مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال هفدهم، شماره چهارم (پیاپی ۶۷)، زمستان ۹۹، ص ص ۱۱۶-۹۹
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

سنجش کارایی و عملکرد زنجیره‌تامین با ساختار سه مرحله‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

ابوالقاسم شمسی جامخانه[۱]، بیژن رحمانی پرچکلایی[۲*]، فرهاد حسین زاده لطفی[۳]، سید محمد حاجی مولانا[۴]

۱- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه ریاضی، واحد نور، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران

۳- استاد، گروه ریاضی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

۴- استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

رسید مقاله: ۸ خرداد ۱۳۹۸

پذیرش مقاله: ۱۳ آذر ۱۳۹۸

چکیده

جهانی شدن بازارها و تعدد انتخاب برای مشتریان موجب تشکیل زنجیره‌تامین شده است. در فعالیت‌های زنجیره‌تامین، ارزیابی مناسب بر اساس معیارها می‌تواند به شرکت‌ها در جهت حرکت به سوی توسعه کمک کند. سیستم مناسب برای اندازه‌گیری عملکرد، یک نیاز مهم جهت مدیریت موثر زنجیره‌تامین است. براین اساس ارزیابی عملکرد در راستای بهبود اثربخشی و کارایی زنجیره‌تامین برای شرکت‌ها، امری حیاتی است. این مقاله با استفاده از رویکرد سه مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها، اطلاعات جمع‌آوری شده از ۱۶ شرکت برق که شامل سه بخش تولید، انتقال و توزیع می‌باشد را برای سال ۱۳۹۶ مورد تجزیه و تحلیل قرار داده است. نتایج نشان می‌دهد که شرکت‌های برق استان‌های تهران، خوزستان و سمنان دارای کارایی کل یک و استان‌های یزد، گیلان و سیستان و بلوچستان دارای کم‌ترین مقدار کارایی می‌باشند که لزوم توجه بیشتر به شرکت‌های دارای کارایی پایین احساس می‌گردد.

کلمات کلیدی: ارزیابی عملکرد، زنجیره‌تامین با ساختار سه مرحله‌ای، محصولات میانی، تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای، بازده به مقیاس متغیر(VRS).

۱ مقدمه

بهبود مستمر عملکرد سازمان‌ها، نیروی عظیم هم‌افزایی ایجاد می‌کند که این نیروها می‌تواند پشتیبان برنامه رشد و توسعه و ایجاد فرصت‌های تعالی سازمانی شود. دولت‌ها و سازمان‌ها و مؤسسات تلاش جلو برنده‌ای را در این مورد اعمال می کنند. بدون بررسی و کسب آگاهی از میزان پیشرفت و دستیابی به اهداف و بدون شناسایی چالش‌های پیش روی سازمان و کسب بازخورد و اطلاع از میزان اجرای سیاست‌های تدوین‌شده و شناسایی

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: bijanrahmani40@gmail.com

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

مواردی که به بهبود جدی نیاز دارند، بهبود مستمر عملکرد میسر نخواهد شد. تمامی موارد مذکور بدون اندازه‌گیری و ارزیابی امکان‌پذیر نیست [۱]. بنابراین اندازه‌گیری و دقت آن نقش کلیدی در موفقیت سازمان دارد [۲]. از این‌رو اندازه‌گیری عملکرد می‌تواند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارهای تضمین اجرای دقیق و به موقع استراتژی‌ها در یک سازمان به حساب آید. در بازار رقابتی موجود، که سازمان‌ها جهت حفظ مزیت رقابتی خود علاوه بر پرداختن به سازمان و منابع داخلی خود، به مدیریت و نظارت بر منابع و ارکان مرتبط خارج از سازمان نیازمندند، ملحق شدن به زنجیره‌های تامین به عنوان عامل کلیدی در موفقیت شرکت‌ها مطرح می‌گردد. در سال‌های اخیر، مدیریت و ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین (SCM)[1] بنا به دلایل ذیل بیش از پیش در اداره‌ی کسب وکار سازمان‌ها مورد توجه قرار گرفته است: [۳]

۱. اگر بعد از طراحی، زنجیره مورد توجه، بازنگری و کنترل قرار نگیرد ممکن است باعث از بین رفتن زنجیره‌تأمین شود.
۲. ارزیابی عملکرد زنجیره‌تأمین در جهت به‌کارگیری تصمیمات آتی مدیریت نقش اساسی خواهد داشت.

بنابراین، اندازه‌گیری کارایی و بهره‌وری یک ابزار استاندارد برای تحلیل‌ها در زنجیره‌تامین می‌باشد. [۴،۵] تاکنون مجموعه‌های مهمی از مطالعات متفاوت در زمینه‌ی مدل‌های ارزیابی عملکرد در چارچوب سازمان ارایه شده که در جدول زیر به تعدادی از آنها اشاره می‌شود:

جدول ۱. مدل‌های مختلف ارزیابی عملکرد

۱	مدل تعالی سازمانی (جایزه کیفیت اروپا) (EFQM)[2]	مدل‌های تعالی سازمانی از دهه ۱۹۵۰ میلادی ایجاد شد و با الگوبرداری از شرکت‌های موفق دنیا چارچوبی برای سازمان‌های موفق شد. مدل تعالی EFQM به رهبران این امکان را می‌دهد تا روابط علت و معلولی بین آنچه که سازمان انجام می‌دهد و نتایجی که به‌دست می‌آورد را به خوبی درک کنند. این مدل، از ۹ معیار شامل ۵ معیار مدل تعالی توانمندساز و ۴ معیار مدل تعالی نتایج و ۳۲ زیر معیار مدل تعالی مشخص شده است [۶].
۲	مدل چارچوب تحقیق لجستیکی(FLR)[3]	این مدل در دهه ۹۰ توسط چو و همکارانش مطرح شده و وابستگی بین سطح کارایی به دست آمده و استراتژی‌های لجستیکی سازمان را توصیف می‌کند. در چارچوب تحقیق لجستیکی انواع استراتژی لجستیک به سه دسته: فرایند، بازار و اطلاعات دسته‌بندی می‌شود [۷].
۳	رتبه‌بندی لجستیک[4]	در این روش سازمان در چهار حوزه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد: ۱-شاخص‌های عملکرد مالی مانند: هزینه‌ها.۲-شاخص‌های بهره‌وری مانند: تعداد سفارش برآورد شده در یک ساعت.۳-شاخص‌های کیفیت مانند: میزان ضایعات.۴-شاخص‌های دوره عملیات (Cycle time) مانند: زمان برآورده شدن سفارش [۸].
۴	مدل اندازه‌گیری کارت امتیاز پاسخگویی (ASC)[5]	در این مدل سازمان‌ها بستری برای ارتباط ذینفعان مختلف هستند و در دراز مدت موفقیت یک سازمان بستگی به یکپارچه کردن و متوازن نمودن نیازهای ذینفعان مختلف دارد، بدون اینکه منافع یکی فدای منافع دیگری شود. ذینفعان اصلی عبارتند از: کارکنان، مشتریان، تأمین‌کنندگان، مدیران و سهامداران که هر یک از این ذینفعان انتظاراتی از سازمان را برآورده می‌سازند و در مقابل انتظاراتی از سازمان دارند [۹].
۵	دل کریستوفرگری	این مدل درسال ۱۹۹۸ توسط پروفسور کریستوفرگری معرفی شد. متخصصین نتیجه‌گرا می‌توانند به وسیله علایم حیاتی زنجیره‌تامین، وضعیت زنجیره‌تامین را مشخص نمایند. در صورتی که علایم حیاتی زنجیره

[1] Supply Chain Management
[2] .European Foundation of Quality Management
[3] .Framework for Logistics Research(FLR)
[4] .The Logistics Scoreboard
[5] Accountability Scorecard

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

		نشان‌دهنده وجود مشکل باشد باید با استفاده از ارزیابی، ریشه مشکلات را پیدا کرد [۱۰].
۶	روش کارت امتیازی متوازن (BSC)[1]	این روش در سال ۱۹۹۲ توسط روبرت کاپلان و دیوید نورتون[2] ، به عنوان ابزاری برای ارزیابی عملکرد شرکت‌ها ارایه شد. در این روش عملکرد سازمان از چهار جنبه مالی، مشتری، فرآیندهای داخلی، رشد و یادگیری مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. BSC یک عنصر کلیدی در سیستم مدیریت استراتژیک می‌باشد که سازمان‌ها برای تبدیل اهداف استراتژیک به شاخص‌های عملکردی به آنها نیاز دارند [۱۱].

این مدل‌ها برای واحدهای مستقل ارایه شده بودند و پیچیدگی زنجیره ارزش شرکت را در نظر نمی‌گرفتند. هرکدام از مدل‌های یادشده فوق دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود هستند و هیچ کدام از این مدل‌ها برای همه سازمان‌ها و اهداف ارزیابی عملکرد مناسب نیستند. بعضی از این مدل‌ها صرفا برای ارزیابی داخلی و بعضی برای ارزیابی خارجی و مقایسه بین سازمانی مناسب هستند [۱۲].

همان‌طوری‌که گفته شد ارزیابی عملکرد یکی از وظایف اصلی هر سازمان و یکی از وجوه مدیریت عملکرد می‌باشد. در سال‌های اخیر روش‌های زیادی برای ارزیابی عملکرد مدیریت زنجیره‌تأمین پیشنهاد شده است. ولی اکثر آنها از دیدگاه مالی زنجیره‌تأمین را مورد بررسی قرار داده‌اند و متأسفانه روش‌های ارزیابی متکی بر اندازه‌گیری‌های مالی برای تازه‌ترین کاربردهای مدیریت زنجیره‌تامین مناسب نیستند. بنابراین شناخت و توسعه مدلی مناسب و متناسب با نیاز سازمان، ما را به سمت ارزیابی هر چه بهتر زنجیره‌تامین سوق می‌دهد. مدلی که در این مقاله برای ارزیابی عملکرد زنجیره‌تأمین پیشنهاد می‌شود روش تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)[3] می‌باشد [۱۳].

روش تحلیل پوششی داده‌ها یکی از تکنیک‌های مطرح در زمینه ارزیابی عملکرد بوده که برخلاف مدل‌های فوق تمامی واحدهای تحت ارزیابی را به‌صورت مقایسه‌ای مورد بررسی قرار می‌دهد. لذا، مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها به سبب استفاده از فرض‌های کم‌تر در روند ارزیابی موسسات، جایگاه خاصی نسبت به مدل‌های مشابه پیدا کرده است. این روش که توسط چارنز و همکاران در سال ۱۹۷۸ پیشنهاد شد نیاز به هیچ پیش فرضی در مورد تابع تولید و وزن‌ها ندارد. روش تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری و تحلیل مفاهیم کارایی به کار می‌رود. DEA درسال‌های اخیر در بخش‌های خریدار- فروشنده، تولید- توزیع و ارزیابی عملکرد زنجیره‌های تأمین مورد استفاده قرار گرفته است. می‌دانیم زنجیره‌تامین نوعی واحد تصمیم‌گیرنده است که فقط شاخص‌های ورودی و خروجی ندارد، بلکه در کنار آن‌ها از شاخص‌های واسطه‌ای که از مرحله قبل به مرحله بعد جریان دارد استفاده می‌کند. هر مرحله نیز ممکن است ورودی‌ها و خروجی‌های خاص خود را داشته باشد. از این رو به دلیل ماهیت شبکه‌ای یا چندمرحله‌ای زنجیره‌تامین مدل‌های سنتی تحلیل پوششی داده‌ها قادر به ارزیابی صحیح و کامل عملکرد زنجیره‌تامین نیستند. مدل‌های چندمرحله‌ای کائو، لیانگ و همکاران [۱۴] نیازمند این بودند که تمامی خروجی‌های مرحله اول به عنوان تنها ورودی‌های مرحله دوم باشند. پس از آن مدلی توسط کوک و همکاران ارایه گردید که این محدودیت را برطرف نمود. محققین در مقاله حاضر به دنبال ارایه مدلی متناسب با ماهیت

[1] Balanced Score Card
[2] Robert Kaplan & David Norton
[3] Data Envelopment Analysis

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

شبکه‌ای جهت ارزیابی عملکرد زنجیره‌تامین، با سه زنجیره‌تامین هستند که بتواند عملکرد کل زنجیره را در قالب یک مدل ریاضی و با استفاده از شاخص‌های مالی و غیرمالی زنجیره‌تامین، ارزیابی نماید [۱۵].

همان‌طوری که می‌دانیم صنعت برق به‌دلیل نقش زیربنایی و ارتباط زیادی که با کلیه عوامل موثر بر رشد اقتصادی دارد، صنعتی پویا و تاثیرگذار است و با توجه به فراگیری گسترده انرژی برق، می‌توان آن را به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشور بیان کرد. تاکنون پژوهش‌های زیادی با استفاده از ابزار تحلیل پوششی داده‌ها در صنعت برق انجام شده است ولی بندرت از مدل‌های شبکه‌ای برای ارزیابی استفاده گردیده است. سلن با استفاده از روش DEA کارایی نسبی ۲۱ شرکت توزیع برق کشور ترکیه را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و نتایج نشان داد که بهترین استراتژی برای بهبود بهره‌وری بازار برق در کشور ترکیه، خصوصی‌سازی تمام شرکت‌های دولتی توزیع برق می‌باشد [۱۶]. یادو و همکارانش با استفاده از روش غیرپارامتری تجزیه و تحلیل مرز کارایی، به ارزیابی عملکرد نسبی ۲۹ شرکت توزیع برق هند پرداختند که نتایج، ناکارآمدی بسیاری از تاسیسات را به‌دلیل عدم کارایی مقیاس در عدم کارایی فنی نشان داد [۱۷].

با توجه به اهمیت ارزیابی عملکرد و نقش آن در توسعه و بهبود، هدف این مقاله شناسایی عوامل موثر بر عملکرد مدیریت زنجیره‌تامین با مثالی در شبکه برق ایران و ارایه چارچوبی جهت ارزیابی عملکرد آن با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها است، به نحوی که با استفاده از چارچوب ارایه شده بتوان در هر لحظه وضعیت عملکرد زنجیره‌تامین را پایش نمود و در جهت بهبود آن گام برداشت. اساس کار در این مقاله به گونه‌ای است که کارایی کل زنجیره‌تامین از مجموع کارایی وزن‌دارشده اعضای زنجیره به‌دست می‌آید.

ساختار این مقاله به این صورت است: در بخش دوم مبانی نظری و پیشینه تحقیق ارایه می‌شود. در بخش سوم مرور DEA و کاربردهای آن در زنجیره‌تامین، در بخش چهارم پیاده‌سازی مدل و در بخش پنجم نتایج بیان می‌گردند. پیشنهادهای مبتنی بر یافته‌های تحقیق نیز در بخش شش مطرح می‌شود.

۲ مبانی نظری و پیشینه تحقیق

۲-۱ مدیریت زنجیره‌تامین

مدیریت زنجیره‌تأمین مجموعه‌ای از رویکردها است که در جهت کارایی کلی فراهم‌کنندگان مواد اولیه، کارخانه‌داران، انبارکالاها و فروشگاه‌ها به کار برده می‌شود آنچنان که کالا به مقدار مناسب در مکان مناسب و در زمان مناسب و با حداقل هزینه تولید و توزیع شود در حالی که ارایه خدمات در جهت رفع نیازها راضی‌کننده باشد. وظیفه مدیریت زنجیره‌تامین، مدیریت و هماهنگ‌سازی جریان‌های مختلف درون آن می‌باشد.

یکی از چالش‌های مهم مدیریتی در این زمینه، در رابطه با هماهنگ‌سازی جریان اطلاعات بین چندین سازمان و در درون هر سازمان است. این مهم، نیازمند استفاده از تکنولوژی‌ها و ابزارهایی جهت ردگیری داده‌ها در مسیر طی‌شده از مبداء به مقصد و ثبت اطلاعات در هر مرحله می‌باشد. با پیشرفت صنایع، وابستگی آن‌ها به صورت شبکه‌های متصل در زنجیره‌تامین در جریان هستند و دوام و طول عمر شبکه تامین نقش مهم و موثری در دستیابی به اهداف زنجیره ایفا می‌کند [۱۸].

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

۲-۲ سنجش عملکرد زنجیره‌تامین

در عصر کنونی رقابت سازمان‌ها بر سر استفاده بهینه از منابع در دسترس خود و همچنین حفظ مشتریان می‌باشد و سازمان‌ها همواره باید به نوعی نتایج تصمیمات و اقدامات خود را مورد ارزیابی قرار دهند. سیستم‌های ارزیابی عملکرد برای تسهیل اجرای استراتژی‌های سازمان و همچنین بهبود عملکرد سازمانی، امری اجتناب‌ناپذیر است. سنجش عملکرد، مجموعه‌ای از روش‌ها و دستورالعمل‌های رسمی و غیررسمی است که مدیریت سازمان، از آن برای حفظ، یا تغییر الگوهای رفتاری و فعالیت‌های سازمان استفاده می‌کند. به بیانی دیگر، سنجش عملکرد، سازوکاری برای پیشبرد موفقیت‌آمیز اهداف و راهبردهای سازمان است. همچنین سنجش عملکرد شامل مجموعه اقدامات مالی و غیرمالی در داخل و خارج سازمان بوده که ضمن پیشبرد اهداف سازمان به‌منظور پیش‌بینی آینده نیز به‌کار می‌رود [۱۹]. در سنجش عملکرد، دو مفهوم کارایی و اثربخشی وجود دارد که همواره در تمامی ارزیابی‌ها، کنار هم سنجیده می‌شوند؛ زیرا موفقیت در پیشبرد برنامه‌های واحدهای سازمانی، در گرو انجام وظایف و مسئولیت‌ها به صورت اثربخش و کاراست.

۲-۳ مفاهیم اولیه تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای

کارایی یک مفهوم مدیریتی است که سابقه‌ای طولانی در علم مدیریت دارد. کارایی نشان می‌دهد که یک سازمان چگونه از منابع خود در راستای تولید، نسبت به بهترین عملکرد در مقطعی از زمان استفاده کرده است.

کارایی یک واحد سازمانی (DMU) حاصل نسبت ستانده به نهاده آن واحد می‌باشد. اگر یک واحد سازمانی بتواند با نهاده‌های ثابت ستانده‌های بیشتر یا با نهاده‌های کمتر، ستانده‌های ثابت و یا با نهاده‌های کمتر، ستانده‌های بیشتری را تولید کند آن واحد سازمانی از کارایی بالاتری برخوردار خواهد بود. فرض کنید n تا DMU داریم و هر $DMU_j\ (j=1,...,n)$ بااستفاده از m ورودی $X_{ij}(i=1,...,m)$، s خروجی $Y_{rj}(r=1,...,s)$ را تولید می‌کند. DEA اندازه‌گیری عملکرد را برای DMU_j به طریق زیر محاسبه می‌کند:

$$h_j=\frac{\sum_{r=1}^{s}u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m}v_i x_{ij}} \qquad (1)$$

در این معادله $v_i(i=1,...,m)$ و $u_r(r=1,...,s)$ وزن‌های ورودی‌ها و خروجی‌های DMU_j هستند. وزن‌ها در رابطه (۲) توسط مساله برنامه‌ریزی زیر تعیین می‌شوند:

$$\begin{aligned} &h_o=\max\ h_o \\ &\text{s.t.}\quad h_j\le 1,\ j=1,...,n, \\ &\qquad v_i,u_r\ge 0. \end{aligned} \qquad (2)$$

مساله مهم در بررسی کارایی سیستم‌ها عامل‌هایی هستند که باعث این ناکارایی شده‌اند، بدین منظور سعی شده است که سیستم را به اجزایی تقسیم نمایند تا علت ناکارایی، آسان‌تر تشخیص داده شود. به همین دلیل مبحث تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و چندمرحله‌ای پدیدار شدند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

اولین بار فار و همکاران روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای چند فعالیته را مطرح کردند. مینگ یو و همکاران، روش فار و گروسکوف را توسعه داده و مدلی جهت ارزیابی کارایی شبکه راه آهن ارایه دادند[۲۰].

در برخی از مدل‌های شبکه‌ای، تعدادی عناصر ورودی مستقل به جز عناصر میانی وارد مرحله دوم می‌شوند. کاستلی و همکاران روی مدل‌های دو مرحله‌ای با ساختار دولایه‌ای بحث کردند[۲۱]. مدل‌های شبکه‌ای فار و گروسکوف بیش از دو مرحله را شامل می‌شوند [۲۲]. اولین بار لیانگ و همکاران، از تحلیل پوششی داده‌ها و تئوری بازی‌ها برای اندازه‌گیری کارایی دو عضوی استفاده کردند که در آن مفاهیم رهبر- پیرو برای ایجاد مدل‌هایی جهت اندازه‌گیری کارایی زنجیره‌های تامین، مورد استفاده قرار گرفت [۲۳]. در این مدل مرحله دوم تنها از ورودی‌های مرحله اول استفاده نمی‌کند بلکه دارای ورودی‌های مختص خود است که به مرحله اول ربطی ندارندواز روش استاندارد دو مرحله‌ای استفاده کردند. در این روش اگر مرحله یک کارا و مرحله دو ناکارا باشد، برای بهبود کارایی مرحله دوم، باید ورودی‌های مرحله دوم کاهش یابد. در این صورت کارایی مرحله اول کم می‌شود و این نامطلوب است.

وبر و فوکویاما، یک مقدار بر اساس مقادیر کمکی برای یک فرایند دو مرحله‌ای با خروجی‌های نامطلوب در نظر گرفتند[۲۴]. چن یک مدل شبکه‌ای که اثرات پویایی را در شبکه‌های تولیدی تلفیق نموده، ارایه داد [۲۵]. چن و خو مدل‌های خطی و غیرخطی را برای اندازه‌گیری تاثیر تکنولوژی اطلاعات روی عملکرد شرکت توسط یک فرایند دو مرحله‌ای ارایه کردند[۲۶]. لی و همکاران، مدل لیانگ که بر پایه رویکرد تئوری بازی‌ها بوده را با در نظر گرفتن این فرض که ورودی مرحله دوم شامل خروجی مرحله اول و ورودی جداگانه مرحله دوم باشد، با مطالعه موردی شرکت تحقیق و توسعه چینی توسعه داده‌اند [۲۷]. وانک مدل تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای را برای اندازه‌گیری کارایی صنعت هواپیمایی برزیل در نظر گرفت[۲۸]. تون و همکاران مدل پویای تحلیل پوششی داده‌ها را با در نظر گرفتن زمان بر اساس رویکرد کمکی پیشنهاد داده‌اند. ایشان قبلا در مقالاتی مدل شبکه‌ای تحلیل پوششی داده‌ها و مدل پویای تحلیل پوششی داده‌ها را با در نظر گرفتن زمان ارایه کرده بودند. آنها مدل تلفیقی تحلیل پوششی داده‌های پویای تحت شبکه را پیشنهاد نمودند. از مزایای این مدل محاسبه کارایی کل در تمامی زمان‌ها، محاسبه تغییرات پویایی زمان در کارایی می‌باشد [۲۹].

۲-٤ کاربردهای تحلیل پوششی داده‌ها در زنجیره‌تامین

تاکنون پژوهش‌های متعددی درزمینه کاربرد روش تحلیل پوششی داده‌ها در زنجیره‌تامین و در خصوص ارزیابی عملکرد سازمان‌ها و مراکز صنعتی به ویژه در صنعت برق صورت گرفته است که در ادامه به چند مورد از این پژوهش‌ها اشاره می‌شود.

کاربردهای تحلیل پوششی داده‌ها در محاسبه کارایی زنجیره تامین توسط پروفسور وان ده پن از گروه اقتصادی calgary کانادا ارایه گردید. ایشان از DEA برای تعیین میزان کارایی زنجیره تامین واحدهای صنعتی استفاده نموده است. علی یاس رائی در مقاله خود به تعیین مدلی برای قابلیت ردیابی و شناسایی اقلام در زنجیره تامین و بررسی عملکرد زنجیره پرداخت[۳۰]. احمد جعفرنژاد نیز به ارایه یک چهارچوب مفهومی برای ارزیابی عملکرد

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

زنجیره تامین با تأکید بر یکپارچگی پرداخت. [۳۱]. در سال ۱۳۹۵ حسنعلی آقاخانی و مهدی ملکی در مقاله‌ای به ارایه یک چهارچوبی برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین با استفاده از ترکیبی از رویکرد کارت امتیازی متوازن و فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی پرداختند. [۳۲].

جدول ۲. تحقیقات انجام شده در خصوص کاربردهای تحلیل پوششی داده‌ها در زنجیره‌تامین

نام محقق (سال)	کار انجام‌شده
استون و همکاران (۲۰۰۲)	تکنیک DEA در مدیریت زنجیره‌تامین را به‌کار بردند و یک مدل DEA برای مقایسه کارایی تدارکات شرکت‌ها در صنعت نفت پیشنهاد کردند. این مدل اطلاعات به مدیران می‌داد که فرایند تصمیم‌گیری را ارزیابی کنند [۳۳].
تالوری و بکر (۲۰۱۱)	در سه فاز یک چارچوب DEA برای کمک به فرایند تصمیم‌گیری در انتخاب یک‌سری شریک توانا و کارا در طراحی زنجیره‌تامین پیشنهاد کردند [۳۴].
ترود (۱۹۹۷)	تکنیک DEA در یک فرایند چندمرحله‌ای (سری) اعمال گردید و به کمک مدل‌سازی‌های انجام شده که ارتباط بین طبقات لحاظ گردید، کارایی طبقات مختلف محاسبه شد [۳۵].
روس و دراگ (۲۰۰۴)	متدولوژی DEA را برای ارزیابی کارایی مراکز توزیع همگن با یک شبکه مقیاس بزرگ به‌کار بردند و مراکز توزیعی که امکان افزایش کارایی در آنها وجود داشت مشخص کردند [۳۶].
ناراسیمهان (۲۰۰۴)	با استفاده از یک مدل تحلیل پوششی داده‌های چند مرحله‌ای یک روش ارزیابی کارایی انعطاف‌پذیر را در یک مدل زنجیره‌تامین ارایه کردند [۳۷].
کاستلی و همکاران (۲۰۰۴)	در یک ساختار دو مرحله‌ای سلسله مراتبی متشکل از یک سری واحدهای موازی، مدل‌سازی کرده و مقادیر کارایی را محاسبه کردند [۳۸].
چن و همکاران (۲۰۱۰)	یک مدل پیشنهاد کردند که فرایندهای تصمیم‌گیری اعضای زنجیره‌تامین را تحلیل کند و بهترین استراتژی کارایی را ارایه دهد. آنها ارتباط بین عملکرد اعضای زنجیره‌تامین را با یک مدل Supply-Chain-DEA-Game تحلیل کردند [۳۹].
میو-چن و همکاران (۲۰۰۷)	در یک مدل شبکه‌ای که دارای شاخص‌های مشترک بودند با به‌کارگیری DEA عملکرد زنجیره‌تامین را محاسبه و تحلیل کردند [۴۰].
فنگ یانگ و همکاران (۲۰۱۵)	با دو تعریف معادل برای مجموعه امکان زنجیره‌تامین، کارایی فنی کل زنجیره‌تامین را با یک مدل DEA ارزیابی کردند. در مدل پیشنهادی واحدهای الگو با هدف بهبود عملکرد برای زنجیره‌های تأمین ناکارا ارایه شد [۴۱].
چن (۲۰۱۱)	یک متدولوژی ساختاریافته برای انتخاب و ارزیابی تأمین‌کننده با استفاده از DEA و TOPSIS در زنجیره‌تامین ارایه گردید [۴۲].

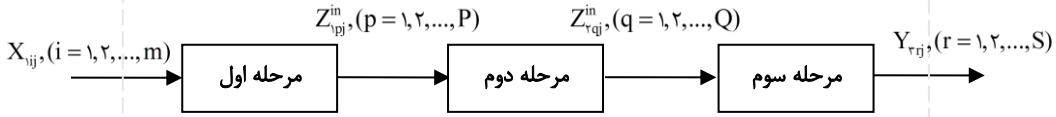
زنجیره برق نیز به‌عنوان یکی از زنجیره‌های مهم و پایه‌ای در صنعت کشور بایستی مورد توجه قرار گیرد و به منظور بالابردن کیفیت این زنجیره و بهبود بخشیدن قابلیت اطمینان در نیل به تامین برق مورد نیاز، ارزیابی کارایی فنی بخش‌های تحت نظارت (تولید، انتقال و توزیع) بایستی اندازه‌گیری گردد. مطالعات زیادی در حوزه زنجیره‌تامین انجام پذیرفته است. سلن کارایی ۲۱ شرکت توزیع برق ترکیه را مورد بررسی قرار داده و نتایج نشان داده است بهترین استراتژی برای بهبود بهره‌وری در بازار برق خصوصی‌سازی تمام شرکت‌های برق دولتی می‌باشد [۴۳]. یادو و همکارانش به ارزیابی عملکرد ۲۹ شرکت توزیع برق هند پرداختند که نتایج ناکارامدی بسیاری از تاسیسات را به‌دلیل عدم کارایی مقیاس در عدم کارایی فنی نشان داد [۴۴]. در ادامه بر آن هستیم تا کارایی زنجیره‌تامین برق کشور را که شامل سه قسمت تولید، انتقال و توزیع می‌باشد را در قالب یک زنجیره مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

۳ مدل مفهومی زنجیره‌تامین با ساختار سه‌مرحله‌ای

مطابق شکل ۱، n واحد تصمیم‌گیرنده $DMU_j, (j = ۱,۲,...,n)$ وجود دارند که دارای m متغیر ورودی $X_{ij} (i = ۱,...,m)$ در مرحله اول هستند که خروجی‌های Z_{pj}^{in} را تولید می‌کنند. خروجی‌های مرحله اول به عنوان ورودی مرحله دوم $Z_{pj}^{in}, (p = ۱,۲,...,P)$ وارد مرحله دوم فرایند می‌شود. مرحله دوم با دریافت متغیرهای دریافتی از مرحله اول، خروجی مطلوب $Z_{qj}^{in}, (q = ۱,۲,...,Q)$ را تولید نموده که به‌عنوان ورودی وارد مرحله سوم می‌شود. در مرحله سوم با ورودی‌های دریافتی از مرحله قبل، خروجی‌های نهایی مطلوب $Y_{rj}, (r = ۱,۲,...,S)$ تولید می‌شوند.



شکل ۱. مدل کلی سیستم با سه مرحله‌ی متوالی

کارایی در DEA به مفهوم نسبت مجموع موزون خروجی‌ها به ورودی‌ها است. بنابراین با توجه به این تعریف می‌توان کارایی مراحل سه گانه را به صورت زیر تعریف نمود:

جدول ۳. کارایی مراحل سه گانه

کارایی مرحله اول	کارایی مرحله دوم	کارایی مرحله سوم
$\theta_j^{۱} = \frac{\sum_{p=۱}^{P} u_p Z_{pj}^{in}}{\sum_{i=۱}^{m} v_i X_{ij}}$	$\theta_j^{۲} = \frac{\sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}{\sum_{p=۱}^{P} u_p Z_{pj}^{in}}$	$\theta_j^{۳} = \frac{\sum_{q=۱}^{Q} u_r Y_{rj}$
u_p ضریب pامین متغیر خروجی	u_q ضریب qامین متغیر خروجی	u_r ضریب rامین متغیر خروجی
v_i ضریب iامین متغیر ورودی	v_i ضریب iامین متغیر ورودی	u_q ضریب qامین متغیر خروجی

تفکیک کارایی‌ها در یک سیستم چندمرحله‌ای، با توجه به این که کارایی مراحل را چگونه وارد تابع هدف نماییم، می‌تواند به دو صورت تجمعی[1] و یا حاصل‌ضربی[2] باشد. در یک مدل تجمعی، تابع هدف از متوسط موزون نمرات کارایی فرایندها تشکیل می‌شود و در یک مدل حاصل‌ضربی، تابع هدف تنها از نمرات کارایی فرایندهای سیستم حاصل می‌شود.

می‌توانیم کارایی کل سه مرحله را در قالب مدل (۳) نشان داد. لازم به ذکر است که در این ساختار نمرات کارایی و وزن‌های مراحل به‌صورت همزمان محاسبه می‌شود. می‌دانیم $\theta_j^{۱}, \theta_j^{۲}, \theta_j^{۳}$ بیان‌گر کارایی فرایندهای اول، دوم و سوم زنجیره‌تامین است. کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده در مدل سه مرحله‌ای عبارت از متوسط موزون نمرات کارایی مراحل سه‌گانه است.

[1]. Additive multi-stage models
[2]. Multiplicative multi-stage models

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

$$\begin{aligned}
&\max \theta_{\circ} = \sum_{s=1}^{3} w_s \theta_{\circ s} \\
&\text{s.t.} \quad \theta_{js} \le 1 \\
&\sum_{s=1}^{3} w_s = 1 \\
&j = 1,2,\ldots,n \\
&s = 1,2,3
\end{aligned} \tag{۳}$$

w_s، بیان‌گر وزن‌های تفکیک‌شده مراحل سه‌گانه است. در واقع در مدل‌های ورودی‌گرا، w_s برابر با مجموع ورودی‌های مرحله sام بر مجموع موزون ورودی‌های کل سیستم است. تعریف وزن‌ها به این صورت، منعکس‌کننده مصرف منابع در یک مرحله در مقایسه با منابعی است که تمام واحدهای تصمیم‌گیرنده مصرف می‌کنند که به‌صورت روابط جدول ۴ تعریف می‌شوند:

جدول ٤. وزن‌های تفکیک شده مراحل سه‌گانه

$w_1 = \frac{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} + \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}$	$w_2 = \frac{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} + \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}$	$w_3 = \frac{\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} + \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}$

همچنین، این ساختار مشکل غیرخطی بودن را نیز برطرف می‌سازد. به‌طور خاص می‌توان تابع هدف مدل فوق را به‌عنوان یک نسبت بیان کرده و با استفاده از مدل چارنز و کوپر ، کارایی کل واحدهای تصمیم‌گیرنده را از طریق رابطه (۴) محاسبه کرد.

$$\begin{aligned}
e_{\circ} = \operatorname{Max} &\left(\frac{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} + \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}} \times \frac{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij}} \right) + \left(\frac{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} + \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}} \times \frac{\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in}} \right) \\
&+ \left(\frac{\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} + \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}} \times \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rj}}{\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}} \right)
\end{aligned} \tag{۴}$$

$$\begin{aligned}
&\text{s.t}: \frac{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij}} \le 1 && j = 1,2,\ldots,n \\
&\frac{\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in}} \le 1 && j = 1,2,\ldots,n \\
&\frac{\sum_{q=1}^{Q} u_r Y_{rj}}{\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}} \le 1 && j = 1,2,\ldots,n \\
&v_i : (i = 1,2,\ldots,m) \\
&u_p : (p = 1,2,\ldots,P) \\
&u_q : (q = 1,2,\ldots,Q) \\
&u_r : (r = 1,2,\ldots,R)
\end{aligned}$$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

با ساده کردن تابع هدف مدل (۴) می‌توان تابع هدف را به صورت روابط جدول ۵ بیان کرد. مدل کسری و مدل خطی شده در این جدول نمایش داده شده است.

جدول ۵. نمایش مدل خطی و مدل کسری

مدل خطی	مدل کسری
$e_{k} = \text{Max}(\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pk}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qk}^{in} + \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rk})$	$e_{k} = \text{Max} \frac{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pk}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qk}^{in} + \sum_{r=1}^{s} u_r Y_{rk}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pk}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qk}^{in}}$
$s.t: \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} - \sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} \le 0 \quad j = 1,2,...,n$	$s.t: \frac{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in}}{\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij}} \le 1 \quad j = 1,2,...,n$
$\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in} - \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} \le 0 \quad j = 1,2,...,n$	$\frac{\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}}{\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in}} \le 1 \quad j = 1,2,...,n$
$\sum_{q=1}^{Q} u_r Y_{rj} - \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in} \le 0 \quad j = 1,2,...,n$	$\frac{\sum_{q=1}^{Q} u_r Y_{rj}}{\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in}} \le 1 \quad j = 1,2,...,n$
$\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik} + \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pk}^{in} + \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qk}^{in} = 1$	$v_i : (i = 1,2,...,m)$
$v_i : (i = 1,2,...,m)$	$u_p : (p = 1,2,...,P)$
$u_p : (p = 1,2,...,P)$	$u_q : (q = 1,2,...,Q)$
$u_q : (q = 1,2,...,Q)$	$u_r : (r = 1,2,...,R)$
$u_r : (r = 1,2,...,R)$	

نمرات کارایی فرایند اول، دوم و سوم واحدهای تصمیم‌گیرنده را همانند کارایی کل می‌توان محاسبه نمود. تفاوت این مدل با مدل خطی جدول ۵ در تابع هدف و محدودیت مرتبط با خطی کردن تابع هدف است. در این مدل محدودیت مربوط به کارایی کل سیستم نیز وارد شده و مقدار کارایی کل سیستم را برابر با مقدار بهینه کارایی محاسبه شده قرار می‌دهد. در جدول ۶ نمایش مضربی و نمایش پوششی کارایی طبقه اول نمایش داده شده است:

جدول ٦. نمایش مدل مضربی و مدل پوششی طبقه اول

کارایی پوششی طبقه اول تحت فرض بازده به مقیاس متغیر	کارایی مضربی طبقه اول
$\text{Min}\,\theta^{1}$	$e_{k}^{1} = \text{Max}(\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pk}^{in})$
$s.t: \theta^{1} X_{ik} + e_{k}^{*} \lambda_{k}^{1} X_{ik} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} X_{ij} \ge 0 \quad i = 1,2,...,m$	$s.t: \sum_{q=1}^{Q} u_r Y_{rk} - e_{k}^{*} \times \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qk}^{in} \le 0$
$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} Z_{pj}^{in} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} Z_{pj}^{in} \ge Z_{pk}^{in} \quad p = 1,2,...,P$	$\sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} - \sum_{i=1}^{m} v_i X_{ij} \le 0 \quad j = 1,2,...,n$
$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} Z_{qj}^{in} - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} Z_{qj}^{in} \ge 0 \quad q = 1,2,...,Q$	$\sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in} - \sum_{p=1}^{P} u_p Z_{pj}^{in} \le 0 \quad j = 1,2,...,n$
$e_{k}^{*} \lambda_{k}^{1} Y_{rk} + \sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} Y_{rj} \ge 0 \quad r = 1,2,...,s$	$\sum_{q=1}^{Q} u_r Y_{rj} - \sum_{q=1}^{Q} u_q Z_{qj}^{in} \le 0 \quad j = 1,2,...,n$
$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} = 1 \quad j = 1,2,...,n$	$\sum_{i=1}^{m} v_i X_{ik} = 1$
$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} = 1 \quad j = 1,2,...,n$	$v_i : (i = 1,2,...,m)$
$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j^{2} = 1 \quad j = 1,2,...,n$	$u_p : (p = 1,2,...,P)$
$\lambda_j^{2} \ge 0 \quad ,\lambda_j^{2} \ge 0 \quad ,\lambda_j^{2} \ge 0 \quad j = 1,2,...,n$	$u_q : (q = 1,2,...,Q)$
$\theta^{1}, \lambda^{1} : \text{free}$	$u_r : (r = 1,2,...,R)$

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

مدل ریاضی کارایی فرایند دوم و سوم را نیز با فرض بازده به مقیاس می‌توانیم مطابق روابط جداول ۷ و ۸ محاسبه کنیم:

جدول ۷. نمایش مدل مضربی و مدل پوششی طبقه دوم

کارایی پوششی طبقه دوم تحت فرض بازده به مقیاس متغیر	کارایی مضربی طبقه دوم
$\text{Min}\,\theta^{۲}$	$e_{۰}^{۲} = \text{Max}(\sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{q۰}^{in})$
$s.t: e_{۰}^{*}\lambda_{۰}^{۱}X_{i۰} - \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۲}X_{ij} \geq ۰ \quad i=۱,۲,...,m$	$s.t: \sum_{q=۱}^{Q} u_r Y_{r۰} - e_{۰}^{*} \times \sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{q۰}^{in} \leq ۰$
$\theta_{۰}^{۲}Z_{p۰} + \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۲}Z_{pj}^{in} - \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۳}Z_{pj}^{in} \geq ۰ \quad p=۱,۲,...,P$	$\sum_{p=۱}^{P} u_p Z_{pj}^{in} - \sum_{i=۱}^{m} v_i X_{ij} \leq ۰ \quad j=۱,۲,...,n$
$\sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۲}Z_{qj}^{in} - \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۴}Z_{qj}^{in} \geq Z_{q۰}^{in} \quad q=۱,۲,...,Q$	$\sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{qj}^{in} - \sum_{p=۱}^{P} u_p Z_{pj}^{in} \leq ۰ \quad j=۱,۲,...,n$
$e_{۰}^{*}\lambda_{۰}^{۱}Y_{r۰} + \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۴}Y_{rj} \geq ۰ \quad r=۱,۲,...,s$	$\sum_{q=۱}^{Q} u_r Y_{rj} - \sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{qj}^{in} \leq ۰ \quad j=۱,۲,...,n$
$\sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۲} = ۱ \quad j=۱,۲,...,n$	$\sum_{p=۱}^{P} u_p Z_{p۰}^{in} = ۱$
$\sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۳} = ۱ \quad j=۱,۲,...,n$	$v_i : (i=۱,۲,...,m)$
$\sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۴} = ۱ \quad j=۱,۲,...,n$	$u_p : (p=۱,۲,...,P)$
$\lambda_j^{۲} \geq ۰ \quad ,\lambda_j^{۳} \geq ۰ \quad ,\lambda_j^{۴} \geq ۰ \quad j=۱,۲,...,n$	$u_q : (q=۱,۲,...,Q)$
$\theta^{۲}, \lambda_{۰}^{۱} : \text{free}$	$u_r : (r=۱,۲,...,R)$

جدول ۸. نمایش مدل مضربی و مدل پوششی طبقه سوم

کارایی پوششی طبقه سوم تحت فرض بازده به مقیاس متغیر	کارایی مضربی طبقه سوم
$\text{Min}\,\theta^{۳}$	$e_{۰}^{۲} = \text{Max}(\sum_{q=۱}^{Q} u_r Y_{r۰})$
$s.t: e_{۰}^{*}\lambda_{۰}^{۱}X_{i۰} - \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۲}X_{ij} \geq ۰ \quad i=۱,۲,...,m$	$s.t: \sum_{q=۱}^{Q} u_r Y_{r۰} - e_{۰}^{*} \times \sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{q۰}^{in} \leq ۰$
$\sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۲}Z_{pj}^{in} - \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۳}Z_{pj}^{in} \geq ۰ \quad p=۱,۲,...,P$	$\sum_{p=۱}^{P} u_p Z_{pj}^{in} - \sum_{i=۱}^{m} v_i X_{ij} \leq ۰ \quad j=۱,۲,...,n$
$\theta_{۰}^{۳}Z_{q۰} + \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۳}Z_{qj}^{in} - \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۴}Z_{qj}^{in} \geq ۰ \quad q=۱,۲,...,Q$	$\sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{qj}^{in} - \sum_{p=۱}^{P} u_p Z_{pj}^{in} \leq ۰ \quad j=۱,۲,...,n$
$e_{۰}^{*}\lambda_{۰}^{۱}Y_{r۰} + \sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۴}Y_{rj} \geq Y_{r۰} \quad r=۱,۲,...,s$	$\sum_{q=۱}^{Q} u_r Y_{rj} - \sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{qj}^{in} \leq ۰ \quad j=۱,۲,...,n$
$\sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۲} = ۱ \quad j=۱,۲,...,n$	$\sum_{q=۱}^{Q} u_q Z_{q۰}^{in} = ۱$
$\sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۳} = ۱ \quad j=۱,۲,...,n$	$v_i : (i=۱,۲,...,m)$
$\sum_{j=۱}^{n}\lambda_j^{۴} = ۱ \quad j=۱,۲,...,n$	$u_p : (p=۱,۲,...,P)$
$\lambda_j^{۲} \geq ۰ \quad ,\lambda_j^{۳} \geq ۰ \quad ,\lambda_j^{۴} \geq ۰ \quad j=۱,۲,...,n$	$u_q : (q=۱,۲,...,Q)$
$\theta^{۳}, \lambda_{۰}^{۱} : \text{free}$	$u_r : (r=۱,۲,...,R)$

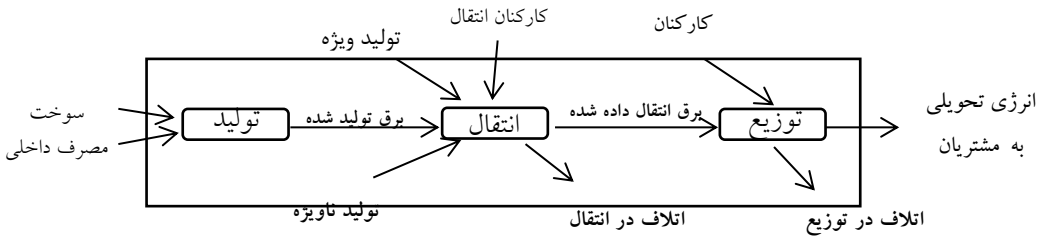
[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

٤ پیاده‌سازی مدل

صنعت برق به خاطر نقش زیربنایی و ارتباط زیادی که با کلیه عوامل موثر بر رشد اقتصادی دارد، صنعتی پویا و تاثیرگذار است. با توجه به فراگیری گسترده انرژی برق، می‌توان آن را به عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل بسترساز توسعه اقتصادی کشور محسوب کرد. شکل زیر ساختاری از شرکت برق می‌باشد که واحدهای مختلف آن به‌صورت سری در ارتباط می‌باشند. صنعت برق به سه بخش تولید، انتقال و توزیع تقسیم می‌شود که هر کدام به نوبه خود اهمیت اساسی دارند. این سه بخش که با هم در ارتباط می‌باشند در کنار هم وظیفه فراهم نمودن انرژی الکتریکی مورد نیاز برای مصارف خانگی و صنعتی را بر عهده دارند. بخش انتقال وظیفه انتقال انرژی الکتریکی از بخش تولید به توزیع را عهده‌دار است. صنایع بزرگ انژری الکتریکی مورد نیاز خود را از بخش انتقال دریافت می‌کنند. در نهایت خطوط انتقال برای مصارف خانگی و اماکن عمومی وسایر مصارف، انرژی الکتریکی را به بخش توزیع تحویل می‌دهند. در این مطالعه به بررسی عملکرد نواحی شانزده‌گانه تولید، انتقال و توزیع صنعت برق ایران در سال ۱۳۹۶ پرداخته می‌شود.

بخش تولید دو ورودی و یک خروجی دارد که به عنوان محصول میانی می‌باشد و به بخش دوم انتقال داده می‌شود. بخش دوم، بخش انتقال می‌باشد که دارای سه ورودی خارجی، یک ورودی داخلی، یک خروجی که به خارج شبکه می‌روند و یک خروجی به‌عنوان محصول میانی که به بخش سوم انتقال می‌دهد، می‌باشد. بخش سه،



شکل ۲. ساختار شرکت برق با در نظر گرفتن شاخص‌ها

بخش توزیع می‌باشد که دارای یک ورودی خارجی، یک ورودی داخلی و یک خروجی می‌باشد.

با استفاده از روابط جداول ۶ تا ۸ و داده‌های شرکت‌های برق منطقه‌ای سراسر کشور مساله را حل نموده و کارایی این واحدهای تصمیم‌گیری را با استفاده از نرم‌افزار GAMS محاسبه و در جدول‌های ۹ گزارش نموده‌ایم.

جدول ۹. نمایش نتایج

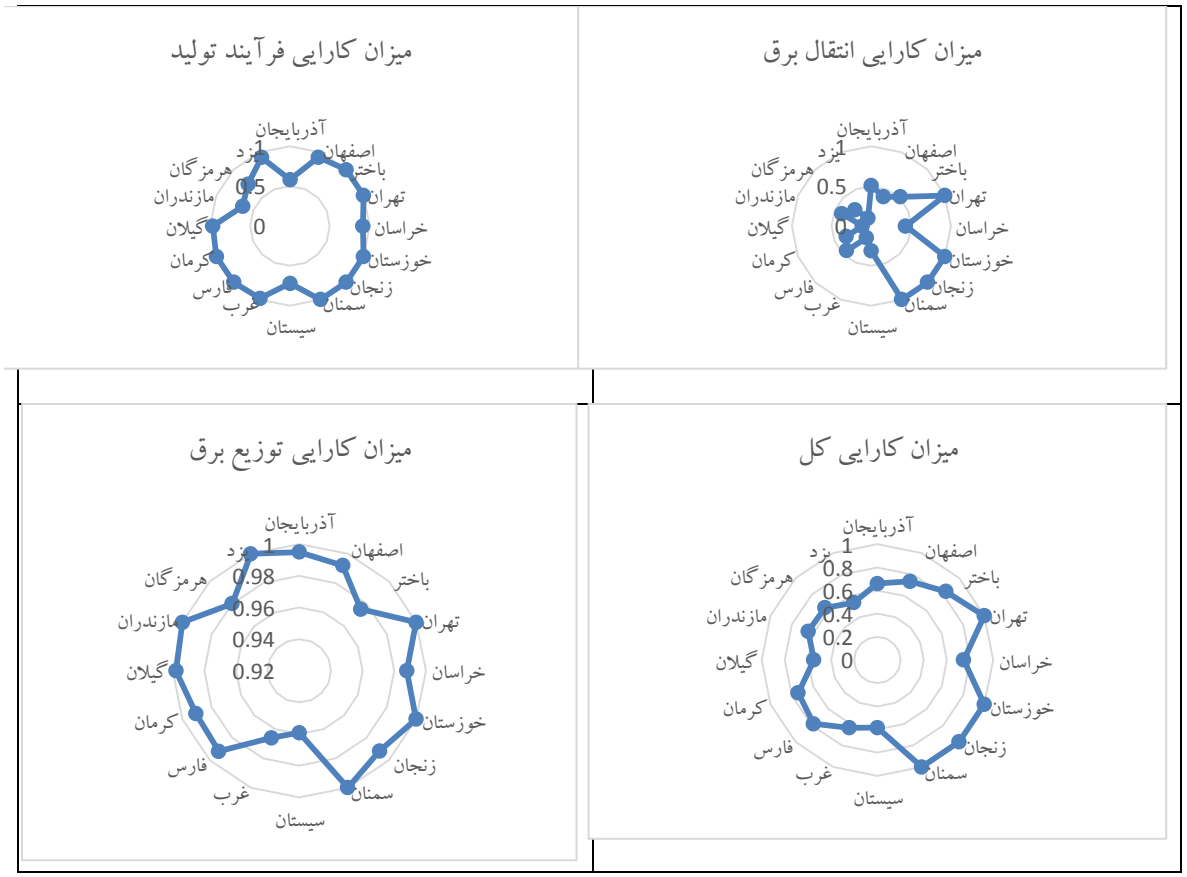
	مقادیر کارایی فرایند تولید برق در ایران			
برق منطقه‌ای	میزان کارایی فرایند تولید	میزان کارایی انتقال برق	میزان کارایی توزیع برق	میزان کارایی کل
آذربایجان	۰/۵۸۱۸	۰/۵۱۰۷	۰/۹۹۴۷	۰/۶۶۰۲
اصفهان	۰/۹۳۴۶	۰/۳۹۸۷	۰/۹۹۲۱	۰/۷۳۵۳
باختر	۱/۰۰۰۰	۰/۵۱۹۱	۰/۹۷۵۵	۰/۸۳۶۷
تهران	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
خراسان	۰/۹۱۵۳	۰/۴۳۱۸	۰/۹۸۸۶	۰/۷۴۵۳

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

خوزستان	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
زنجان	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۰/۹۹۱۸	۰/۹۹۸۷
سمنان	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰	۱/۰۰۰۰
سیستان	۰/۷۲۱۰	۰/۳۱۲۴	۰/۹۵۹۲	۰/۵۸۴۲
غرب	۰/۹۸۵۶	۰/۱۶۰۸	۰/۹۶۵۰	۰/۶۳۳۲
فارس	۱/۰۰۰۰	۰/۴۳۷۷	۰/۹۹۲۰	۰/۷۷۹۷
کرمان	۱/۰۰۰۰	۰/۳۳۷۹	۰/۹۷۰۸	۰/۷۴۱۳
گیلان	۰/۹۶۹۶	۰/۱۱۰۹	۰/۹۹۷۹	۰/۵۴۹۴
مازندران	۰/۶۴۲۹	۰/۴۰۰۶	۱/۰۰۰۰	۰/۶۴۶۴
هرمزگان	۰/۷۴۳۸	۰/۲۹۰۷	۰/۹۸۰۲	۰/۶۳۸۹
یزد	۰/۹۳۲۲	۰/۱۰۶۸	۱/۰۰۰۰	۰/۵۳۵۶

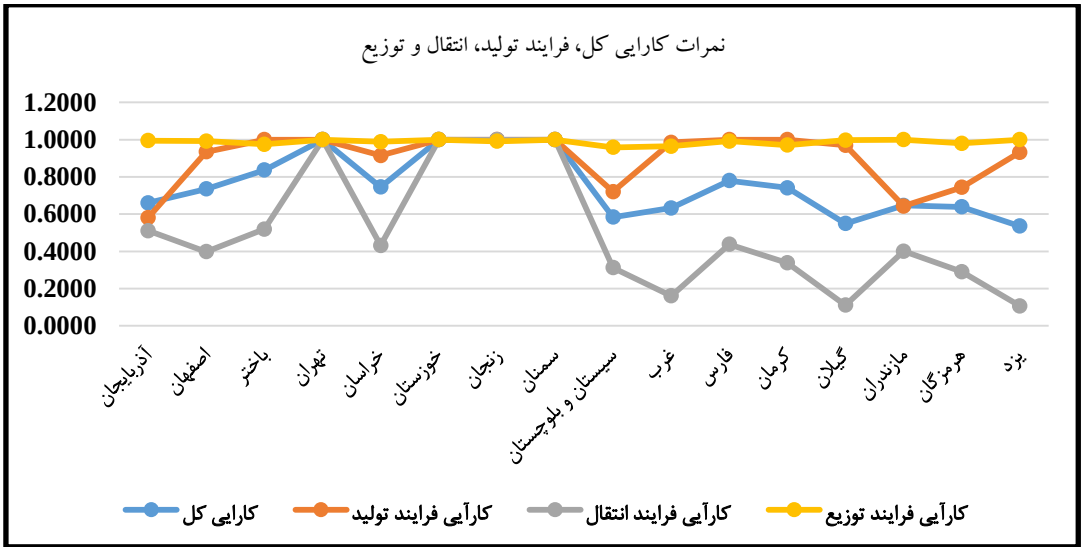
نمرات کارایی کل نواحی شانزده‌گانه صنعت برق ایران در نمودارهای شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است. با نگاهی به نمودارهای متوجه می‌شویم کارایی کل و همچنین کارایی‌های فرایند تولید، انتقال برق و توزیع برق استان‌های تهران خوزستان و سمنان یک شده‌اند.



شکل ۳. نمودار کارایی شرکت‌های برق استانی

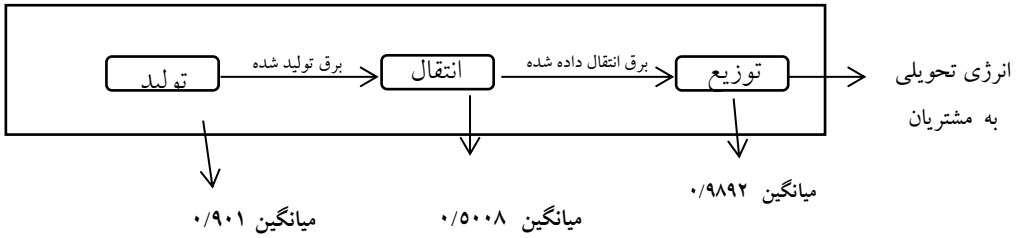
[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]



شکل ٤. نمودار کارایی کل و فرآیندهای مرحله اول – دوم و سوم شرکت‌های برق استانی

با توجه به اطلاعات جدول ۸ مشاهده می‌گردد میانگین میزان کارایی فرآیند تولید برابر ۰/۹۰۱ می‌باشد. این میانگین در بخش انتقال برق ۰/۵۰۰۸می‌باشد که در مقایسه با حوزه‌های دیگر مقدار بسیار پایینی می‌باشد. در حوزه توزیع میانگین کارایی ۰/۹۸۹۲ می‌باشد. نگاهی به میانگین کارایی در شکل ۵ نشان می‌دهد که بیشترین مشکلات شبکه برق مربوط به انتقال می‌باشد. میانگین کارایی کل همچنین ۰/۷۵۵۳ می‌باشد.



شکل ۵. ساختار شرکت برق با در نظر گرفتن میانگین کارایی‌ها

بر اساس نتایج حاصله از محاسبات می‌توانیم تحلیل کارایی تمامی شرکت‌های برق منطقه‌ای استانی را داشته باشیم که در ذیل به تعدادی از آن‌ها می‌پردازیم. بر اساس نتایج حاصل از حل مدل و تعیین کارایی ناحیه باختر مشاهده می‌شود که این ناحیه در مراحل دوم، سوم و کلی، کارا نمی‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که علیرغم کارایی ۹۷ درصدی در فرایند توزیع برق و کارایی ۱۰۰ درصدی در فرایند تولید، کارایی کلی این شرکت به ۸۳ درصد کاهش یافته است. دلیل کاهش این کارایی را می‌توان به نمره کارایی پایین فرایند انتقال برق نسبت داد. لذا لزوم سرمایه‌گذاری در حوزه انتقال بیش از پیش احساس می‌گردد.

جدول ۱۰. کارایی ناحیه باختر

نام شرکت	کارایی کل	کارآیی فرایند تولید	کارآیی فرایند انتقال	کارآیی فرایند توزیع
شرکت برق منطقه‌ای باختر	۰/۸۳۶۷	۱/۰۰۰۰	۰/۵۱۹۱	۰/۹۷۵۵

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

به همین شکل اگر خواسته باشیم ناحیه سیستان و بلوچستان را مورد ارزیابی قرار دهیم بر اساس نتایج حاصل از حل مدل و تعیین کارایی مشاهده می‌شود که این ناحیه در هیچ یک از مراحل اول، دوم، سوم و کلی، کارا نمی‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که علیرغم کارایی ۹۵ درصدی در فرایند توزیع و کارایی ۷۲ درصدی فرایند تولید، کارایی کلی این شرکت به ۵۸ درصد کاهش یافته است. دلیل کاهش این کارایی را می‌توان به نمره کارایی ۳۱ درصدی فرایند انتقال برق نسبت داد.

جدول۱۱. کارایی ناحیه سیستان و بلوچستان

نام شرکت	کارایی کل	کارآیی فرایند تولید	کارآیی فرایند انتقال	کارآیی فرایند توزیع
شرکت برق منطقه‌ای سیستان و بلوچستان	۰/۵۸۴۲	۰/۷۲۱۰	۰/۳۱۲۴	۰/۹۵۹۲

۵ نتیجه‌گیری

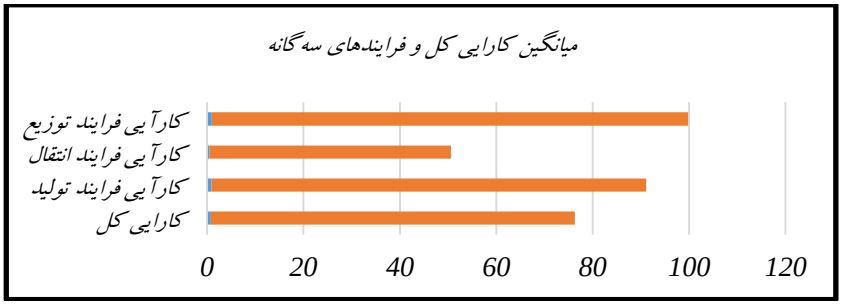
در این مقاله داده‌های مربوط به سال ۱۳۹۶ تعداد ۱۶ شرکت برق منطقه‌ای با استفاده از روش سه مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی و تحلیل قرار گرفت. ساختار هر شرکت برق منطقه‌ای به سه قسمت تولید – انتقال و توزیع تقسیم شده است. نمرات کارایی نشان می‌دهد که در حوزه تولید استان‌های باختر– تهران– خوزستان – زنجان– سمنان – فارس و کرمان در شرایط مطلوبی قرار دارند و استان مازندران در شرایط نامناسبی قرار گرفته است. در حوزه فرآیند انتقال استان‌های تهران– خوزستان– زنجان و سمنان در شرایط خوبی قرار دارند ولی استان‌های اصفهان– خراسان– سیستان– فارس–کرمان–گیلان- مازندران– هرمزگان و یزد در شرایط بسیار نامطلوبی قرار گرفتند که لزوم توجه به حوزه انتقال بیش از پیش احساس می‌گردد. در قسمت توزیع با میانگین کل ۰/۹۸۹۲ شرایط بسیار مطلوب‌تری را دارا می‌باشد. بولتن‌های فنی موجود در شرکت‌های برق نشان می‌دهد. مقایسه این مطالعه با مطالعه‌ای که توسط سلیمی و کرامتی [۴۵] در مجله کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران در سال ۱۳۹۴ انجام پذیرفت و با بیان این‌که کارایی شرکت برق تهران رتبه اول را در میان استان‌های کشور داشته و برق استان سیستان و بلوچستان در رتبه انتهایی قرار داشت نشان می‌دهد میانگین کارایی برق در شبکه توزیع افزایش داشته است که نشان دهنده بهبود توجه به این حوزه می‌باشد. در پایان تاکید می‌گردد استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای ارزیابی سازمان‌هایی که دارای چندین مرحله به هم پیوسته می‌باشند بسیار مفید می‌باشد زیرا که مدیران متوجه نارسایی‌هایی که در قسمت‌های مختلف به‌وجود می‌آید می‌شوند.

٦ پیشنهادهای مبتنی بر یافته‌های تحقیق

با توجه به شکل ۶ مشاهده می‌شود که در بین نواحی شانزده‌گانه صنعت برق فرایند انتقال برق با میانگین کارایی ۵۰ درصدی دارای نمرات کارایی پایین‌تری نسبت به فرایندهای تولید و توزیع برق هستند.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]



شکل ٦. میانگین نمرات کارایی کل، فرایندهای تولید، انتقال و توزیع برق

پیشنهاد می‌گردد شرکت‌های ناکارا در هر مرحله، با الگوبرداری از عملکرد شرکت‌های کارا نسبت به شناسایی عوامل ناکارامدی خود در فرایندهای تولید، انتقال و توزیع برق اقدام نموده و از این طریق، کارایی هر مرحله و کارایی کلی خود را بهبود بخشند.

همچنین برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود عملکرد شرکت‌های انتقال برق در یک دوره زمانی ۵ ساله بررسی شده و ضمن بررسی کارایی آن‌ها در دوره زمانی مذکور، بهره‌وری شرکت‌ها نیز از طریق شاخص‌هایی نظیر شاخص مالم‌کوئیست تجزیه و تحلیل شود.

منابع

[۱] همایونفر، م.، امیر تیموری،ع.، ر.، (۱۳۸۵). برنامه‌ریزی تولید شبکه‌ای در حضور عوامل نامطلوب – رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها فازی. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۳(۱)، ۱۲۱-۱۴۱.

[۲] اصغریان، س.، حسین زاده لطفی، ف.، کاظمی پور، ح.، (۱۳۹۴) .کارایی دو مرحله‌ای شعب بانک به کمک مجموعه مشترک وزن با روش فازی. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن ، ۱۲(۲)، ۱۰۸-۸۹.

[۳] محمدی رنجبرانی، م.، مدرس یزدی، محمد.، (۱۳۸۵). رویکرد مصداقی سنجش عملکرد زنجیره عرضه همراه با مطالعه موردی در صنعت خودرو. فصلنامه دانش مدیریت، ۱۹(۱)، ۱۰۲-۷۵.

[۴] اصغریان، س.، حسین زاده لطفی، ف.، کاظمی پور، ح.، (۱۳۹۴). کارایی دو مرحله‌ای شعب بانک به کمک مجموعه مشترک وزن با روش فازی. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۲(۲)، ۱۰۸-۸۹.

[۵] الفت، ل؛ بامدادصوفی، ج؛ امیری، م؛ ابراهیمپور ازبری، م.، (۱۳۹۱). مدلی جهت ارزیابی عملکرد زنجیره‌تأمین با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای مورد: زنجیره‌تأمین شرکت‌های داروسازی بورس اوراق بهادار تهران. فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی، ۱۰(۲۶) ،۱-۲۶.

[۶] امیری، م.، سکاکی، م. ر.، (۱۳۸۷). راهنمای ارزیابی عملکرد سازمان بر اساس مدل تعالی EFQM .

[۷] فدائی نژاد، ا.، خالقی، ا. ح.، و مهاجری، م.، (۱۳۸۹). مقایسهٔ عملکرد سازمانهای کوچک و بزرگ با رویکرد تعالی. چشم انداز مدیریت دولتی، ۱۳، ۱۳۵-۱۱۹.

[۸] محقق نیا، س.، امینی بیدختی، ع.، بهارلو، ن.،(۱۳۹۵). مقایسه مدل بهینه رگرسیون لجستیک چندگانه و باینری برای رتبهبندی اعتباری مشتریان حقیقی بانک رفاه کارگران. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، ۱۶(۶۳)، ۱۶۶-۱۴۷ .

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

[۹] سهرابی، ر. ا.، شاوردی، م. و بشیری، و.، (۱۳۹۱). مدل به‌کارگیری سلسله مراتبی فازی و کارت امتیازی متوازن جهت انتخاب سیستم مناسب برنامه ریزی منابع انسانی. فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسامی. ۷(۱۹)، ۱۲۹-۱۰۹

[۱۰] شکاری، ا .، فلاحیان، س.، و صادقی چمازین، م .، (۱۳۸۵). ارزیابی پیاده‌سازی ناب در زنجیره تأمین با استفاده از شاخص های اندازه گیری عملکرد. دومین کنفرانس لجستیک و زنجیره تأمین.

[۱۱] اکبریان، م.، نجفی، اسماعیل، حسین زاده لطفی، ف. توکلی مقدم، ر.، (۱۳۹۳). ترسیم روابط علت و معلولی در خلال زمان در نقشه استراتژی پویا. فصلنامهٔ مدیریت صنعتی، ۶(۴)، ۷۰۷-۶۸۵.

[۱۲] معنوی‌زاده، ن، مسعود ، م . رضایی، ک. و رزمی،ج.، (۱۳۸۵) .اندازه‌گیری عملکرد زنجیره تأمین در چهار صنف کلیدی کسب و کار در ایران. دومین کنفرانس لجستیک و زنجیره تأمین.

[۱۳] ایران زاده، س. و برقی، ا.، (۱۳۸۸). ارزیابی عملکرد سازمان با مدل روش امتیازی متوازن BSC . مجله مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، ۴(۸) ،۸۶-۶۷.

[۱۴] مهرگان ، م.، مرادی، ازینب.، (۱۳۹۸) . استفاده از رویکرد ترکیبی چندمرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌هاو کارت امتیازی متوازن برای بهبود ارزیابی عملکرد . فصلنامهٔ چشم انداز مدیریت صنعتی، ۱۶۵-۱۴۳.

[۳۰] رائی،ع .، مراد قلندری، ه.،نخعی کمال‌آبادی ، ع .، (۱۳۹۴). مدلی برای قابلیت ردیابی و شناسایی اقلام در زنجیره تأمین . مدیریت زنجیره تامین. ۱۷(۴۷) ، ۸۳-۷۰.

[۳۱] جعفر نژاد ، ا.، فیض آبادی ، ج. ، (۱۳۸۴). ارایه یک چارچوب مفهومی برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین با تاکید بر یک پارچگی . فصلنامهٔ مدیریت دانش. ۱۸(۱)، ۱۱۸-۹۳.

[۳۲] آقاجانی، ح .، ملکی ، م .، (۱۳۹۱). ارایه چهارچوبی برای ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین با استفاده ترکیبی از رویکرد کارت امتیازی متوازن و فرآیند سلسله مراتبی تحلیلی. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن . ۹(۳)، ۱۱-۱.

[۴۵] سلیمی ، م. ، کرامتی ، م .، (۱۳۹۴) . ارزیابی و تجزیه کارایی فنی شرکتهای برق منطقه‌ای ایران با رویکرد سه مرحله‌ای تحلیل پوششی داده‌ها. مجله کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران. ۴(۲)، ۴۸-۳۷.

[15] Cook, W. D., Zhu, J., Bi, G., Yang, F., (2010). Network DEA: Additive efficiency decomposition, European Journal of Operational Research, 207(1), 1122–1129.

[16] Celen, A., (2013) Efficiency and productivity (TFP) of the Turkish electricity distribute companies: An application of two stage (DEA&Tobit) analysis, Energy Policy, 63, 300-310.

[17] Yadav, V.K., Padhy, N.P, Gup, H.O., (2013). Performance evaluation and improvement directions for an Indian electric utility, Energy Policy, 39(11), 7112-7120.

[18] Chen, C., Yan, H., (2011) .Network DEA model for supply chain performance evaluation, European Journal of Operational Research, Article in press, 9(2), 53-69.

[19] Azar, A., Anvari Rostami A., Abadi, M, Z. M., (2012). Balanced Performance Evaluation with Emphasis on BSC Indicators (Case Study: Yazd Province Ceramic Tile Companies), Research in its Operations and Applications, 9(1), 63-79.

[20] Yue-Jun, Z., Ming-Ying, C., (2018). Evaluating the dynamic performance of energy portfolios: Empirical evidence from the DEA directional distance function, European Journal of Operational Research, 269(1), 64-78.

[21] Kaestli, H.C., Anderson, C., (2017) . Measurement of the production cross section for pairs of isolated photons in pp collisions at root s , Journal of Management Science and Engineering, 8(2), 73-89.

[22] Fare, R., & Grosskopf, S. (2000). Network DEA. Socio-Economie Panning Sciences, 34, 35- 49.

[23] Guo, C., Wei, F., Ding, T., Zhang, L., Liang, L., (2017). Multistage network DEA: Decomposition and aggregation weights of component performance, Computers & Industrial Engineering, 113, 64-74.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]

[24] Fukuyama, H., Weber, W. L., (2010). A slacks-based inefficiency measure for a two-stage system with bad outputs, Omega, 38(5), 398-409.
[25] Huang, T. H., Chen, K. C., Lin, C., (2018). An extension from network DEA to copula-based network SFA: Evidence from the U.S. commercial banks in 2009, The Quarterly Review of Economics and Finance, 67, 51-62.
[26] Chen, W., Zhou, K., Yang, S., (2017). Evaluation of China's electric energy efficiency under environmental constraints: A DEA cross efficiency model based on game relationship, Journal of Cleaner Production, 164, 38-44.
[27] Yu, P., Lee, J. H., (2012). A hybrid approach using two-level SOM and combined AHP rating and AHP/DEA-AR method for selecting optimal promising emerging technology, Expert Systems with Applications, 40(1), 300-314.
[28] Kang, Y. Q., Xie, B. C., Wang, Y. N., (2018). Environmental assessment and investment strategy for China's manufacturing industry: A non-radial DEA based analysis, Journal of Cleaner Productions, 175, 501-511.
[29] Dooms, M., Haezendonck, E., Valaert, T., (2013). Dynamic green portfolio analysis for inland ports: An empirical analysis on Western Europe, Research in Transportation Business & Management, 8, 171-185.
[33] Estampe, D., Lamouri, S., Paris, J.L., Brahim-Djelloul, S., (2013). A framework for analysing supply chain performance evaluation models, International Journal of Production Economics, 142(2), 247-258.
[34] Bhagwat, R., Sharma, M. K., (2007). Performance measurement of supply chain management: A balanced scorecard approach, Computers &Industrial Engineering, 53,43-62 .
[35] Troutt, M.D., (1997). Derivation of the maximin efficiency ratio model from the maximum decisional efficiency principle. Annals of Operations Research 73, 323–338.
[36] Ross, A.D., Droge, C., (2004). An analysis of operations efficiency in large-scale distribution systems, J. Oper. Manage. 21(6) 673–688.
[37] Talluria, S., Narasimhana, R., Nair, A., (2006). Vendor performance with supply risk: A chance-constrained DEA approach, Int. J. Production Economics, 212–222.
[38] Castelli, L., De Dea. C., (2008). Learning Social Attitudes: Children's Sensitivity to the Nonverbal Behaviors of Adult Models During Interracial Interactions, Int. J. Production Economics 112–124.
[39] Liu, S-T., (2014). Fuzzy efficiency ranking in fuzzy two-stage data envelopment analysis. Optimization Letters, 8(2), 633-652.
[40] Chen., M.C., (2007). Ranking discovered rules from data mining with multiple criteria by data envelopment analysis, Expert Systems with Applications, 33 (2007) 1110–1116.
[41] Yang, F., Cook, W.D. Zhu, J., (2015). Network DEA: Additive efficiency decomposition, European Journal of Operational Research, 48, 341–482.
[42] Chen, Y.-J., (2011). Structured methodology for supplier selection and evaluation in a supply chain. Information Science, 181(9), 1651-1670.
[43] Aydın, C. Neşe, Y., (2012). Performance assessment of Turkish electricity distribution utilities: An application of combined FAHP/TOPSIS/DEA methodology to incorporate quality of service. Utility policy, 59-71.
[44] Yado , Y. Jamasb, T., (2003). International benchmarking and regulation: an application to Indian electricity distribution utilities Energy Policy, 31(15), 1609–1622.

[Downloaded from jorlu.ir on 2026-11-29]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2020.17.4.6.8]