این مدل به صورت زیر به دست آمده است. همانطور که در جدول (چهار) مشاهده می شود، نمرات کارایی بر اساس مدل شبکه ای و مدل هیبرید ارائه شده مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نکته قابل توجه در این مقایسه، آن است که زنجیره های تامینی که بر اساس مدل شبکه ای در سه دوره تحت بررسی به نمره کارایی دست یافته اند، در مدل هیبریدی نیز به مرز کارایی رسیده‌اند.

تعداد ۱۰ زنجیره های تامین شامل سباد، ساروم، سجام، سخرم، سدور، سرود، سشمال، سفیروز، سکرد و سهگمت در هر دو مدل هیبرید و شبکه ناکارا تشخیص داده شده‌اند.

تعداد هفت زنجیره های تامین شامل سابیگ، سباقر، سدشت، سشرق، سلار، سنیر و سپهرمز، توانسته‌اند بر اساس هر دو مدل ارائه شده به مرز کارایی دست پیدا کنند.

تعداد نه زنجیره تامین شامل سبجنو، سبزوار، سپهان، ستران، سخزر، سخواف، سخوز، سصوفی و سمان بر اساس مدل پویا (هیبرید) توانسته اند به مرز کارایی دست یابند. هرچند ممکن است در دوره ای از مدل شبکه ای به کارایی نرسیده باشند. تعداد ۱۶ زنجیره تامین بر اساس مدل هیبرید ناکارا شده اند. هرچند در طول سه دوره تحت بررسی، حداقل در یک دوره و بر اساس مدل شبکه ای به مرز کارایی رسیده‌اند. نمودار تغییرات کارایی زنجیره های تامین سیمان بر اساس مدل شبکه ای در طی سه دوره تحت بررسی و مدل هیبرید در نمودار (یک) ارائه می‌گردد.

نتایج نشان می‌دهد در بازه زمانی مذکور، متوسط کارایی در زنجیره تامین پایدار صنعت سیمان در کشور ایران حدود ۹۲ درصد است. کارایی ساختاری که بیانگر متوسط وزنی کارایی‌های زنجیره‌های تامین تحت بررسی می‌باشد، در سال ۹۳ حدود ۹۸ درصد، در سال ۹۴ حدود ۸۶ درصد و در سال ۹۵ حدود ۹۱ درصد می‌باشد.

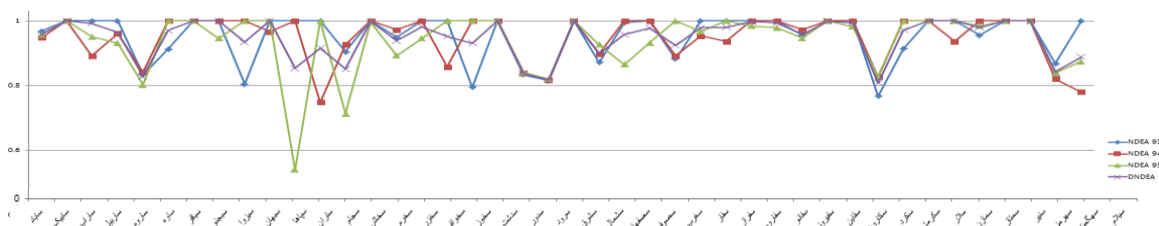
جدول ۲. پارامترهای مدل هیبرید (هسو، ۲۰۱۳) و (کائن، ۲۰۱۴) و (کیانی، ۲۰۱۴) و (الفت، ۲۰۱۶) و (خلیلی دامغانی، ۲۰۱۶)

X_{ip} پارامترهای	Z_{ij} پارامترهای	K_{ij} پارامترهای	L_{ij} پارامترهای	Y_{rp} پارامترهای
کیفیت تامین کنندگان به لحاظ پایداری در عرضه مواد معدنی و لوازم مصرفی	مجموع ذخایر معدنی در اختیار	مجموع تناژ تولیدی کلینکر کارخانه	مجموع هزینه بازاریابی	مجموع دارایی‌ها
هزینه آموزش سبز و پایداری جهت رعایت مسائل مربوطه در طول زنجیره	مجموع تناژ مواد اولیه برداشت شده از معادن که باید در فرایند تولید مصرف شود	مجموع تناژ تولیدی سیمان کارخانه	مجموع ارزش ریالی دارایی‌ها و موجودی نگهداری شده آماده برای فروش	رقابت پذیری و جهانی سازی برند کارخانه
مجموع سرمایه گذاری اولیه در بهره برداری از معادن و فرایند کارخانه	تناژ مواد شیمیایی و معدنی دیگر که در فرایند تولید مصرف می شود	مجموع ذرات غبار تولید شده (mg/m^3)	مجموع تناژ فروش سیمان پاکتی و فله در بازار داخلی و صادرات	نگرش فرهنگی به احداث فضای سبز
مجموع بدهی های کارخانه	مجموع مواد اولیه معدنی دپو شده برای استفاده در فصل سرما	میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع NOX منتشر شده	مجموع تناژ فروش کلینکر	مجموع درآمد حاصل از فروش محصولات
مجموع هزینه خرید مواد معدنی، شیمیایی و لوازم مصرفی دیگر	کیفیت ارائه برنامه آموزشی برای تامین کنندگان و کارکنان در راستای تولید پایدار و TQM	میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع CO منتشر شده	تعداد پکت سیمان مصرف شده در طی یک سال از نوع pp	مجموع سود حاصل شده
مجموع هزینه پرداختی بابت برداشت از معادن به پیمانکاران	ایجاد آثار مخرب زیست محیطی در برداشت از معادن	میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع SO_2 منتشر شده	بهای تمام شده محصول	نرخ رشد سالانه بر اساس عملکرد
مجموع هزینه حمل و نقل پرداختی	مجموع هزینه تحقیق و توسعه	تأثیر مجموع نفوذ آب مصرفی و فاضلاب در آب های زیر زمینی		بازده دارایی ها ROA
مجموع هزینه های مالی	مجموع هزینه پرداخت انرژی			بازده حساب صاحبان سهام
مجموع تعداد کارکنان	ظرفیت واقعی صنعت			اثرگذاری کارخانه در منطقه فعالیت
مجموع هزینه حقوق و دستمزد پرداختی	میران برق مصرفی در یک سال بر حسب کیلو وات ساعت			رضایت مندی مشتریان
	میزان گاز مصرفی در یک سال بر حسب متر مکعب در تن			مجموع قابل محاسبه ناشی از وزن ضایعات رها شده در محیط زیست
	میزان انرژی سوختی مازوت مصرفی در یک سال بر حسب لیتر به تن			ایجاد آلودگی ناشی از انتشار مواد غیر قابل بازیافت در طبیعت
				پیاده سازی اصول کیفیت زندگی کاری و رفاه اجتماعی

			برای پرسنل
			مسئولیت اجتماعی
M_i پارامترهای	Z'_{ij} پارامترهای	K'_{ij} پارامترهای	
جریمه مجموع ذرات غبار تولید شده (mg/m^3)	انعطاف پذیری تامین کنندگان	تدارکات معکوس	
جریمه میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع NOX منتشر شده	بهبود روابط در طول زنجیره تامین	تاثیر عملکرد کارخانه بر ایجاد شرایط منفی در اکوسیستم پیرامون	
جریمه میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع CO منتشر شده	مجموع هزینه در راستای افزایش قابلیت اطمینان در زنجیره تامین	هزینه طراحی سازگاری با محیط زیست	
جریمه میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع SO2 منتشر شده	توجه به اصول استانداردهای قانونی و ضوابط دولتی در طول زنجیره	پاسخگویی اجتماعی	
	انعطاف پذیری تامین کنندگان	تلاش در راستای استفاده از فناوری های پیشرفته و مواد اولیه جایگزین	

جدول ۲. ضرائب مربوط به متغیرهای تصمیم (با نظر خبرگان)

$j = ۱, ۲, ۳, \dots, ۴۲$	$a = ۱$	$b = ۵$	$c = ۰.۰۲$	$d = ۷.۲$	$e = ۰.۰۵$	$f = ۰.۰۱۲$	$g = ۰.۰۳$
$h = ۰.۲۵$	$o = ۰$	$p = ۷۰.۰۰۰$	$q = ۰.۰۳$	$n = ۳۲$	$ab = ۱.۶۵$	$ac = ۰.۱$	$ad = ۰.۰۳۵$
$ac = ۱۱۰$	$af = ۹۹.۶$	$ag = ۲.۶$	$ah = ۰.۸$	$ao = ۰.۶$	$ap = ۱۳۰$	$aq = ۵.۰$	$ar = ۲۲.۰$
$as = ۷۰.۰$	$au = ۰.۰۷$	$an = ۱.۱$	$bc = ۲.۰$	$be = ۱.۱۵$	$bg = -۱.۰$	$bh = ۱.۰$	$bo = ۷.۰$



نمودار ۱. مقایسه نمرات کارایی حاصل از مدل شبکه ای در سال‌های مختلف با مدی هیبریدی در طی ۳ دوره متوالی

جدول ۴. نتایج حاصل از پیاده سازی و حل مدل هیبرید تحلیل پوششی داده‌های پویا با ساختار شبکه در صنعت سیمان

ردیف	نام زنجیره	نمرات کارایی در سال ۹۳	نمرات کارایی در سال ۹۴	نمرات کارایی در سال ۹۵	نمرات کارایی در مدل پویا طی ۳ دوره	وضعیت
۱	ساباد	۰,۹۶۸	۰,۹۴۸	۰,۹۵۷	۰,۹۵۸۰	ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید
۲	سایبک	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	کارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید
۳	ساراب	۱,۰۰۰	۰,۸۹۱۶	۰,۹۵۱	۰,۹۹۲	در مدل هیبرید ناکارا
۴	سارییل	۱,۰۰۰	۰,۹۶۱۵۸	۰,۹۳۱۵	۰,۹۶۴	در مدل هیبرید ناکارا
۵	ساروم	۰,۸۳۳	۰,۸۴۲۵	۰,۸۰۳۸	۰,۸۲۷	ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید
۶	ساوه	۰,۹۱۳	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۷۱	در مدل هیبرید ناکارا
۷	سباقر	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	کارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید
۸	سیچنو	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۴۰	۱,۰۰۰	در مدل هیبرید کارا
۹	سبزوا	۰,۸۰۴	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	در مدل هیبرید کارا
۱۰	سبهان	۱,۰۰۰	۰,۹۶۶	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	در مدل هیبرید کارا
۱۱	سپاها	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۵۴۰	۰,۸۵۳	در مدل هیبرید ناکارا
۱۲	ستران	۱,۰۰۰	۰,۷۴۸	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	در مدل هیبرید کارا
۱۳	سجام	۰,۹۰۴	۰,۹۲۶	۰,۷۱۳	۰,۸۵۱۲	ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید
۱۴	سختاش	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۹۶	۰,۹۹۸	در مدل هیبرید ناکارا
۱۵	سخرم	۰,۹۴۹	۰,۹۷۳	۰,۸۹۲	۰,۹۳۸	ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید
۱۶	سخرز	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۴۶	۱,۰۰۰	در مدل هیبرید کارا
۱۷	سرخواف	۱,۰۰۰	۰,۸۵۸۳	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	در مدل هیبرید کارا
۱۸	سرخوز	۰,۷۹۵	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	در مدل هیبرید کارا

کارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰	سشت	۱۹
ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۰,۸۳۸	۰,۸۴۱	۰,۸۳۸	۰,۸۳۳	سدور	۲۰
ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۰,۸۱۸	۰,۸۲۰۶	۰,۸۱۷۷	۰,۸۱۵	سرود	۲۱
کارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	ششرق	۲۲
ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۰,۸۹۹	۰,۹۲۰	۰,۸۹۸	۰,۸۷۲	ششمال	۲۳
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۵۷۱	۰,۸۶۵	۱,۰۰۰	۰,۹۹۵	سصفها	۲۴
در مدل هیبرید کارا	۱,۰۰۰	۰,۹۳۳۴	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	سصوفی	۲۵
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۲۴	۱,۰۰۰	۰,۸۹۲	۰,۸۸۲	سغرب	۲۶
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۷۸	۰,۹۶۷	۰,۹۵۳	۱,۰۰۰	سفار	۲۷
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۸۰۷	۱,۰۰۰	۰,۹۳۷	۱,۰۰۰	سفرافز	۲۸
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۹۸	۰,۹۸۴	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	سفاروم	۲۹
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۹۳	۰,۹۷۸	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	سفانو	۳۰
ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۰,۹۵۹	۰,۹۴۷	۰,۹۷۲	۰,۹۵۷	سفروز	۳۱
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۹۹	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۹۹	سقاین	۳۲
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۹۴۱	۰,۹۸۲	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	سکارون	۳۳
ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۰,۸۰۸	۰,۸۲۹	۰,۸۲۷	۰,۷۶۷	سکرد	۳۴
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۷۱	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۱۴	سکرما	۳۵
کارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	سلار	۳۶
در مدل هیبرید کارا	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۰,۹۳۶	۱,۰۰۰	سمازن	۳۷
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۹۸۰	۰,۹۸۴	۱,۰۰۰	۰,۹۵۵	سمتاز	۳۸
کارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	سنیر	۳۹

کارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	۱,۰۰۰	سهمز	۴۰
ناکارایی زنجیره در مدل شبکه و مدل هیبرید	۰,۸۴۳	۰,۸۳۸	۰,۸۲۰	۰,۸۶۹	سهگمت	۴۱
در مدل هیبرید ناکارا	۰,۸۸۸	۰,۸۷۵	۰,۷۸۰	۱,۰۰۰	سیلام	۴۲

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

مدل‌هایی که تا کنون توسط محققین ارائه شده است در دو بعد دسته بندی می‌شوند. بعد کیفی نظیر BSC و EFQM و بعد کمی نظیر مدل‌های برگرفته از DEA، تصمیم‌گیری و مباحث تحقیق در عملیات می‌باشند.

هرچند این مدل‌ها نتوانسته‌اند بسیاری از مشکلات زنجیره تامین را مرتفع سازند، ولی کماکان در زنجیره‌های تامین با ابعاد بزرگ تر و دارای روابط پیچیده تر، مشکلات ناشناخته‌ای وجود دارد که کارایی زنجیره را به خطر می‌اندازد. تفاوت عمده یافته‌های این پژوهش با مدل‌ها و پژوهش‌های قبلی به دو بخش عمده تقسیم می‌شود. بخش اول شامل شاخص‌های منتخب در زنجیره تامین می‌باشد که در تحقیقات قبلی عموماً بر روی زنجیره تامین ساده، زنجیره تامین ناب، زنجیره تامین چابک و زنجیره تامین سبز تمرکز داشته‌اند؛ و به تبع صرفاً شاخص‌های این حوزه‌ها ملاک سنجش قرار می‌گرفته است. این درحالی است که در این پژوهش زنجیره تامین پایدار ملاک ارزیابی عملکرد می‌باشد و یقیناً ابعاد وسیع‌تری از شاخص‌های کلیدی را در بر می‌گیرد و همچون چتری شاخص-های تحقیقات قبلی را پوشش می‌دهد. بخش دوم تفاوت این مقاله به مدل تحلیل پوششی داده‌ها مربوط می‌شود. در اکثر تحقیقات قبلی مدل اساسی به کار رفته یا از نوع بازده به مقیاس ثابت مانند مدل CCR و یا از نوع بازده به مقیاس متغیر از نوع مدل BCC استوار بوده‌اند. این در حالی است که مقاله حاضر و مدل ارائه شده در آن مبتنی بر متغیرهای کمکی و بر اساس مدل SBM طراحی شده است که دارای دیمانسیون بالا نسبت به تغییرات متغیرهای ورودی و خروجی خواهد بود. ضمن آنکه در تحقیقات قبلی عموماً مدل شبکه ساده، دو مرحله‌ای و یا حداکثر سه مرحله‌ای در دستور کار محققین قرار داشته است و در آن‌ها توجهی به فعالیت‌های وابسته و لینک‌های فرعی نشده است. در این مقاله با در نظر گرفتن یک شبکه پنج مرحله‌ای با لینک‌ها و فعالیت‌های متعدد در دستور کار قرار گرفته است؛ و نکته آخر به نوآوری مربوط می‌شود که در اکثر تحقیقات قبلی از برنامه ریزی آرمانی، داده‌های فازی و شبکه عصبی استفاده شده است که در این تحقیق از برنامه ریزی پویا به منظور ارزیابی عملکرد دقیق در زنجیره تامین پایدار بهره گرفته شده است و صرفاً داده

های مقطعی مد نظر نبوده و به بهینه سازی بلند مدت توجه می‌کند.

مدل ارائه شده به خوبی شاخص‌های شناسایی شده در سطوح و سلول‌های مختلف زنجیره را در بر می‌گیرد و با خاصیت شبکه‌ای، نحوه ارتباط همه‌ی این شاخص‌ها و سطوح عملیاتی را نشان می‌دهد. به دلیل آن که در زنجیره تامین پایدار نیاز مبرم به بررسی رفتار زنجیره در طی زمان خواهیم داشت، در این مدل از ماهیت پویایی استفاده شده است و فعالیت‌های انتقالی را با عنایت به بعد زمانی در نظر گرفته شده است. در این رویکرد بخشی از خروجی هر مرحله با ورودی مرحله بعد جمع می‌شوند تا مدل از نگاه مقطعی خارج شود و بتواند کارایی را در یک فرایند طولی مورد بررسی قرار دهد. بر اساس نتایج حاصل از اجرای این مدل در صنعت سیمان، از بین ۴۲ زنجیره تامین تحت بررسی تنها ۱۵ زنجیره تامین پایدار توانسته‌اند به مرز کارایی دست پیدا کنند. این زنجیره‌ها با مصرف ورودی اولیه و ورودی‌های انتقالی درونی توانسته‌اند خروجی‌های میانی و به تبع خروجی نهایی مطلوبی تولید کنند و زنجیره را در بهترین سطح از عملکرد و کارایی حفظ کنند. این زنجیره‌ها به عنوان زنجیره‌های مرجع و الگوی عملکرد برای زنجیره‌های ناکارا محسوب می‌شوند.

از بین زنجیره‌های تامین پایدار ناکارا، شش زنجیره تامین شامل: ساراب، سخاش، سفاروم، سفانو، سقائن و سکارون با کسب نمره کارایی نزدیک به یک، می‌توانند با مدیریت بهتر منابع و الگو برداری از زنجیره تامین کارا، خود را به مرز کارایی برسانند. زنجیره‌های تامینی که نتوانسته‌اند الزامات پایداری را رعایت نمایند با اجرای مدل هیبریدی نمره ناکارا را دریافت کرده‌اند. شبکه این زنجیره‌ها نتوانسته است با مصرف نهاده‌ها، ستاده‌های مطلوبی را تولید نماید. بخشی از این نهاده‌ها به اتلاف انرژی و منابع اولیه، تولید ضایعات و خروجی‌های نامطلوب تبدیل شده‌اند که عملاً زنجیره تامین را به مخاطره می‌اندازد و از وضعیت بهینه دور می‌کنند؛ و بخشی دیگر که منجر به تولید و ستانده قابل قبول می‌شوند از نظر کمیت و کیفیت نمی‌توانند انتظارات را برآورده سازد. با اینکه با اجرای مدل هیبریدی عملاً وضعیت عملکرد زنجیره تامین در طی زمان سنجیده می‌شود ولی با در نظر گرفتن فعالیت‌های انتقالی در ماهیت پویا نیز مشاهده می‌شود که همانند روش شبکه‌ای، تعداد بسیاری از زنجیره‌های تامین تحت بررسی در وضعیت و شرایط ناکارا قرار دارند.

به طور کلی پیشنهاد می‌شود این زنجیره‌های تامین، ضمن بازنگری کلی در برنامه‌ها و نحوه اجرای آن، زمینه را جهت الگو برداری از زنجیره‌های تامین پایدار فراهم آورند. توجه به شاخص‌های مهم زنجیره تامین در سطوح عملیاتی، فرایندی و راهبردی در کنار شاخص‌های سطح پایداری می‌تواند در بهبود عملکرد حوزه‌های تولیدی، طرح و توسعه، انبارداری، فروش و بازاریابی، مالی و

انعطاف پذیری سیستم‌های درونی از یک شبکه گسترده نظیر زنجیره تامین پایدار تاثیر گذار باشد؛ و لازم است از سوی مدیریت زنجیره تامین پایداری که نتوانسته اند بر اساس مدل هیبرید تحلیل پوششی داده‌های پویا با ساختار شبکه‌ای به کارایی دست پیدا کنند بیش از پیش مورد توجه قرار گیرد. چرا که مدل نهایی این پژوهش ضمن در برگیرنده بودن تعداد زیادی از شاخص‌های مهم و تاثیر گذار در زنجیره تامین پایدار، ارتباط بخش‌ها و فعالیت‌های درونی در سلول‌های عملیاتی را به خوبی نشان می‌دهد و قادر است این فعالیت‌ها را در ماهیت پویا با در نظر گرفتن فاکتور بسیار مهم زمان، مورد سنجش و ارزیابی قرار دهد.

منابع

سلیمانی دامنه، رضا (۱۳۹۸). *توسعه یک مدل تحلیل پوششی داده های پویا (DDEA) جهت ارزیابی دوره ای واحدهای تصمیم گیرنده*. چهارمین کنفرانس بین المللی مدیریت صنعتی.

عباسی، زهرا و افضل‌نژاد، محمد و صفری، قاسم (۱۳۹۴). *محاسبه بازده به مقیاس با استفاده از یک مدل شعاعی در تحلیل پوششی داده های پویا* کنفرانس بین المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات.

علمداری، احسان و نصرت پناه، سیاوش و نجف زاده، مهدی. (۱۳۹۹). *بررسی میزان تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات با رویکرد مدیریت دانش در ارتقاء چابکی مدیریت زنجیره تأمین* مجله علمی اندیشه آما. (۷۲) ۷۵-۹۶، ۱۹

محمدی فر، بهناز و ه پورعلی، سیده محبوب و امیری، مقصود (۱۳۹۵). *ارایه یک مدل تحلیل پوششی داده های پویا با رویکرد اوزان مشترک اولین کنفرانس ملی مدل ها و تکنیک های کمی در مدیریت*.

Amirteimoori, A. (۲۰۰۶). "Data envelopment analysis in dynamic framework." Applied mathematics and computation, No, ۱۸۱, pp. ۲۱-۲۸.

Avkiran, N. Mccrystal, A. (۲۰۱۴). "Dynamic network range-adjusted measure vs. dynamic network slacks-based measure." Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol, ۵۷. No. ۱. Pp ۱-۱۴.

Azadi, M. & Jafarian, M. (۲۰۱۵). "A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context." Journal of Computers & Operations Research No. ۵۴, PP ۲۷۴-۲۸۵

Babazadeh, R. Razmi, J. Rabbani, M. (۲۰۱۷). *“An integrated data envelopment analysis mathematical programming approach to strategic biodiesel supply chain network design problem.”* Journal of Cleaner Production. Vol, ۳. No. ۱۴۷, PP. ۶۹۴-۷۰۷.

Badiezadeh, T. & Farzipoor Saen, R. & Samavati, T. (۲۰۱۷). *“Assessing sustainability of supply chains by double frontier network DEA: A big data approach.”* Journal of Computers & Operations Research, No. ۷. pp: ۱-۷.

Boudaghi, E. Farzipoor Saen, R. (۲۰۱۸). *“Developing a novel model of data envelopment analysis-discriminant analysis for predicting group membership of suppliers in sustainable supply chain.”* Computers and Operations Research No. ۸۹, pp. ۳۴۸-۳۵۹.

Brandenburg, M. (۲۰۱۴). *“Quantitative models for sustainable supply chain management: Developments and directions.”* European Journal of Operational Research Volume ۲۳۳, Issue ۲, ۱ March ۲۰۱۴, PP. ۲۹۹-۳۱۲.

Chehregani, H. (۲۰۱۶). *“Reduction of environmental pollution of dust in the cement industry, Quarterly of Cement Industry”*, Journal of No. ۳۱, pp. ۵۲-۳۸. [in persian].

Chen. C. M. (۲۰۰۹). *“A network-DEA model with new efficiency measures to incorporate the dynamic effect in production networks.”* European Journal of Operational Research, No. ۱۹۴, pp. ۶۸۷-۶۹۹.

Chen, Chien M. & van Dalen, J. (۲۰۱۰). *“Measuring dynamic efficiency: theories and an integrated methodology.”* European Journal of Operational Research, No. ۲۰۳, pp. ۷۴۹-۷۶۰.

Cook, Wade D. & Zhu, Joe. Bi, Gongbing. Yang, Feng. (۲۰۱۰). *“Network DEA: Additive efficiency decomposition.”* European Journal of Operational Research No. ۲۰۷, pp. ۱۱۲۲-۱۱۲۹.

De Camargo Fiorini, P. Charbel José, J. (۲۰۱۷). *“Information systems and sustainable supply chain management towards a more sustainable society.”* International Journal of Information Management, Vol, ۳۷, Issue. ۴, PP. ۲۴۱-۲۴۹.

Emrouznejad, A. & Thanassoulis, E. (۲۰۰۵). *“A mathematical model for dynamic efficiency using data envelopment analysis.”* Journal of Applied Mathematics and Computation, No. ۱۶۰, pp. ۳۶۳-۳۷۸.

Fallahpour, A. Udony Olugu, E. Nurmaya Musa, S. Yew Wong, K. (۲۰۱۷). *“A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management.”* Journal of Computers and Industrial Engineering Vol. ۱۰۵ Issue C, March pp. ۳۹۱-۴۱۰.

Farzipoor Saen, R. Torabipour, S. M. R. (۲۰۱۳). **“Review of effective component's role on cold chain management performance by factor analysis approach for competitive organization”**. Iranian Journal of Trade Studies, Vol. ۶۶, pp. ۷۳-۹۴ (in Persian).

Fernanda B.A.R. Mariz, Mariana R. Almeida. Daniel Aloise. (۲۰۱۸). **“A review of Dynamic Data Envelopment Analysis: state of the art and applications.”**. Journal of Trans. in Op. Res. No. ۲۰, pp. ۴۶۹-۵۰۵

Fukuyama, H. & Weber, W.L. (۲۰۱۰). **“Measuring Japanese bank performance: A dynamic network DEA approach.”** Journal of Productivity Analysis, Vol, ۴۴. No. ۳. Pp. ۲۴۹-۲۶۴.

Fukuyama, H. & Weber, W.L. (۲۰۱۶). **“Japanese bank productivity, ۲۰۰۷- ۲۰۱۲: A dynamic network approach.** Journal of Productivity Analysis, Vol, ۵۶. No. ۴. Pp. ۱۵۶-۱۶۶.

Genovese, A. & Adolf A, A. Alejandro, F. (۲۰۱۷). **“Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: Evidence and some applications”**. Journal of Omega, Vol. ۸, No. ۱, PP. ۳۴۴- ۳۵۷.

Govindan, K. Kadziński, M. Sivakumar, R. (۲۰۱۶). **“Application of a novel PROMETHEE-based method for construction of a group compromise ranking to prioritization of green suppliers in food supply chain.”** Journal of In Omega No. ۵۸, pp. ۱۳۲-۱۴۲.

Hatami-Marbini, A. Ebrahimnejad, A. Lozano, S. (۲۰۱۷). **“Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis using lexicographic multiobjective approach.”** Journal of Computers & Industrial Engineering Vol. ۶, No. ۱۰۰, PP. ۳۶۲-۳۷۶.

Hosseinzadeh-Lotfi, f. Jahanshahloo, G.R. Mohammadpour, M. (۲۰۱۳). **“An Extension of Cross Redundancy of Interval Scale Outputs and Inputs in DEA.”** Hindawi Publishing Corporation Journal of Applied Mathematics, ۲۰۱۳, No. ۷ Article ID. pp. ۶۵۸۶۳۵,

Hosseinzadeh-Lotfi, F. Taeb, Z. Abbasbandy, S. (۲۰۱۷). **“Determine the Efficiency of Time Depended Units by Using Data Envelopment Analysis.”** International Journal of Research in Industrial Engineering, Vol. ۶, No. ۳, pp. ۱۹۳-۲۰۱.

Hsu, SH. Kuo, T. (۲۰۱۳). **“Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management.”** In Journal of Cleaner Production No. ۵۶, pp. ۱۶۴e۱۷۲.

Kannan, D. Sousa Jabbour, AB. (۲۰۱۴). **“Selecting green suppliers based on GSCM practices: Using fuzzy TOPSIS applied to a Brazilian electronics company.”** In European Journal of Operational Research pp. ۲۳۳, ۴۳۲.

Kao, CH. (۲۰۱۳). **“Dynamic data envelopment analysis: A relational analysis.”** In European Journal of Operational Research No. ۲۲۷, pp. ۳۲۵-۳۳۰.

Khalili-Damghani, k. Ghasemi, p. (۲۰۱۶). **“Uncertain Centralized/Decentralized Production-Distribution Planning Problem in Multi-Product Supply Chains: Fuzzy Mathematical Optimization Approaches.”** journal of Industrial Engineering and Management Systems, Vol. ۱۵, Issue ۲, ۲۰۱۶, pp. ۱۵۶-۱۷۲.

Kiani, Fatemeh, Ansari, Rahimi, (۲۰۱۴). **“Economic, social and environmental impacts of Hegmatan cement plant on Shangjarin Village”.** Quarterly Journal of Rural Space and Rural Development, Vol, ۲۴. No, ۲, pp. ۱۴۴-۱۳۳.

Moreno, P. & Lozano, S. (۲۰۱۶). **“Super SBI Dynamic Network DEA approach to measuring efficiency in the provision of public services.”** International Transactions In Operational Research, pp. ۱-۲۱.

Nemoto, J. & Goto, M. (۱۹۹۹). **“Dynamic data envelopment analysis: Modeling intertemporal behavior of a firm in the presence of productive inefficiencies.”** Journal of Economics Letters, No. ۶۴, pp. ۵۱-۵۶.

Nemoto, J. & Goto, M. (۲۰۰۳). **“Measurement of dynamic efficiency in production: An application of data envelopment analysis to Japanese electric utilities.”** Journal of Productivity Analysis, No. ۱۹, pp. ۱۹۱-۲۱۰.

Olfat, L. Amiri, M. Bamdad Soufi, J. Pishdar, M. (۲۰۱۶). **“A dynamic network efficiency measurement of airports performance considering sustainable development concept: A fuzzy dynamic network-DEA approach.”** In Journal of Air - Transport Management No. ۵۷, pp. ۲۷۲-۲۹۰.

Shabanpour, H. Yousefi, S. Farzipoor Saen, R. ۲۰۱۷. **“Forecasting efficiency of green suppliers by dynamic data envelopment analysis and artificial neural networks.”** Journal of Cleaner Production No. ۱۴۲, pp. ۱۰۹۸-۱۱۰۷.

Tavana, M. Shabanpour, H. (۲۰۱۶). **“A hybrid goal programming and dynamic data envelopment analysis framework for sustainable supplier evaluation.”** In Neural Comput & Applic DOI ۱۰,۱۰۰۷/s۰۰۵۲۱-۰۱۶-۲۲۷۴-Z

Tavassoli, M. Farzipoor Saen, R. Faramarzi, G.R. (۲۰۱۵). **“Developing network data envelopment analysis model for supply chain performance measurement in the presence of zero data.”** Journal of Expert Systems, Vol. ۳۲, No. ۳

Tone, K. (۲۰۰۱). **“A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis.”** European Journal of Operational Research, No. ۱۳۰, pp. ۴۹۸-۵۰۹.

Tone, k. & Tsutsui, M. (۲۰۱۰). **“Dynamic DEA: A slacks-based measure approach. Journal of Omega”**, No. ۳۸, pp. ۳-۴.

Tone, T. & Tsutsui, M. (۲۰۱۴). **“Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach.”** Journal of Omega, No. ۴۲, pp. ۱۲۴-۱۳۱.

Zha, Y. Liang, N. Wu, M. & Bian, Y. (۲۰۱۶). **“Efficiency evaluation of banks in china: A dynamic two-stage slacks-based measure approach.”** Omega, [http://dx.doi.org/10.1016/j.omega. pp.۲۰۱۴,۱۲,۰۰۸.](http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2014.12.008)