



Dynamic Modeling to Evaluate the Efficiency of a Sequential Multilevel Supply Network

Mohammad Hossein Darvish Motevalli^{1,*}, Majid Motamedi²

¹Department of Industrial Management, West Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

²Department of Industrial Management, Nowshahr Branch, Islamic Azad University, Nowshahr, Iran.

Abstract

Data envelopment analysis is the most widely used mathematical model to evaluate the efficiency of decision units. Classical and simple network models in data envelopment analysis are not able to calculate the efficiency of multi-stage and sequential supply networks. These types of networks include several successive structures and components, such as the 5-level supply network, which are used in many strategic industries. The distinction between this structure and the sequence of supply networks with several components over time as well as the relationship between the efficiency of a time period and the total efficiency during a time period is examined. The purpose of this paper is modeling in the form of developing a non-radial SBM model and presenting a dynamic data envelopment analysis model to evaluate the performance of a sustainable supply network as a wide and multi-level network so that efficiency can be calculated at five levels of supply network as well as periods. Provide consecutive. The model presented in the 5-level supply network in the cement industry has been validated. The results showed that the new model performs a logical and close to reality evaluation compared to the classic and static network models.

Keywords: Multilevel supply network, Sequential network, Dynamic data envelopment analysis.

Original-Application Paper

Receive: 24/06/2020

Reviewed: 20/07/2020

Revise: 06/09/2020

Accept: 14/10/2020

Citation:

Darvish Motevalli, M. H., & Motamedi, M. (2020). Dynamic modeling to evaluate the efficiency of a sequential multilevel supply network. *Decisions & operations research*, 5(3), 272-289.

* Corresponding Author

Email Address: Mhd.darvish@gmail.com

DOI: 10.22105/dmor.2020.242474.1196



مدل‌سازی پویا جهت ارزیابی کارایی در شبکه تأمین چندسطحی متوالی

محمدحسین درویش متولی^۱، مجید معتمدی^۲^۱ گروه مدیریت صنعتی، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.^۲ گروه مدیریت صنعتی، واحد نوشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، نوشهر، ایران.

چکیده

تحلیل پوششی داده‌ها یکی از روش‌های پرکاربرد در زمینه ارزیابی و محک‌زنی کارایی نسبی مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیری همگن با ورودی‌ها و خروجی‌های مشابه می‌باشد. با این حال، مدل‌های کلاسیک و شبکه‌ای ساده در تحلیل پوششی داده‌ها قادر به محاسبه کارایی شبکه‌های تأمین چندمرحله‌ای و متوالی نیستند. این نوع از شبکه‌ها علاوه بر ساختار متوالی، دارای مؤلفه‌های اختصاصی و مشترک بوده که در طی دوره زمانی عملکرد سیستم را تحت الشعاع قرار می‌دهند. هدف این مقاله مدل‌سازی در قالب توسعه مدل غیر شعاعی *SBM* و ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا جهت ارزیابی عملکرد شبکه تأمین پایدار می‌باشد. این مدل به عنوان یک شبکه گسترده و چند سطحی در صنعت سیمان اعتبار سنجی شده است و امکان محاسبه کارایی در سطوح پنج‌گانه شبکه تأمین را در دوره‌های متوالی فراهم می‌آورد. نتایج نشان داد مدل جدید در مقایسه با مدل‌های کلاسیک و شبکه‌ای ایستا، ارزیابی منطقی و نزدیک به واقعیت را انجام می‌دهد و مشکلات مدل‌های شبکه ساده نیز، برطرف شده است.

واژه‌های کلیدی: شبکه تأمین چند سطحی، شبکه متوالی، تحلیل پوششی داده‌های پویا.

مقاله پژوهشی

پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۲۳

اصلاح: ۱۳۹۹/۰۶/۱۶

داوری: ۱۳۹۹/۰۴/۳۰

دریافت: ۱۳۹۹/۰۴/۰۴

۱- مقدمه

از تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان یک ابزار توانمند در ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری با چند ورودی و چند خروجی 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 ^۱CCR، ابداع گردید. در ادامه بنکر و همکاران در سال ۱۹۸۴ این روش را تحت عنوان مقاله ^۲BCC، توسعه دادند (حاتمی و همکاران^۲، ۲۰۱۷). سپس بر مبنای این مدل‌ها، مدل‌های دیگری نظیر مدل ^۳BCC، مدل ^۴SBM، مدل جمعی^۵، مدل شبکه و غیره جهت قوت بخشیدن به *DEA* معرفی شدند.

^۱Charnes, Cooper and Roods (CCR)^۲Hatami-Marbini et al.^۳Benker, Charnes & Cooper (BCC)^۴Slacks-Based Measure (SBM)^۵Additive

امروزه از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در سنجش و ارزیابی کارایی بسیاری از صنایع، سازمان‌ها و نهادها استفاده می‌شود (دیکامرگو^۱، ۲۰۱۷) و در انتخاب و بهینه‌کردن تامین کنندگان، ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی آن‌ها در ساختارهای سبز، چابک و پایدار به کار می‌رود (گنوز^۲، ۲۰۱۷).

در مدل‌های سنتی *DEA*، کارایی نسبی *DMU*^۳ با توجه به ورودی‌هایی که برای تولید خروجی‌های نهایی به کار می‌رود ارزیابی می‌شود (بابازاده^۴، 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، مدل شبکه‌ای ساده 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 و همکاران^۵، 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 و همکاران^۶، ۲۰۱۵).

در سال‌های اخیر مدل شبکه ساده، دو مرحله‌ای و چند مرحله‌ای توسعه پیدا کرده‌اند (سلیمانی دامنه^۷، ۲۰۱۹)، اما با وجود این پیشرفت‌ها دارای دو ضعف بسیار مهم هستند و رفع این دو ضعف وجه تمیز یافته‌های این مقاله با موضوعات مشابه را در بر می‌گیرد. اول آنکه برای محاسبه یک شبکه گسترده نظیر شبکه تامین که با ساختاری چند سطحی با مولفه‌های مستقل یا میانی مواجه باشد قابل استفاده نمی‌باشند. دومین ضعف مدل‌های قبلی بی‌توجهی آن‌ها نسبت به انجام فعالیت‌های انتقالی و ارتباط داخلی مولفه‌ها در چند دوره متوالی مربوط است. درواقع مدل‌های ساده تنها در دوره زمانی مجزا به طور مستقل به بهینه‌سازی موضعی در یک دوره خاص توجه دارند. بنابراین، مدل بهینه‌سازی شبکه ساده برای ارزیابی عملکرد شبکه‌های تامین پیچیده‌تر و با چند سطح، مناسب نیستند. 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^۸ که شامل فعالیت انتقالی است استفاده می‌شود. این مدل قادر به اندازه‌گیری کارایی دوره خاص بر اساس بهینه‌سازی بلند مدت می‌باشد (توانا و شعبان‌پور^۹، ۲۰۱۶). به طور کلی در این مدل n واحد تصمیم‌گیرنده را در T دوره در نظر می‌گیریم. می‌توان با به دست آوردن مقادیر پارامترهای مدل، دلایل ناکارا بودن *DMU* را در یک مقطع زمانی مشخص کرده و راه کارهای مناسب را ارائه نمود (حسین زاده لطفی و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۳، ۲۰۱۷). 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 انتقالی بین دو دوره متوالی ارتباط برقرار می‌کنند (کوک و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۰). 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. فوکویاما و وبر^{۱۲} (۲۰۱۵)، مورنو و لوزانو^{۱۳} (۲۰۱۶)، ژا و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۶) و تن^{۱۵} (۲۰۰۱) از دیگر پژوهشگرانی هستند که مدل‌هایی را برای ارزیابی ساختارهای شبکه‌ای پویا معرفی کردند. در این مقاله با عنایت به ساختار شبکه‌ای چند سطحی و متوالی و تاکید بر عامل زمان، مدلی از تحلیل پوششی داده‌های پویا جهت ارزیابی شبکه تامین چند سطحی ارائه شده است. تحقیقات زیادی در خصوص بهره‌گیری و ارائه مدل‌هایی از ساختارهای شبکه‌ای و تحلیل پوششی داده‌های پویا صورت گرفته است که به چند نمونه از آن‌ها اشاره می‌شود.

^۱De Camargo Fiorini & Charbel José

^۲Genovese et al.

^۳Decision Making Unit (DMU)

^۴Babazadeh et al.

^۵Fernanda et al.

^۶Tavassoli et al.

^۷Soleymani Damaneh

^۸Dynamic Data Envelopment Analysis

^۹Tavana & Shabanpour

^{۱۰}Hosseinzadeh-Lotfi et al.

^{۱۱}Cook et al.

^{۱۲}Fukuyama & Weber

^{۱۳}Moreno & Lozano

^{۱۴}Zha et al.

^{۱۵}Tone



Table 1- Background of similar research.



ردیف	نویسنده	سال	روش پیشنهادی	مورد مطالعه	نتیجه روش پیشنهادی
۱	امروزی نژاد و تاناسلیس ^۱	۲۰۰۶	ارائه مدلی پویا در تحلیل پوششی داده‌ها با در نظر گرفتن متغیرهای مازاد.	مدل محض	در این پژوهش مدل پویایی توسعه داده شده است این مدل کارایی فرایندهای تولید پویا را با در نظر گرفتن ورودی و خروجی‌های بین زمانی به عنوان متغیرهای اضافی در مدل DEA ایستا ارزیابی می‌کند.
۲	امیر تیموری ^۲	۲۰۰۶	ارائه مدل پویا در تحلیل پوششی داده‌ها.	شرکت گاز	با معرفی کارایی درآمد پویا، یک مدل DDEA را توسعه داد و از آن برای ارزیابی شرکت‌های گاز در ایران استفاده کرد.
۳	چن ^۳	۲۰۰۹	مدلی برای ارزیابی عملکرد شبکه تولید پویا که از واحدهای تولید فرعی چندگانه تشکیل شده پیشنهاد داد.	تولیدکنندگان	او یک شاخص کارایی جدید برای در نظر گرفتن اثرات زمان در ارزیابی عملکرد معرفی نمود. در این مدل و الگوریتم حل مسئله، روشی برای تعیین مقدار پارامتر زمان معرفی نگردید.
۴	چن و همکاران ^۴	۲۰۱۰	توسعه مدل پویا در تحلیل پوششی داده‌ها.	شرکت‌های بازرگانی	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.
۵	کائو ^۵	۲۰۱۳	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای ساختارهای پویا.	تجارت جهانی	در این مقاله با ارائه مدل پویا نحوه ارتباط بین حوزه‌های مختلف از تجارت کشورهای جنوب شرق آسیا مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نمره کارایی کشورها محاسبه شد.
۶	هسو و همکاران ^۶	۲۰۱۳	استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری در جهت شناسایی شاخص‌های پایداری با عنایت به زمان و پویایی سیستم.	صنایع الکترونیک	در پژوهش خود با بهره‌گیری از مدل تصمیم‌گیری دیماتل به شناسایی شاخص‌های مرتبط با شبکه تأمین سبز پرداخت.
۷	تن و تسوتسوی ^۷	۲۰۱۴	ارائه یک مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا برای ساختارهای تک مرحله‌ای.	صنایع لبنی	یک مدل شبکه‌ای پویا مبتنی بر متغیرهای کمبود ارائه کردند که در آن متغیرهای بین زمانی می‌تواند تأثیر مثبت یا منفی بر تولیدات دوره بعد داشته باشد.
۸	اوکیران و مک کریستال ^۸	۲۰۱۴	اراده مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا با رویکرد مدل و بهینه‌سازی استوار.	زنجیره انتقال خون	با معرفی یک مدل شبکه‌ای پویا به مقایسه مدل خود با مدل‌های شبکه‌ای پویا مبتنی بر متغیرهای کمبود با استفاده از آزمون استواری پرداخت.

^۱ Emrouznejad & Thanassoulis

^۲ Amirteimoori

^۳ Chen

^۴ Chen

^۵ Kao

^۶ Hsu et al.

^۷ Tone & Tsutsui

^۸ Avkiran & Mccrystal



ردیف	نویسنده	سال	روش پیشنهادی	مورد مطالعه	نتیجه روش پیشنهادی
۹	آزادی و جعفریان ^۱	۲۰۱۵	ارائه یک مدل DEA جدید فازی برای ارزیابی کارایی و کارایی تأمین‌کنندگان در زمینه مدیریت زنجیره تأمین پایدار.	صنایع نفت و پتروشیمی	در این مقاله مدل اندازه‌گیری راسل (ERM) در زمینه فازی برای انتخاب بهترین تأمین‌کنندگان پایدار بهبودیافته است.
۱۰	توسلی و همکاران	۲۰۱۵	توسعه مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تأمین در حضور داده‌های صفر.	صنایع بزرگ	در این مقاله مدیریت زنجیره تأمین به‌عنوان یک جعبه سیاه در نظر گرفته شده است که تعاملات اجزاء در آن وجود ندارد و با اجزاء ارتباط برقرار نمی‌کند. وجود داده‌های صفر در زنجیره‌های عرضه می‌تواند یک فرض جدید در ارزیابی عملکرد باشد. هدف اصلی این مقاله ارائه یک مدل شبکه جدید (NDEA) DEA در حضور داده‌های صفر است. صرفه‌جویی در مفاهیم ورودی‌های مازاد و کمبود در خروجی‌های شبکه‌ای از دستاوردهای این مقاله می‌باشد.
۱۱	خلیلی دامغانی ^۲	۲۰۱۶	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌ها با رویکرد فازی جهت ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین.	صنعت نفت	با بهره‌گیری از منطق فازی در تحلیل پوششی داده‌ها به بهینه‌سازی تولید محصولات و کارایی در زنجیره تأمین پرداختند.
۱۲	الفت و همکاران ^۳	۲۰۱۶	ارائه مدل پویا ۲ مرحله‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها.	فرودگاه‌ها	در پژوهشی به ارزیابی کارایی فرودگاه‌ها بر اساس یک مدل پویا در تحلیل پوششی داده‌ها پرداخت.
۱۳	شعبان پور و همکاران ^۴	۲۰۱۷	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا ۲ مرحله‌ای در جهت ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین سبز.	صنایع پتروشیمی	با ارائه مدلی از DEA پویا به سنجش عملکرد زنجیره تأمین سبز در صنایع پرداخت.
۱۴	حاتمی و همکاران	۲۰۱۷	اندازه‌گیری بازده فازی در تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از رویکرد چند هدفه.	صنایع حمل و نقل	در این مقاله یک رویکرد کاملاً جدید از تحلیل پوششی داده‌ها ارائه می‌شود که در آن، علاوه بر فازی بودن تمام ورودی و خروجی‌ها روش برنامه‌ریزی چندجانبه خطی (MOLP) پیشنهاد شده است.
۱۵	گلیج ^۵	۲۰۱۷	مدل جدید تحلیل پوششی داده‌ها دومرحله‌ای فازی با بازده به مقیاس متغیر.	کارگاه‌های صنعتی	در این مقاله، یک مدل جدید برای تحلیل پوششی داده‌ها دومرحله‌ای فازی ارائه شده است و برای اعتبارسنجی آن عملکرد کارگاه‌های صنعتی مورد توجه قرار گرفت.
۱۶	بادیه‌زاده و همکاران ^۶	۲۰۱۸	ارزیابی پایداری زنجیره‌های عرضه توسط شبکه دو طرف مرزی با داده‌های بزرگ در تحلیل پوششی داده‌ها.	صنایع پتروشیمی	ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین پایدار در حضور داده‌های بزرگ و محاسبه بهره‌وری زنجیره به کمک مدلی از تحلیل پوششی داده‌های فرایندی یا چندمرحله‌ای در این مقاله ارائه شده است. مدل ارائه شده برای محاسبه بازده خوش‌بینانه و بدبینانه در حضور خروجی‌های نامطلوب را شامل شود.

^۱ Azadi & Jafarian

^۲ Khalili-Damghani & Ghasemi

^۳ Olfat et al.

^۴ Shabanpour et al.

^۵ Goleij

^۶ Badiezadeh et al.



ردیف	نویسنده	سال	روش پیشنهادی	مورد مطالعه	نتیجه روش پیشنهادی
۱۷	نموتو و گوتو ^۱	۱۹۹۹	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا مرحله‌ای.	صنایع کوچک	با تقسیم ورودی‌های یک واحد به ۲ دسته ورودی-های نیمه ثابت و متغیر، مدل DEA پویا (DDEA) را ارائه کردند و نمره کارایی مرحله‌ای را محاسبه نمودند.
۱۸	فرناندا و همکاران	۲۰۱۸	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا برای زنجیره تأمین مرحله‌ای.	صنایع کشاورز	ارائه مدلی از تحلیل پوششی داده‌ها که ضمن توجه به انتقال در طول زنجیره تأمین، به مسئله زمان نیز می‌پردازد و عملکرد را در طی زمان بررسی می‌کند. هدف از این مقاله ارائه یک مدل جدید از و تحلیل پوشش‌ها به منظور پیش‌بینی زنجیره تأمین پایدار در گروه‌های تأمین‌کننده است که متغیرهای متعددی را در حوزه فروش و توزیع در بر می‌گیرد. در این مقاله مدل Sueyoshi که در سال ۱۹۹۹ ارائه شده توسعه یافته است.
۱۹	بوداگی و فرضی پور صائن ^۲	۲۰۱۸	ارائه یک مدل جدید از تحلیل پوششی داده‌ها برای پیش‌بینی عضویت گروهی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار.	گروه‌های تأمین‌کننده	به توسعه یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها جهت ارزیابی ساختارهای دو مرحله متوالی شبکه‌های چند هدفه پرداخت.
۲۰	سلیمانی دامنه	۲۰۱۹	توسعه یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای ساختارهای دو مرحله متوالی.	صنعت غذایی	در این پژوهش، روشی برای رتبه‌بندی DMUها با استفاده از کارایی آن‌ها در دوره‌های زمانی متعدد ارائه می‌شود، به صورتی که سه نوع مجموعه امکان تولید معرفی می‌شود و متناظر با هر مجموعه، یک عدد کارایی برای هر به‌دست می‌آید. سپس، سه مقدار کارایی منتج از سه روش مذکور، با استفاده از روش آنتروپی شانون با یکدیگر ترکیب شده و یک معیار کارایی کلی برای هر واحد تعریف می‌کنند. این معیار در نهایت به عنوان شاخص اصلی برای رتبه‌بندی واحدها در نظر گرفته می‌شود.
۲۱	مداحی و یزدانی ^۳	۲۰۲۰	رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها با در نظر گرفتن دوره‌های زمانی متعدد.	صنعت بانکداری	با تقسیم ورودی‌های یک واحد به ۲ دسته ورودی-های نیمه ثابت و متغیر، مدل DEA پویا (DDEA) را ارائه کردند و نمره کارایی مرحله‌ای را محاسبه نمودند.
۱۷	نموتو و گوتو ^۴	۱۹۹۹	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا مرحله‌ای.	صنایع کوچک	ارائه مدلی از تحلیل پوششی داده‌ها که ضمن توجه به انتقال در طول زنجیره تأمین، به مسئله زمان نیز می‌پردازد و عملکرد را در طی زمان بررسی می‌کند. هدف از این مقاله ارائه یک مدل جدید از و تحلیل پوشش‌ها به منظور پیش‌بینی زنجیره تأمین پایدار در گروه‌های تأمین‌کننده است که متغیرهای متعددی را در حوزه فروش و توزیع در بر می‌گیرد. در این مقاله مدل Sueyoshi که در سال ۱۹۹۹ ارائه شده توسعه یافته است.
۱۸	فرناندا و همکاران	۲۰۱۸	ارائه مدل تحلیل پوششی داده‌های پویا برای زنجیره تأمین مرحله‌ای.	صنایع کشاورز	ارائه مدلی از تحلیل پوششی داده‌ها که ضمن توجه به انتقال در طول زنجیره تأمین، به مسئله زمان نیز می‌پردازد و عملکرد را در طی زمان بررسی می‌کند. هدف از این مقاله ارائه یک مدل جدید از و تحلیل پوشش‌ها به منظور پیش‌بینی زنجیره تأمین پایدار در گروه‌های تأمین‌کننده است که متغیرهای متعددی را در حوزه فروش و توزیع در بر می‌گیرد. در این مقاله مدل Sueyoshi که در سال ۱۹۹۹ ارائه شده توسعه یافته است.
۱۹	بوداگی و فرضی پور صائن ^۵	۲۰۱۸	ارائه یک مدل جدید از تحلیل پوششی داده‌ها برای پیش‌بینی عضویت گروهی تأمین‌کنندگان در زنجیره تأمین پایدار.	گروه‌های تأمین‌کننده	به توسعه یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها جهت ارزیابی ساختارهای دو مرحله متوالی شبکه‌های چند هدفه پرداخت.

^۱ Nemoto & Goto

^۲ Boudaghi & Farzipoor Saen

^۳ Madahi & Yazdani

^۴ Nemoto & Goto

^۵ Boudaghi & Farzipoor Saen

این پژوهش با رویکرد ترکیب و توسعه مدل‌های ریاضی انجام می‌شود و از نظر هدف کاربردی می‌باشد. بر همین اساس، مدل *DEA* پویا با ساختار شبکه‌ای را در چهارچوب اندازه‌گیری مبتنی بر مدل *SBM* و تأکید بر متغیرهای کمکی ارائه می‌نماییم و سپس با بهره‌گیری از داده‌های واقعی در صنعت سیمان، اعتبار مدل ارائه شده را موردسنجش 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؛ به عبارت دیگر اگر خروجی‌ها با هر واحدی ورودی 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 به‌طور جداگانه بررسی کند و به‌صورت مدل (۱) بیان می‌شود.

در این مدل، فرض بر این است که $X_0 > 0$ و $Y_0 > 0$. که در آن *DMU* با بردار ورودی و خروجی (x_0, y_0) واحد (شبکه تأمین) تحت ارزیابی می‌باشد و همواره مدل $0 \leq \theta \leq 1$ برقرار می‌باشد.

$$\text{Min } P_0 = \frac{1 - \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{|X_{ip}|} \right)}{1 + \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{|Y_{rp}|}}, \quad (1)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j X_{ij} + S_i = X_{ip},$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j Y_{rp} - S_r^+ = Y_{rp},$$

$$\lambda_j \geq 0, \quad S_i \geq 0, \quad S_r^+ \geq 0,$$

$$j=1, 2, \dots, n,$$

$$i=1, 2, \dots, m,$$

$$r=1, 2, \dots, s.$$

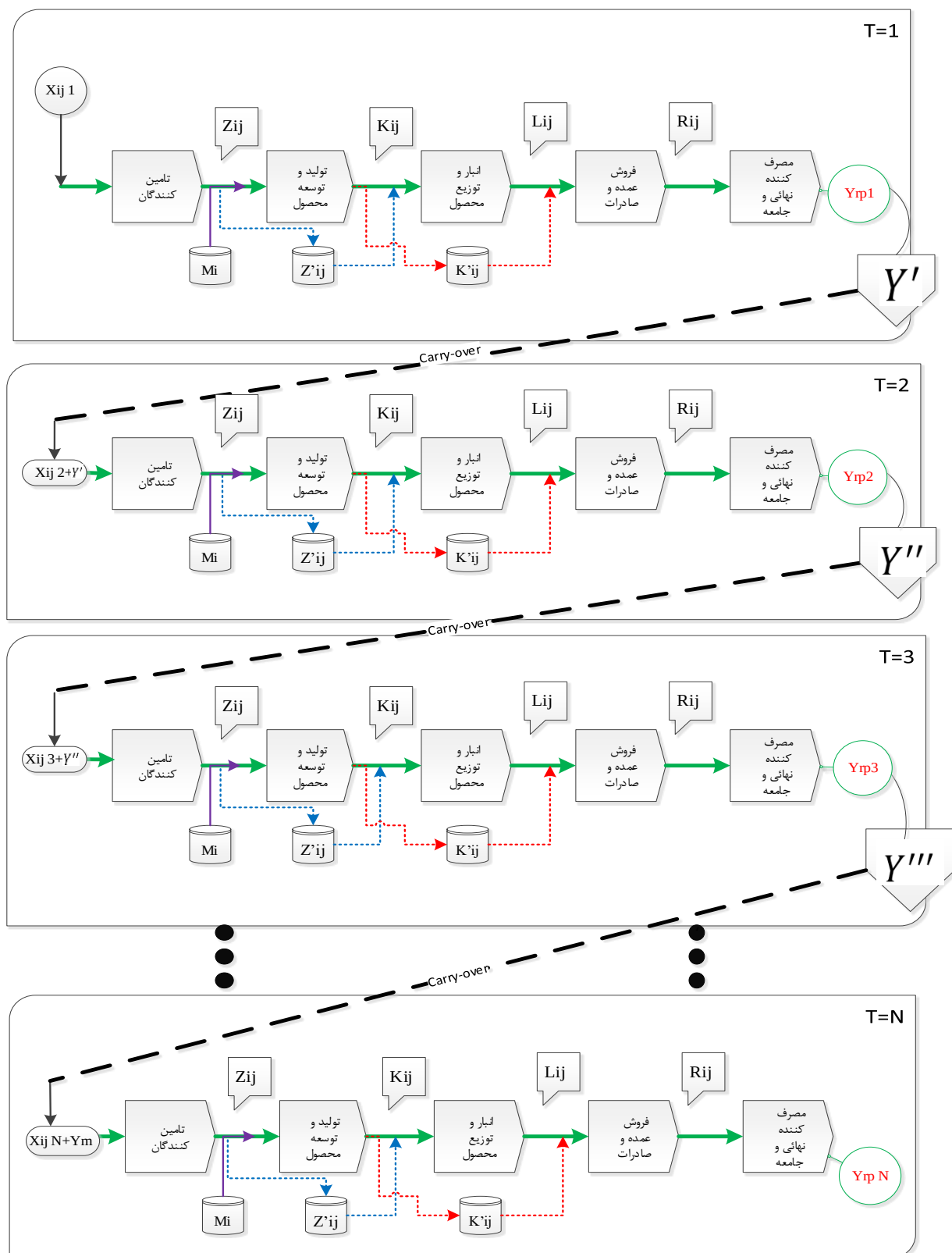
با بهره‌گیری از ساختار این مدل، به ارائه یک مدل غیر شعاعی می‌پردازیم که توانایی ارزیابی کارایی را در یک شبکه تأمین پنج سطحی با ورودی و خروجی خاص و اشتراکی داشته باشد.

فرض کنید n سطح در یک شبکه تأمین وجود داشته باشند. هر یک از این سطوح دارای ورودی و خروجی خواهند بود که محاسبه کارایی چنین شبکه‌ای بر اساس مدل‌های رایج و ساده قابل تجزیه و تحلیل نمی‌باشند. حال اگر برای هر یک از سطوح ورودی‌ها و خروجی‌های مستقل وجود داشته باشد و بخشی از خروجی سطح قبل به‌عنوان ورودی برای بخش بعد در نظر گرفته شود و به مصرف برسد تا خروجی سطح بالاتر تولید گردد، شرایط شبکه به حالتی خاص و پیچیده تبدیل می‌شود. چنانچه به این وضعیت ورودی و خروجی نامطلوب نیز اضافه شود (شاخص‌هایی داشته باشیم که ماهیت خروجی نامطلوب داشته باشند، نظیر گازهای گلخانه‌ای، گردوغبار و غیره)، با مسئله‌ای مواجه خواهیم شد که محاسبه کارایی آن نیازمند به مدلی ویژه دارد.

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، هر زنجیره تأمین پایدار طی یک پریود زمانی حاوی پنج سطح (دپارتمان) (*Stage*) است. خروجی هر سطح (دپارتمان) به‌عنوان ورودی سطح (دپارتمان) بعدی در نظر گرفته می‌شود. از آنجائی که ممکن است خروجی یک سطح در سطح 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_{rp}) ، خود به‌عنوان 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 ساختاریافته است. به منظور تدوین مدل مناسب، پارامترهای مدل را به صورت جدول ۱ در نظر می‌گیریم.



شکل ۱- مدل مفهومی شبکه تامین ۵ سطحی.

Figure 1- Five level supply network conceptual model.

Table 2- Description of symbols and parameters of the mathematical model.

تعریف	پارامتر و متغیر	تعریف	پارامتر و متغیر
متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار ورودی به شبکه تأمین است. این بردار وارد Stage اول می‌شود.	X_{ij}	مقدار کارایی نسبی DMU تحت ارزیابی	P_0
متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی Stage اول است. این متغیر به‌عنوان ورودی Stage دوم در شبکه تأمین است.	Z_{ij}	تعداد واحد تصمیم‌گیرنده $j = 1, 2, \dots, n$	j
متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی Stage دوم است. این متغیر به‌عنوان ورودی Stage سوم در شبکه تأمین است.	K_{ij}	معرف تعداد ورودی‌ها $i = 1, 2, \dots, m$	i
متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی Stage سوم است. این متغیر به‌عنوان ورودی Stage چهارم در شبکه تأمین است.	L_{ij}	معرف تعداد خروجی‌ها $r = 1, 2, \dots, s$	r
متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی Stage چهارم است. این متغیر به‌عنوان ورودی Stage پنجم در شبکه تأمین است.	R_{ij}	وزن داده‌های خروجی r ام	U_r
متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی کل شبکه تأمین پایدار است.	Y_{ro}	وزن داده‌های ورودی i ام	V_i
متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی Stage اول است. این متغیر به‌عنوان ورودی Stage سوم در شبکه تأمین است.	Z'_{ij}	مقدار جریمه مربوط به خروجی‌های نامطلوب که ورودی Stage دوم در نظر گرفته می‌شود.	M_i
متغیر تصمیم که نشان‌دهنده بردار خروجی Stage دوم است. این متغیر به‌عنوان ورودی Stage چهارم در شبکه تأمین است.	K'_{ij}	زمان در برنامه‌ریزی پویا (دوره زمانی) $t = 1, 2, 3$	t
مقدار خروجی منتخب که از دوره $t=1$ وارد بخش $t=2$ شده و با $2x$ جمع شده و ورودی به‌حساب می‌آید.	Y'	بردارهای Slack خروجی	S^+
مقدار خروجی منتخب که از دوره $t=2$ وارد بخش $t=3$ شده و با $3x$ جمع شده و ورودی این بخش به‌حساب می‌آید.	Y''	کنترل وزنی پارامتر K	μ
بردارهای Slack ورودی	S^-	کنترل وزنی پارامتر K'	ρ
کنترل وزنی پارامتر X	V	کنترل وزنی پارامتر L	μ'
کنترل وزنی پارامتر Z	W	وزن داده‌های خروجی r ام	U_r
کنترل وزنی پارامتر Z'	W'	کنترل وزنی پارامتر Y	U
کنترل وزنی پارامتر R	b	کنترل وزنی تضمین‌کننده پویایی مدل	F





قبل از آنکه به ارائه مدل پویا جهت ارزیابی کارایی در شبکه تأمین چند سطحی متوالی بپردازیم ابتدا یک مدل شبکه‌ای چند سطحی را ارائه می‌نماییم. این مدل می‌تواند ۵ سطح یک شبکه تأمین را در یک مقطع زمانی مورد ارزیابی قرار دهد و نمره کارایی را محاسبه کند. همان‌طور که اشاره شد بر پایه مدل SBM تابع هدف و محدودیت‌های این مدل ایستا را ارائه می‌نماییم.

با توجه به شکل ۱ فرض کنید صرفاً دوره $T=1$ مدنظر باشد. بنابراین مدل شبکه‌ای مناسب جهت ارزیابی سطوح ۵ گانه در این دوره به‌صورت زیر خواهد بود:

تابع هدف مدل شبکه ایستا با توجه به مدل پایه‌ای SBM تدوین شده است و به‌صورت مدل (۲) بیان می‌گردد. در این تابع هدف (P_0) کارایی کل مدل در ماهیت ورودی محور خواهد بود. بنابراین اگر داشته باشیم $P_0^* = 1$ ، آنگاه DMU_0 را در ماهیت ورودی محور به‌طور کلی کارا می‌نامند. با توجه به نوع ارتباط متغیرهای اصلی در مسئله و ارتباط بین سطوح شبکه تأمین می‌بایست قیدهای اصلی مسئله را تدوین نماییم به‌گونه‌ای که اولاً ارتباط ذکرشده را پوشش دهد و ثانیاً لینک‌های برقرارشده توسط قیدها نقض نشود. این دو اصل با عنایت به تعریف پنج λ به ازای هر مرحله یا سطح تحت بررسی تدوین می‌گردد. با توسعه این مدل و درنظر گرفتن دوره‌های زمانی متوالی این مدل را به مدل پویا توسعه می‌دهیم و قیدهای جدید را به مسئله اضافه می‌کنیم.

تعریف ۱. بر اساس مدل شبکه‌ای با پنج سطح متوالی، یک DMU زمانی کارا می‌باشد که حتماً در کلیه سطوح به مرز کارایی دست پیدا کرده باشند و در صورتی که حداقل در یک سطح به مرز کارایی دست پیدا نکنند، در مدل شبکه ناکارا خواهند بود. این بخش شامل توجه به روش، جامعه آماری، نمونه و روش نمونه‌گیری، ابزار گردآوری داده‌ها و روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌شود.

$$Min P_0 = \frac{1 - \frac{1}{m} \left(\sum_{i=1}^m \frac{S_i}{|X_{ip}|} \right)}{1 + \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{|Y_{rp}|}}, \quad (2)$$

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

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 Z'_j \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^3 Z'_j,$$

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

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

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} L_j^t \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} L_j^t,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^4 R_j \geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^5 R_j,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^3 Y_j - S_r^+ = Y_{rp},$$

$$\lambda^1 \geq 0, \lambda^2 \geq 0, \lambda^3 \geq 0, \lambda^4 \geq 0, \lambda^5 \geq 0, S_i \geq 0, S_r^+ \geq 0,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^1 = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^2 = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^3 = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^4 = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^5 = 1.$$



همان‌طور که اشاره شد هدف اصلی در این مقاله ارائه مدلی ریاضی به منظور محاسبه کارایی در شبکه تأمین ۵ سطحی می‌باشد. تابع هدف این مدل با توجه به مدل پایه‌ای SBM تدوین شده است و به صورت مدل (۳) بیان می‌گردد. در این تابع هدف P_0^* کارایی کل مدل در ماهیت ورودی محور خواهد بود؛ بنابراین اگر داشته باشیم $P_0^* = 1$ ، آنگاه DMU_0 را در ماهیت ورودی محور به طور کلی کارا می‌نامند. در تابع هدف ارائه شده، مقادیر K و T به ترتیب به صورت $K=m.t$ و $T=s.t$ محاسبه می‌شوند.

با توجه به نوع ارتباط متغیرهای اصلی در مسئله و ارتباط بین سطوح شبکه تأمین می‌بایست قیدهای اصلی مسئله 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 پنج به ازای هر مرحله یا سطح تحت بررسی تدوین می‌گردد.

$$Min P_0 = \frac{1 - \frac{1}{k} \left(\sum_{t=1}^t \sum_{i=1}^m \frac{S_i^t}{|X_{ip}^t|} \right)}{1 + \frac{1}{T^s} \left(\sum_{t=1}^t \sum_{r=1}^s \frac{S_r^t}{|Y_{rp}^t|} \right)} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n \lambda_j^1 X_j + S_i^t &= X_p & t=1,2,3,4,5, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} Z_j^t &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} Z_j^t & t=1,2,3,4,5, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} Z_j^t &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} Z_j^t & t=1,2,3,4,5, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^t &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} K_j^t & t=1,2,3,4,5, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^t &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} K_j^t & t=1,2,3,4,5, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} L_j^t &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} L_j^t & t=1,2,3,4,5, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} R_j^t &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{5t} R_j^t & t=1,2,3,4,5, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^5 Y_j - S_r^+ &= Y_p & t=1,2,3,4,5, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} Y_j^t &\geq \sum_{j=1}^n \lambda_j^{l(t+1)} Y_j^t & t=1,2,3,4,5, \end{aligned}$$

$$\lambda^{1t} \geq 0, \lambda^{2t} \geq 0, \lambda^{3t} \geq 0, \lambda^{4t} \geq 0, \lambda^{5t} \geq 0, S_i^t \geq 0, S_r^+ \geq 0 \quad t=1,2,3,4,5,$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} = 1, \sum_{j=1}^n \lambda_j^{5t} = 1 \quad t=1,2,3,4,5.$$

با توجه به ساختار شبکه‌ای ارائه شده در شکل ۱، نحوه ارتباط بین سطوح پنجگانه با یکدیگر در طی یک دوره ارزیابی و چگونگی تبدیل خروجی‌های سطح قبل به عنوان ورودی برای سطح بالاتر و همچنین در نظر گرفتن ورودی مستقل یا خروجی واسطه‌ای که نقش ورودی را در سطحی دیگر با جهش از سطوح قبلی ایفا می‌کنند مسئله دارای محدودیت‌های وزنی خواهد بود. بر همین اساس نیاز به تدوین دو آل مدل (۳) بسیار ضروری است. برای نوشتن دو آل مدل می‌بایست در مرحله اول مدل (۳) را به صورت یک برنامه‌ریزی خطی بازنویسی نماییم زیرا تابع هدف مدل ارائه شده به صورت یک تابع غیرخطی می‌باشد. در ضمن قیود مرتبط با محدودیت‌های وزنی نیز به مدل اضافه می‌شود. منظور قیودی هستند که نظر و دیدگاه ذهنی تصمیم‌گیرندگان را به منظور اعمال و تشخیص ارجحیت در شاخص‌ها نسبت به یکدیگر تأمین می‌کنند. بر همین اساس با انجام تبدیلات لازم در تابع هدف و محدودیت‌های اصلی مسئله، فرم

$$\begin{aligned}
 & \min \varphi - \frac{1}{k} \left(\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^m \frac{S_i^t}{X_{ip}} \right), \quad (4) \\
 & Q(q + \frac{1}{T^s} \left(\sum_{i=1}^t \sum_{r=1}^s \frac{S_r^+}{Y_{rp}} \right)) = 1, \\
 & V(- \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} X_j^t - S_i + X_p q) \geq 0, \\
 & W(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} Z_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} Z_j^t) \geq 0, \\
 & W'(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} Z_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} Z_j^t) \geq 0, \\
 & \mu(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} K_j^t) \geq 0, \\
 & u_0^1 \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{1t} - q \right) = 0 \cdot u_0^2 \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} - q \right) = 0 \cdot u_0^3 \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} - q \right) = 0 \cdot u_0^4 \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} - q \right) = 0 \cdot u_0^5 \left(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{5t} - q \right), \\
 & \rho(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{2t} K_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} K_j^t) \geq 0, \\
 & \mu'(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{3t} L_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} L_j^t) \geq 0, \\
 & b(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{4t} L_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{5t} R_j^t) \geq 0, \\
 & U(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{5t} Y_j^t - S_r^+ - Y_p q) = 0, \\
 & F(\sum_{j=1}^n \lambda_j^{5t} Y_j^t - \sum_{j=1}^n \lambda_j^{1(t+1)} Y_j^t) \geq 0, \\
 & \lambda^{1t} \geq 0 \cdot \lambda^{2t} \geq 0 \cdot \lambda^{3t} \geq 0 \cdot \lambda^{4t} \geq 0 \cdot \lambda^{5t} \geq 0, S_i \geq 0, S_r^+ \geq 0.
 \end{aligned}$$

حال با عنایت به مدل کانونی برای مسئله اصلی پژوهش، می توانیم به منظور اعمال محدودیت های وزنی در حل مسئله و دستیابی به نمره کارایی در شبکه تأمین متوالی، دوآل مدل فوق را به صورت مدل (۵) مدل سازی نماییم. بنابراین با عنایت به تابع هدف و محدودیت های اشاره شده، لذا در مدل (۵) خواهیم داشت.

تعریف ۲. بر اساس مدل پویا ارائه شده، DMU در شبکه های تأمین متوالی زمانی کارا هستند که حتماً در کلیه دوره های زمانی معجزا بر اساس مدل شبکه ایستا ارائه شده نیز به مرز کارایی دست پیدا کرده باشند و در صورتی که حداقل در یک دوره زمانی معجزا به مرز کارایی دست پیدا نکنند، در مدل پویا ناکارا خواهند بود.



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

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

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

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

$$-bR_j^t - FY_j^t + UY_j^t + u_0^5 \leq 0 \quad \forall j,$$

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

$$-v_i \leq \frac{-1}{m/X_{ip}} \quad \forall j,$$

$$\varphi + VX_j^t - UY_j^t - u_0^1 - u_0^2 - u_0^3 - u_0^4 - u_0^5 \leq 1,$$

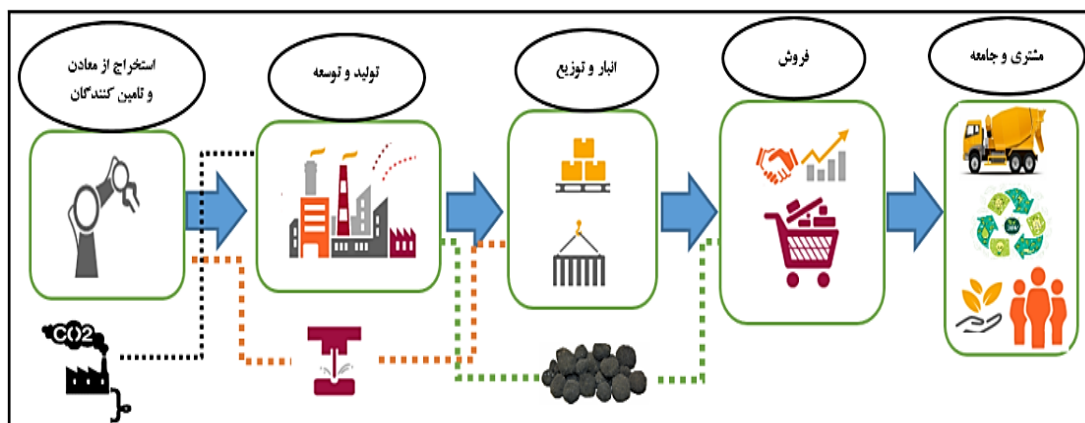
آزاد در علامت u_0 ها و φ ,

$$V.U.W.R.\mu.\mu'.W'.b.F \geq 0.$$

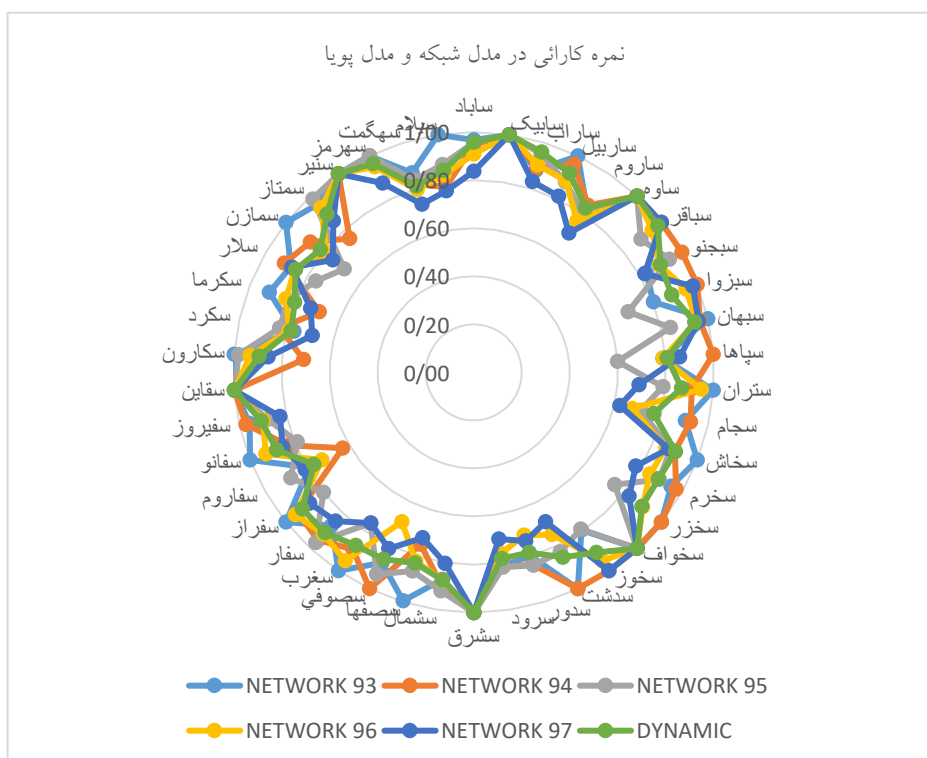
۴- مثال کاربردی در صنعت سیمان

به منظور اعتبار سنجی مدل ارائه شده ساختار مدنظر را در یک صنعت واقعی پیاده سازی می نماییم. از آنجایی که صنعت سیمان به عنوان یک صنعت استراتژیک در توسعه شناخته می شود و ساختار شبکه محور آن کاملاً با مسئله اصلی این مقاله تطابق دارد، این صنعت جهت آزمون مدل شبکه ای و پویا مورد استفاده قرار می گیرد. صنعت سیمان بر پایه بهره برداری و استخراج از معادن و تأمین کنندگان دیگری که مواد شیمیایی، تجهیزات، قطعات و غیره را برای آن فراهم می آورد در طی پنج سطح اقدام به تولید و عرضه محصول می پردازد. همان طور که در شکل ۲ مشاهده می شود در سطح اول تأمین کنندگان خارجی و استخراج از معادن وجود دارند. در سطح دوم دپارتمان تولید و توسعه قرار دارد که با دریافت خروجی سطح اول و بهره گیری از انرژی و غیره به تولید کلینکر (محصول نیمه آماده سیمان) و سیمان در چند تیپ مختلف می پردازد. سطح سوم به انبار توزیع محصول تولید شده اختصاص دارد. سطح چهارم فروش عمده، صادرات و فروش به رقبا را شامل می شود. سطح پنجم به مصرف کننده نهائی و مسئولیت اجتماعی در قبال جامعه معطوف می شود. عملیات این پنج سطح با تولید خروجی های نامطلوب نظیر گازهای گلخانه ای، گردوغبار، تغییرات اکوسیستم، زباله های صنعتی و غیره همراه است که با خروجی های واسطه ای که از سطحی به سطح دیگر جهش می کنند در شبکه در نظر گرفته شده است. داده های مربوط به متغیرهای ورودی و خروجی از سازمان بورس اوراق بهادار، فرم های ارزیابی سازمان محیط زیست، صنف کارفرمایان صنعت سیمان و بررسی های میدانی مطابق با شاخص های کلیدی در قالب فاکتورهای پایداری، استراتژیکی، اقتصادی، فرایندی و عملیاتی جمع آوری شده است و سپس در نرم افزار GAMS برنامه نویسی و حل شده است.





شکل ۲- ساختار شبکه تأمین در صنعت سیمان.
Figure 2- Supply network structure in the cement industry.



شکل ۳- مقایسه نمرات کارایی حاصل از مدل شبکه‌ای در سال‌های مختلف با مدل پویا در طی ۵ دوره متوالی.
Figure 3- Comparison of performance scores obtained from the network model in different years with the dynamic model during 5 consecutive periods.

با توجه با ساختار معرفی شده، به‌منظور اعتبار سنجی مدل، متغیرهای ورودی و خروجی در هر سطح از ساختارهای متوالی در صنعت سیمان را به شرح زیر استخراج نموده‌ایم. بر همین اساس خواهیم داشت:



Y_{rp} پارامترهای	L_{ij} پارامترهای	K_{ij} پارامترهای	Z_{ij} پارامترهای	X_{ip} پارامترهای
مجموع دارایی ها	مجموع هزینه بازاریابی.	مجموع تناژ تولیدی کلینکر کارخانه.	مجموع ذخایر معدنی در اختیار.	کیفیت تأمین کنندگان به لحاظ پایداری در عرضه مواد معدنی و لوازم مصرفی.
رقابت پذیری و جهانی سازی برند کارخانه	مجموع ارزش ریالی دارایی ها و موجودی نگه داری شده آماده برای فروش.	مجموع تناژ تولیدی سیمان کارخانه.	مجموع تناژ مواد اولیه برداشت شده از معادن که باید در فرایند تولید مصرف شود.	هزینه آموزش سبز و پایداری جهت رعایت مسائل مربوطه در طول زنجیره.
نگرش فرهنگی به احداث فضای سبز	مجموع تناژ فروش سیمان پاکتی و فله در بازار داخلی و صادرات.	مجموع ذرات غبار تولید شده (mg/m^3).	تناژ مواد شیمیایی و معدنی دیگر که در فرایند تولید مصرف می شود.	مجموع سرمایه گذاری اولیه در بهره برداری از معادن و فرایند کارخانه.
مجموع درآمد حاصل از فروش محصولات	مجموع تناژ فروش کلینکر.	میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع NOX منتشر شده.	مجموع مواد اولیه معدنی دیو شده برای استفاده در فصل سرما.	مجموع بدهی های کارخانه.
مجموع سود حاصل شده	تعداد پاکت سیمان مصرف شده در طی یک سال از نوع PP.	میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع CO منتشر شده.	کیفیت ارائه برنامه آموزشی برای تأمین کنندگان و کارکنان در راستای تولید پایدار و TQM.	مجموع هزینه خرید مواد معدنی، شیمیایی و لوازم مصرفی دیگر.
نرخ رشد سالانه بر اساس عملکرد	بهای تمام شده محصول.	میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع SO2 منتشر شده.	ایجاد آثار مخرب زیست محیطی در برداشت از معادن.	مجموع هزینه پرداختی بابت برداشت از معادن به پیمانکاران.
بازده دارایی ها ROA		تأثیر مجموع نفوذ آب مصرفی و فاضلاب در آب های زیرزمینی.	مجموع هزینه تحقیق و توسعه.	مجموع هزینه حمل و نقل پرداختی.
بازده حساب صاحبان سهام			مجموع هزینه پرداخت انرژی.	مجموع هزینه های مالی.
اثربگذاری کارخانه در منطقه فعالیت			ظرفیت واقعی صنعت.	مجموع تعداد کارکنان.
رضایت مندی مشتریان			میران برق مصرفی در یک سال برحسب کیلو وات ساعت.	مجموع هزینه حقوق و دستمزد پرداختی.
مجموع قابل محاسبه ناشی از وزن ضایعات رها شده در محیط زیست			میزان گاز مصرفی در یک سال برحسب مترمکعب در تن.	
ایجاد آلودگی ناشی از انتشار مواد غیر قابل بازیافت در طبیعت مسئولیت اجتماعی			میزان انرژی سوختی مازوت مصرفی در یک سال برحسب لیتر به تن.	
K'_{ij} پارامترهای تدارکات معکوس		Z'_{ij} پارامترهای انعطاف پذیری تأمین کنندگان.	M_i پارامترهای جریمه مجموع ذرات غبار تولید شده (mg/m^3).	
تأثیر عملکرد کارخانه بر ایجاد شرایط منفی در اکوسیستم پیرامون		بهبود روابط در طول زنجیره تأمین.	جریمه میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع NOX منتشر شده.	
هزینه طراحی سازگاری با محیط زیست		مجموع هزینه در راستای افزایش قابلیت اطمینان در زنجیره تأمین.	جریمه میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع CO منتشر شده.	
پاسخگویی اجتماعی		توجه به اصول استانداردهای قانونی و ضوابط دولتی در طول زنجیره.	جریمه میانگین سالانه گازهای گلخانه ای از نوع SO2 منتشر شده.	
تلاش در راستای استفاده از فناوری های پیشرفته و مواد اولیه جایگزین		انعطاف پذیری تأمین کنندگان.		

همان‌طور که اشاره شد، مدل پیشنهادی در این مقاله بر اساس داده‌های واقعی زنجیره تأمین پایدار صنعت سیمان در قالب یک شبکه پویا و در طی ۵ دوره متوالی بین سال‌های ۹۳ الی ۹۷ مورد آزمون قرار گرفته است و نمره کارایی شبکه بر اساس اجرای این مدل به صورت زیر به دست آمده است. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نمرات کارایی بر اساس مدل شبکه‌ای در سال‌های مختلف با مدل پویا ارائه شده، مورد مقایسه قرار گرفته‌اند. نکته قابل توجه در این مقایسه، آن است که زنجیره‌های تأمینی که بر اساس مدل شبکه‌ای در سه دوره تحت بررسی به نمره کارایی دست یافته‌اند، در مدل پویای نیز به مرز کارایی رسیده‌اند. همان‌طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود از بین ۴۲ شبکه تحت بررسی ۶ شبکه به مرز کارایی دست یافته‌اند. این شبکه‌ها هم در مدل ساده و هم در مدل پویا کارا هستند. برخی از شبکه‌ها در طی یک دوره زمانی کارا هستند ولی با توجه به مدل پویا که به طور هم‌زمان دوره‌های متوالی را مدنظر قرار می‌دهد ناکارا شده‌اند. به عنوان مثال با نگاهی به واحد تصمیم‌گیری سارابیل متوجه می‌شویم که شبکه مربوطه در سال‌های ۹۳ و ۹۶ به نمره کارایی دست یافته است ولی در سایر سال‌ها ناکارا بوده است و به طبع بر اساس مدل پویا نیز ناکارا خواهد بود. یک شبکه در صورتی در مدل پویا کارا است که در تمامی دوره‌های مجزا به وسیله مدل ساده نیز کارا باشد. برخی از شبکه‌های تحت بررسی مانند سلار در هیچ یک از مدل‌های شبکه ساده و پویا به مرز کارایی دست نیافته‌اند. از آنجایی که ارزیابی شبکه‌ها بر مبنای ساختارهای متوالی آن‌ها صورت گرفته است عملکرد مطلوب هریک از ساختارهای داخلی در دوره‌های زمانی سبب می‌شود تا عملکرد کل زنجیره تحت الشعاع قرار گیرد. در این مقاله هدف ارائه مدلی پویا برای سنجش کارایی در شبکه‌های تأمین پایدار بوده است، بنابراین اگر شبکه‌ای دارای نمره ناکارا است می‌بایست به ساختارهای درونی آن توجه شود و ضعف عملکردی برطرف شود تا در بلندمدت به مرز کارایی نزدیک شود.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

مدل‌هایی که تا کنون توسط محققین ارائه شده است در ۲ بعد دسته‌بندی می‌شوند. بعد کلاسیک که قادر به محاسبه کارایی در مدل‌های شبکه نیستند و یا مدل‌های شبکه ساده و چند سطحی که باز هم قادر به محاسبه شبکه‌های گسترده، خاص و دربرگیرنده پیوندهای زمانی مختلف نمی‌باشند.

هرچند این مدل‌ها توانسته‌اند بسیاری از مشکلات ساختارهای شبکه‌ای نظیر زنجیره تأمین را مرتفع سازند، ولی کماکان در شبکه‌های تأمین با ابعاد بزرگ‌تر و دارای روابط پیچیده‌تر، مشکلات ناشناخته‌ای وجود دارد که کارایی شبکه را به خطر می‌اندازد. تفاوت عمده یافته‌های این پژوهش با مدل‌ها و پژوهش‌های قبلی به مدل تحلیل پوششی داده‌های ارائه شده 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 و هم‌زمان داده‌های مثبت و منفی را می‌پذیرد و نمره کارایی را برای شبکه با ساختارهای متوالی محاسبه می‌کند. ضمن آنکه در تحقیقات قبلی عموماً مدل شبکه ساده، ۲ مرحله‌ای و یا حداکثر ۳ 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 ۵ سطحی با لینک‌ها و فعالیت‌های متعدد در دستور کار قرار گرفته است. نکته آخر به نوآوری مربوط می‌شود که در اکثر تحقیقات قبلی از برنامه‌ریزی آرمانی، داده‌های فازی و شبکه عصبی استفاده شده است که در این تحقیق از برنامه‌ریزی پویا به منظور ارزیابی عملکرد دقیق در زنجیره تأمین پایدار بهره گرفته شده است و صرفاً داده‌های مقطعی مدنظر نبوده و به بهینه‌سازی بلندمدت توجه می‌کند.

مدل ارائه شده به خوبی شاخص‌های شناسایی شده در سطوح و سلول‌های مختلف شبکه را در بر می‌گیرد و با خاصیت شبکه‌ای، نحوه ارتباط همه‌ی این شاخص‌ها و سطوح عملیاتی را نشان می‌دهد. به دلیل آن‌که در زنجیره تأمین 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 تجمیع 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 شبکه تأمین تحت بررسی تنها ۶ شبکه تأمین پایدار توانسته‌اند به مرز کارایی دست پیدا کنند و نمره کارایی ساختار متوالی آن‌ها ۱ شده است که عبارت‌اند از ساییک، ساوه، سخاف، سشرق، سقلئن و سنیر. این شبکه‌ها 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.

جدول ۳- نتایج حاصل از پیاده‌سازی و حل مدل پویا تحلیل پوششی داده‌های پویا با ساختار شبکه در صنعت سیمان.

Table 3- Results of implementing and solving the dynamic model of dynamic data envelopment analysis with network structure in the cement industry.

ردیف	نام شبکه	نمرات کارایی در مدل شبکه ایستا						نمره کارایی	وضعیت کارایی
		دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵	در مدل پویا		
۱	ساباد	0.97	0.95	0.96	0.91	0.84	0.96	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲	سابیک	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	کارا در هر دو مدل	
۳	ساراب	0.88	0.89	1.00	0.90	0.83	0.96	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۴	سارییل	1.00	0.96	0.88	1.00	0.81	0.92	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۵	ساروم	0.83	0.84	0.80	0.76	0.70	0.83	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۶	ساوه	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	کارا در هر دو مدل	
۷	سباقر	1.00	1.00	0.89	1.00	1.00	0.98	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۸	سبجنو	0.83	1.00	0.94	0.89	0.82	0.90	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۹	سبزوا	0.80	1.00	0.69	1.00	1.00	0.92	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۰	سپهان	1.00	0.97	0.84	1.00	0.96	0.94	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۱	سپاها	0.79	1.00	0.60	0.79	0.86	0.81	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۲	ستران	1.00	0.91	0.79	0.95	1.00	0.87	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۳	سجام	0.90	0.93	0.71	0.68	0.62	0.77	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۴	سختاش	1.00	0.90	0.88	0.86	0.87	0.90	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۵	سخرم	0.95	0.97	0.89	0.85	0.78	0.89	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۶	سختزر	1.00	1.00	0.75	0.90	0.83	0.90	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۷	سخواف	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	کارا در هر دو مدل	
۱۸	سخوز	0.80	1.00	0.79	0.95	1.00	0.91	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۱۹	سدشت	1.00	1.00	0.83	0.75	0.69	0.85	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۰	سدور	0.80	0.84	0.84	0.71	0.74	0.78	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۱	سرود	0.82	0.82	0.82	0.76	0.70	0.78	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۲	سشرق	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	کارا در هر دو مدل	
۲۳	سشمال	0.87	0.90	0.92	0.87	0.80	0.87	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۴	سصفها	1.00	0.75	0.87	1.00	0.72	0.83	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۵	سصوفی	0.88	1.00	1.00	0.69	0.81	0.86	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۶	سغرب	1.00	0.89	0.76	1.00	0.76	0.87	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۷	سفار	0.87	0.95	1.00	0.92	0.85	0.91	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۸	سفراز	1.00	0.94	0.80	0.95	1.00	0.91	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۲۹	سفاروم	0.79	0.63	0.88	0.73	0.81	0.77	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۰	سفانو	1.00	0.83	0.79	0.93	0.85	0.88	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۱	سفیروز	0.96	0.97	0.88	0.90	0.83	0.91	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۲	سقاین	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	کارا در هر دو مدل	
۳۳	سکارون	1.00	0.71	1.00	0.93	0.86	0.90	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۴	سکرد	0.77	0.83	0.83	0.79	0.69	0.78	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۵	سکرما	0.91	0.69	0.83	0.84	0.73	0.80	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۶	سلار	0.88	0.91	0.76	0.86	0.87	0.86	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۷	سمازن	1.00	0.87	0.69	0.78	0.75	0.82	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۸	سمتاز	0.96	0.76	1.00	0.93	0.86	0.90	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۳۹	سنیر	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	کارا در هر دو مدل	
۴۰	سهرمز	1.00	1.00	1.00	0.95	0.87	0.96	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۴۱	سهگمت	0.87	0.82	0.84	0.80	0.73	0.81	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	
۴۲	سیلام	1.00	0.78	0.88	0.83	0.76	0.85	ناکارایی در مدل شبکه و مدل پویا	



از بین شبکه‌های تأمین پایدار ناکارا، ۴ شبکه تأمین شامل: سباد، ساراب، سباقر و سهرمز با کسب نمره کارایی نزدیک به ۱، می‌توانند با مدیریت بهتر منابع و الگوبرداری از شبکه‌های تأمین کارا، خود را به مرز کارایی برسانند. سایر شبکه‌های تحت بررسی نمره ناکارا (زیر ۱) را دریافت کرده‌اند زیرا 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 شبکه تأمین را به مخاطره می‌اندازد و از وضعیت بهینه دور می‌کند 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 پویای عملاً وضعیت عملکرد شبکه تأمین 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 شبکه‌های تأمین تحت بررسی در وضعیت و شرایط ناکارا قرار دارند.

به‌طور کلی پیشنهاد می‌شود این شبکه‌های تأمین، ضمن بازنگری کلی در برنامه‌ها و نحوه اجرای آن، زمینه را جهت الگوبرداری از شبکه‌های تأمین پایدار فراهم آورند. توجه به شاخص‌های مهم شبکه تأمین در سطوح عملیاتی، فرایندی و استراتژیک در کنار شاخص‌های سطح پایدار می‌تواند در بهبود عملکرد یک شبکه گسترده نظیر زنجیره تأمین پایدار تأثیرگذار باشد و لازم است از سوی مدیریت زنجیره تأمین پایدار که نتوانسته‌اند بر اساس مدل پویا تحلیل پوشی داده‌های پویا با ساختار شبکه‌ای به کارایی دست پیدا کنند بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گیرد. چرا که مدل نهایی این پژوهش ضمن دربرگیرنده بودن تعداد زیادی از شاخص‌های مهم و تأثیرگذار در شبکه‌های پایدار، ارتباط بخش‌ها و فعالیت‌های درونی در سلول‌های عملیاتی را به‌خوبی نشان می‌دهد و قادر است این فعالیت‌ها را در ماهیت پویا با در نظر گرفتن فاکتور بسیار مهم زمان، موردسنجش و ارزیابی قرار دهد.

منابع

- Amirteimoori, A. (2006). Data envelopment analysis in dynamic framework. *Applied mathematics and computation*, 181, 21-28. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.01.003>
- Avkiran, N. K., & McCrystal, A. (2014). Dynamic network range-adjusted measure vs. dynamic network slacks-based measure. *Journal of the operations research society of japan*, 57(1), 1-14. <https://doi.org/10.15807/jorsj.57.1>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2014.03.002>
- Babazadeh, R., Razmi, J., & Rabbani, M. (2017). An integrated data envelopment analysis mathematical programming approach to strategic biodiesel supply chain network design problem. *Journal of cleaner production*, 147, 694-707. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.038>
- Badiezadeh, T., & Farzipoor Saen, R., & Samavati, T. (2018). Assessing sustainability of supply chains by double frontier network DEA: a big data approach. *Computers & operations research*, 98, 284-290. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.06.003>
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30, 1078-1092. <https://doi.org/10.1287/mnsc.30.9.1078>
- Boudaghi, E., Farzipoor Saen, R. (2018). Developing a novel model of data envelopment analysis–discriminant analysis for predicting group membership of suppliers in sustainable supply chain. *Computers and operations research*, 89, 348–359. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2017.01.006>
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, 2, 429–444. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
- Chen, CH. M. (2009). A network-DEA model with new efficiency measures to incorporate the dynamic effect in production networks. *European journal of operational research*, 194(3), 687-699. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2007.12.025>
- Chen, C. M., & Van Dalen, J. (2010). Measuring dynamic efficiency: Theories and an integrated methodology. *European journal of operational research*, 203(3), 749-760. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2009.09.001>
- Cook, W. D., Zhu, J., Gongbing, B., & Yang, F. (2010). Network DEA: Additive efficiency decomposition. *European journal of operational research*, 207(2), 1122-1129. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2010.05.006>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2016.12.004>
- Emrouznejad, A., & Thanassoulis, E. (2005). A mathematical model for dynamic efficiency using data envelopment analysis. *Journal of applied mathematics and computation*, 160, 363-378. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2003.09.026>
- Mariz, F. B., Almeida, M. R., & Aloise, D. (2018). A review of dynamic data envelopment analysis: state of the art and applications. *International transactions in operational research*, 25(2), 469-505. <https://doi.org/10.1111/itor.12468>
- Fukuyama, H., & Weber, W. L. (2015). Measuring Japanese bank performance: A dynamic network DEA approach. *Journal of productivity analysis*, 44(3), 249-264. <https://doi.org/10.1007/s11123-014-0403-1>



- Goleij, M. J. (2017). New model of two-stage fuzzy data envelopment analysis with variable scale returns. *Decision making and operations research*, 2(2), 130-146. **(In Persian)**. <https://doi.org/10.22105/DMOR.2018.54145>
- Genovese, A., Acquaye, A. A., Figueroa, A., & Koh, S. L. (2017). Sustainable supply chain management and the transition towards a circular economy: evidence and some applications. *Omega*, 66, 344-357. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2015.05.015>
- Hatami-Marbini, A., Ebrahimnejad, A., & Lozano, S. (2017). Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis using lexicographic multiobjective approach. *Journal of computers & industrial engineering*, 105, 362-376. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2017.01.009>
- Hosseinzadeh-Lotfi, F., Jahanshahloo, G. R., & Mohammadpour, M. (2013). An extension of cross redundancy of interval scale outputs and inputs in DEA. *Hindawi publishing corporation journal of applied mathematics*, 7, 635-658. <https://doi.org/10.1155/2013/658635>
- Hosseinzadeh-Lotfi, F., Taeb, Z., & Abbasbandy, S. (2017). Determine the efficiency of time depended units by using data envelopment analysis. *International journal of research in industrial engineering*, 6(3), 193-201. <https://doi.org/10.22105/RIEJ.2017.49156>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.09.012>
- Kao, CH. (2013). Dynamic data envelopment analysis: A relational analysis. *European journal of operational research*, 227, 325-330. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2012.12.012>
- Khalili-Damghani, K., & Ghasemi, P. (2016). Uncertain centralized/decentralized production-distribution planning problem in multi-product supply chains: fuzzy mathematical optimization approaches. *Industrial engineering and management systems*, 15(2), 156-172. <https://doi.org/10.7232/iems.2016.15.2.156>
- Madahi, R., & Yazdani, H. (2020). Ranking of decision-making units using data envelopment analysis considering multiple time periods. *Decision making and operations research*, 5(1), 72-82. **(In Persian)**. <https://doi.org/10.22105/DMOR.2020.226087.1143>
- Moreno, P., & Lozano, S. (2016). Super SBI dynamic network DEA approach to measuring efficiency in the provision of public services. *International transactions in operational research*, 25(2), 715-735. <https://doi.org/10.1111/itor.12257>
- Nemoto, J., & Goto, M. (1999). Dynamic data envelopment analysis: modeling intertemporal behavior of a firm in the presence of productive inefficiencies. *Journal of economics letters*, 64, 51-56. [https://doi.org/10.1016/S0165-1765\(99\)00070-1](https://doi.org/10.1016/S0165-1765(99)00070-1)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jairtraman.2016.08.007>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.147>
- Soleymani Damaneh, R. (2019). Evaluation of continuous two-stage structures: a new multi-objective network data envelopment analysis (MO-NDEA) approach. *Industrial management journal*, 11(3), 487-516. **(In Persian)**. <https://doi.org/10.22059/IMJ.2019.280013.1007585>
- Tavana, M., Shabanpour, H., Yousefi, S., & Saen, R. F. (2017). A hybrid goal programming and dynamic data envelopment analysis framework for sustainable supplier evaluation. *Neural computing and applications*, 28(12), 3683-3696. [10.1007/s00521-016-2274-z](https://doi.org/10.1007/s00521-016-2274-z)
- Tavassoli, M., Farzipoor Saen, R., & Faramarzi, G. R. (2015). Developing network data envelopment analysis model for supply chain performance measurement in the presence of zero data. *Journal of expert systems* 32(3), 381-391. <https://doi.org/10.1111/exsy.12097>
- Tone, K. (2001). A slacks-based measure of efficiency in data envelopment analysis. *European journal of operational research*, 130, 498-509. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00407-5](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00407-5)
- Tone, k., & Tsutsui, M. (2010). Dynamic DEA: a slacks-based measure approach. *Journal of omega*, 38, 3-4. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2009.07.003>
- Tone, T., & Tsutsui, M. (2014). Dynamic DEA with network structure: A slacks-based measure approach. *Journal of omega*, 42, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.04.002>
- Zha, Y., Liang, N., Wu, M., & Bian, Y. (2016). Efficiency evaluation of banks in China: a dynamic two-stage slacks-based measure approach. *Omega*, 60, 60-72. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2014.12.008>



Licensee Decisions & Operations Research. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).