فصلنامه مدیریت عملیات
سال سوم، شماره ۱۰، تابستان ۱۴۰۲

سنجش پایداری در زنجیره تأمین رب گوجه فرنگی با استفاده از اصول دسترسی پذیری طبیعی، مدیریتی و شبیه سازی بوت استرپ

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۳۰

مسعود واسعی *
مریم دانشمندمهر**
مرتضی بذرافشان***
آرمین قانعی کنفی****

10.30495/JOM.2024.1992685.1100

چکیده

پایداری زنجیره تأمین و امتیاز کارایی آن با تحلیل پوششی داده‌ها و بوت استرپ، می‌توان به طور جامع و دقیق‌تر، میزان تأثیر عوامل مؤثر بر پایداری زنجیره تأمین را تعیین کرد. همچنین، این روش امکان می‌دهد که از تغییرات و تفاوت‌های نمونه‌ها در تحلیل استفاده کند و نتایجی را با بالاترین فاصله اطمینان ارائه دهد. علاوه بر این، تحلیل پوششی برای شناخت بهتر داده‌ها، شفافیت بیشتر و فهم عمیق‌تر از الگوها، روابط و خصوصیات داده‌ها به کار می‌رود. برای این منظور، در این تحقیق یک چارچوب برای سنجش پایداری عملکرد زنجیره تأمین با استفاده از اصول دسترسی پذیری طبیعی، مدیریتی و شبیه سازی بوت استرپ ارائه شده است. در این مقاله یک مدل جدید برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و شبیه‌سازی بوت استرپ از طریق تلفیق اصول حاکم بر دسترسی پذیری طبیعی و مدیریتی ارائه شده است. جامعه تحقیق حاضر شرکت‌های تولید رب گوجه فرنگی فعال در داخل کشور است که تعداد ۲۵ شرکت برای اجرای مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. در مدل پیشنهادی، عوامل کلیدی زنجیرهٔ تامین پایدار شامل عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به صورت ورودی و خروجی در مدل تحلیل پوششی داده‌های در نظر گرفته شده است. علاوه بر این، ورودی‌ها به

* دانشجوی دکتری، گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران
** نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران m.daneshmand@liau.ac.ir
*** استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران bazrafshan@liau.ac.ir
**** استادیار گروه ریاضی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران arminghane@gmail.com

دو صورت مدیریتی (تحت کنترل) و غیرمدیریتی (غیرکنترل) طبق اصول دسترسی‌پذیری طبیعی و مدیریتی در نظر گرفته شده‌اند. سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی بوت استرپ، و ساخت داده‌های مورد نیاز نسبت به برآورد امتیاز کارایی شبکه‌ای برای واحدهای تصمیم‌گیری اقدام شده است. برای نشان دادن روش پیشنهادی، یک مورد مطالعاتی واقعی در شبکه زنجیره تأمین رب گوجه فرنگی در نظر گرفته شده است. براساس نتایج حاصل شده یک امتیاز کارایی مرحله‌ای و کلی در حالت قطعی و بوت استرپ شده با استفاده از مدل های تحلیل پوششی داده‌ها محاسبه شده است. بر طبق نتایج، دقت روش به‌کارگرفته شده نشان داده شده است. همچنین، قادر است اطلاعات ارزشمندی را در اختیار مدیران قرار می‌دهد.

واژگان کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، بوت استرپ، شبکه، ورودی مدیریتی، ورودی غیرمدیریتی

۱- مقدمه

زنجیره تامین پایدار به عنوان یک مفهوم کلیدی در حوزه مدیریت زنجیره تامین، به منظور حفظ تعادل بین عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی در فرآیند تولید و توزیع کالاها و خدمات استفاده می‌شود. با توجه به افزایش نگرانی‌ها درباره تغییرات آب و هوایی، کاهش منابع طبیعی و نابود شدن محصولات برای نسل‌های آینده، ارزش بخش پایدار زنجیره تامین بسیار مورد توجه قرار گرفته است (اسدی و ابوالقاسمیان، ۲۰۱۸). برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار، استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و شبیه‌سازی بوت استرپ به عنوان روش جدید و قابل اطمینان در حوزۀ مدیریت زنجیره تامین مورد توجه قرار بگیرد. این روش‌ها، امکان تحلیل و بررسی عملکرد زنجیره تامین در شرایط مختلف را فراهم می‌کنند و به مدیران کمک می‌کنند تا تصمیمات بهتری درباره بهبود عملکرد زنجیره تامین پایدار بگیرند (اسدی و همکاران، ۲۰۲۳).

هر سازمان را می‌توان به مثابه سیستمی در نظر گرفت که با دریافت منابع مورد نیاز خود، محصولات یا خدماتی را تولید می‌کند. با توجه به محدودیت منابع و نیاز روز افزون به محصولات و خدمات هر سازمان در مقایسه با همتاهایش وقتی بهتر عمل می‌کند که با صرف منابع کمتر محصولات یا خدماتی برابر و یا بیشتر از دیگری تولید نماید و یا با صرف منابع برابر یا کمتر، محصولات یا خدمات بیشتری ارائه دهد. کارایی نسبی در

واقع مفهومی است که امکان مقایسه عملکرد هر سازمان را در مقایسه با همتاهایش در مصرف منابع و تولید محصولات یا خدمات فراهم می‌کند (امیری و همکاران،۱۳۸۴). تحلیل پوششی داده‌ها که بوسیله چارنز و همکاران در سال ۱۹۷۸ برمبنای کار فارل معرفی گردید روشی کارآمد برای محاسبه نسبی است. یک روایت ساده از تحلیل پوششی داده‌ها این است که این روش در واقع نوعی ارزیابی خوش بینانه است که هر بار با انتخاب یک واحد که اصطلاحا تحت ارزیابی نامیده می‌شود و تخصیص بهترین وزن‌ها نسبت خروجی وزن داده شده به ورودی وزن داده شده را برای آن واحد حداکثر می‌کند، در حالی که این نسبت برای همه واحدهای مورد مقایسه طوری محدود شده که نمی‌تواند از یک تجاوز کند (جهانشاهلو و همکاران،۱۳۹۱).

تحلیل پوششی داده‌ها روشی کارآمد برای مقایسه و محاسبه کارایی نسبی تعدادی واحد که با صرف ورودی‌های مشابه خروجی مشابه تولید می‌کند. اما در دنیای واقعی مواردی وجود دارند که واحدهای تصمیم گیرنده خود متشکل از زیرواحدهایی هستند که به طور مستقل، ورودی‌ها را صرف تولید خروجی‌ها می‌کنند (کوک و گرین[1]، ۲۰۰۵؛ کوپر[2] و همکاران، ۲۰۰۵؛ کائو[3]، ۲۰۰۹). ساده‌ترین روش در مواجهه با مسأله ارزیابی چندین گروه از واحدهای تصمیم گیرنده این است که هر گروه از واحدها یک واحد تلقی شده و مسأله مقایسه کارایی چند مجموعه بزرگ به مسأله مقایسه کارایی چند واحد عمده تقلیل داده می‌شود، یا چنانچه در برخی تجارب منتشر شده دیده می‌شود مسأله مقایسه چند گروه از واحدها به مسأله مقایسه میانگین کارایی نسبی هر مجموعه که به طور مجزا محاسبه شده است تحریف گردد. برای محاسبه کارایی واقعی نیاز داریم تا بیشترین خروجی قابل تولید از یک ورودی اطلاع داشته باشیم. به عبارت دیگر، به یک تابع هدف تحت عنوان تابع تولید نیاز داریم که مقدار تابع به ازای هر ورودی، نشان دهنده بیشترین میزان قابل تولید از آن می‌باشد. متأسفانه در دنیای واقعی قادر به محاسبه بیشترین میزان

[1] Cook & Green
[2] Cooper
[3] Kao

تولید شده از یک ورودی مشخص نیستیم، به عبارت دیگر مرز کارایی واقعی نامشخص است. برای فائق آمدن بر این مشکل و ارائه مقدار کارایی هر واحد، می‌توان تابعی را به عنوان تابع تولید مشخص کرد. به عبارت دیگر یک تخمین از مرز واقعی را به جای آن در نظر بگیریم. این کار به دو روش پارامتری و ناپارامتری قابل انجام است. در مدل‌های پارامتری، شکل تابعی خاص با برخی پارامترهای مجهول برای کارایی در نظر گرفته می-شود. در این روش هدف مشخص کردن پارامترهای مجهول به کمک داده‌های نمونه موجود می‌باشد. یکی از بزرگ‌ترین معایب روش پارامتری، تحمیل شکل تابعی خاص به مدل است. علاوه بر آن واحدها نسبت به مرزی ارزیابی می‌شوند که معمولا در دنیای واقعی غیرقابل دسترسی است. اما در روش ناپارامتری هیچ شکل تابعی خاص به مدل تحمیل نمی‌شود و اجازه داده می‌شود تا داده‌های نمونه، خود شکل تابع تولید را مشخص کنند. در این روش به جای آنکه واحدها با یک مرز غیرقابل دسترس پارامتری ارزیابی شوند، با یک مرز قابل دسترس ساخته شده از داده‌ها ارزیابی می‌شوند. تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتری برای محاسبه کارایی گروهی از واحدها است که فعالیت یکسانی را انجام می‌دهند. مرز به دست آمده از این روش یک مرز نسبی قابل دسترس در دنیای واقعی می‌باشد. درست برخلاف روش پارامتری که در آن واحدها نسبت به مرزی سنجیده می‌شوند که عموما در دنیای واقعی، غیرقابل دسترس است. کارایی به دست آمده از این روش یک مقدار نسبی و نه مقدار واقعی می‌باشد. به عبارت دیگر کارایی به دست آمده از این روش برآوردی از مقدار واقعی کارایی است. به دلیل نامشخص بودن توزیع جامعه میزان دقت کارایی برآورد شده مورد سوال قرار می‌گیرد (جهانشاهلو و همکاران،۱۳۹۱). به عبارت دیگر، تنها اطلاعاتی که از جامعه در اختیار داریم، یک نمونه از داده‌ها است. بهترین کار مشخص کردن یک مرز به عنوان کارایی و ارزیابی واحدها نسبت به آن است. واضح است مقادیر کارایی که از مقایسه با این مرز حاصل می‌شود، به میزان سازگاری و میزان اریبی این مرز از مرز اصلی بستگی دارد. هر قدر که این مرز برآورد درستی از مرز کارایی اصلی باشد مقادیر کارایی حاصل به همان اندازه به مقادیر

کارای اصلی نزدیک‌تر است. پس ارائه یک برآورد درست از پارامتر اصلی نه تنها به ساختار اصلی برآوردگر بستگی دارد، بلکه به نمونه در دست بررسی نیز بستگی دارد. اینکه یک نمونه چقدر می‌تواند اطلاعاتی را در اختیار برآوردگر قرار دهد باید مورد بحث و بررسی قرار بگیرد. چیزی که واضح است، تعداد نمونه کم مشاهده شده و به عبارت دیگر کوچک بودن حجم نمونه برای برآورد درست می‌باشد. بنابراین باید دنبال روشی برای تولید داده از جامعه ناشناخته باشیم تا مشکل کمبود نمونه را رفع کنیم. بوت استرپ که توسط افرون ارائه شده و توسعه یافته است، بر پایه شبیه‌سازی فرآیند تولید داده‌ها بنا نهاده شده است. بنابراین، این تحقیق به دنبال این است که سعی کند از روش بوت استرپ با تولید داده با ملحوظ داشتن دقت کارایی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی عملکرد پایداری زنجیره تأمین استفاده نماید.

در این مقاله، یک مدل جدید برای ارزیابی عملکرد زنجیره تامین پایدار با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و شبیه‌سازی بوت استرپ از طریق تلفیق اصول حاکم بر دسترسی پذیری طبیعی و مدیریتی ارائه خواهد شد. در این مدل، عوامل کلیدی زنجیرهٔ تامین پایدار شامل عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیستی به صورت ورودی و خروجی در مدل تحلیل پوششی داده‌های در نظر گرفته خواهند شد. علاوه بر این، ورودی‌ها به دو صورت مدیریتی (تحت کنترل) و غیرمدیریتی (غیرکنترل) طبق اصول دسترسی پذیری طبیعی و مدیریتی در نظر گرفته شده‌اند. سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی بوت استرپ، و ساخت داده‌های مورد نیاز نسبت به برآورد امتیاز کارایی شبکه‌ای برای واحدهای تصمیم گیری اقدام می‌شود.

بنابراین، در این مقاله هدف اصلی ارائه یک چارچوب برای سنجش پایداری عملکرد زنجیره تأمین با استفاده از اصول دسترسی پذیری طبیعی، مدیریتی و شبیه سازی بوت استرپ می باشد. برای این منظور امتیاز کارایی کلی و مرحله‌ای به طور جداگانه برای هر یک از واحدها از طریق مقادیر شبیه‌سازی شده برای ورودی‌های مدیریت پذیر، غیرمدیریت پذیر و خروجی های مطلوب و نامطلوب تعیین می‌شوند. لذا، مهمترین نوآوری

این تحقیق ارائه چارچوبی برای تعیین امتیاز کارایی واحدهایی است که به طور شبکه‌ای با یکدیگر در ارتباط هستند و با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های بوت استرپ شده طبق اصول طبیعی و مدیریتی به طور همزمان است. زیرا، طبق شکاف شناسایی شده در مواجهه با محاسبه امتیاز کارایی کمتر به استفاده همزمان اصول طبیعی و مدیریتی پرداخته شده است. علاوه بر این، استفاده از شبیه سازی بوت استرپ برای تولید داده‌های تصادفی مطمئن برای زمانی که داده و اطلاعات در دسترس نمی‌باشد مغفول واقع شده است.

باقیمانده مقاله به صورتی که مشخص می‌شود ارائه شده است. در ادامه یک مرور ادبیات تاریخی از موضوع تحقیق ارائه شده است. سپس، روش اجرایی تحقیق بیان شده است. بعد از آن نتایج بکارگیری روش پیشنهادی در یک مطالعه موردی ارائه شده است. سرانجام، یک نتیجه گیری کلی به همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

۲- مروری بر مبانی نظری و پیشینه تحقیق

پایداری زنجیره تأمین

پایداری در زنجیره تأمین به معنای ایجاد و حفظ یک سامانه در زنجیره تأمین است که قادر باشد در آن موارد اجتماعی، محیطی و اقتصادی را مدنظر قرار دهد. پایداری در زنجیره تامین باید به انسان‌ها و جوامع که در آن فعالیت می‌کنند، عدالت و تعادل را تضمین کند. این شامل احترام به حقوق کارگران، بهداشت و ایمنی، آموزش و توسعه و برابری جنسیتی می‌شود (واسعی و همکاران، ۱۴۰۲). علاوه بر این، یک سیستم زنجیره تأمین پایدار باید تأثیرات خود را بر طبیعت کاهش دهد و منابع طبیعی را به طور مستدام مدیریت کند. این شامل کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، استفاده بهینه از آب و انرژی، حفظ تنوع زیستی و مدیریت صحیح پسماندها می‌شود. همچنین، یک زنجیره تأمین پایدار باید اقتصادی باشد و بازدهی مالی برای همه طرف‌های مرتبط را تضمین کند. این شامل کاهش هدررفت و هزینه‌های زائد، بهره‌وری منابع، مقابله با ریسک و استفاده از مودارلهای مالی پایدار است. بنابراین، پایداری در زنجیره تأمین به معنای اتخاذ یک رویکرد

متوازن و یکپارچه است که به عنوان یک سیستم جامع، ارزش‌های اجتماعی، محیطی و اقتصادی را متعادل می‌کند و به تحقق توسعه پایدار کمک می‌کند (واسعی و همکاران، ۲۰۲۳).

عملکرد زنجیره تأمین

ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین به معنای اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد کلی زنجیره تأمین در بهبود و بهینه‌سازی عملکرد آن می‌باشد. این عملکرد می‌تواند شامل جوانب مختلف زنجیره تأمین مانند تأمین مواد اولیه، تولید، توزیع، مدیریت انبار و خدمات مشتریان باشد. ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین دارای چند ویژگی مهم است (اسدی و ابوالقاسمیان، ۲۰۱۸).

- ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین بر اساس شاخص‌ها و معیارهای مشخصی انجام می‌شود. این شاخص‌ها و معیارها می‌توانند شامل عوامل اقتصادی، عملکرد عملیاتی، کیفیت، قیمت، تحویل به موقع، خدمات پس از فروش و سایر ویژگی‌های مرتبط با عملکرد زنجیره تأمین باشند.
- ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین باید بر اساس اهداف استراتژیک و استراتژی‌های تعیین شده برای زنجیره تأمین صورت گیرد. این اهداف و استراتژی‌ها باید مشخص و قابل اندازه‌گیری باشند تا ارزیابی به درستی صورت پذیرد.
- ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین بر اساس منابع و داده‌های موجود در دسترس صورت می‌گیرد. این داده‌ها می‌توانند شامل اطلاعات مالی، داده‌های عملیاتی، بازخورد مشتریان و سایر منابع مرتبط با عملکرد زنجیره تأمین باشند.
- ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین شامل مقایسه و تحلیل عملکرد فعلی با استانداردها، اهداف و نقاط قوت و ضعف زنجیره تأمین است. این تحلیل می‌تواند به شناسایی نقاط ضعف و تهدیدات، پتانسیل‌های بهبود و فرصت‌های بهره‌برداری از شرایط محیطی کمک کند.

- ارزیابی عملکرد زنجیره تأمین باید به عنوان یک فرآیند پیوسته و چرخه‌ای در نظر گرفته شود. بازخوردهای حاصل از ارزیابی عملکرد باید برای بهبود کارایی و کیفیت زنجیره تأمین مورد استفاده قرار گیرند.

تحلیل پوششی داده‌ها

برای اندازه‌گیری کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌ها مدل‌های مختلفی توسط محققان بیان و بررسی شده است که دو مدل چارنز، کوپر و رودز[۱] و بنکر، کوپر و چارنز[۲] از مدل‌های پایه و سنتی تحلیل پوششی داده‌ها محسوب می‌شوند، که الگوهای خطی برای حل مسائل کارایی در حالت چند ورودی و چند خروجی هستند و به ترتیب از نوع تکنولوژی بازده به مقیاس ثابت و متغیر می‌باشند. در این روش با به کارگیری مجموعه‌ای از نقاط که توسط برنامه‌ریزی خطی تعیین شده‌اند، یک منحنی مرزی کارا ایجاد می‌شود. روش برنامه‌ریزی خطی با یک سری بهینه‌سازی، مشخص می‌شود که آیا واحدهای تصمیم گیری مدنظر روی خط کارایی قرار گرفته است یا خارج از آن قرار دارد. هدف اصلی تحلیل پوششی داده‌ها، تعیین کارایی یک سیستم یا واحد تصمیم گیری از طریق فرآیند تبدیل ورودی‌ها به خروجی‌ها است. واحدی که دارای کارایی مساوی یک باشد، واحد کارا نام دارد و دیگر واحدها که کارایی بین صفر و یک دارند، واحدهای ناکارا شناخته می‌شوند (اسدی و همکاران، ۲۰۲۲).

شبیه سازی بوت استرپ

شبیه‌سازی بوت استرپ[۳] به معنای ایجاد یک محیط مجازی برای تست و ارزیابی عملکرد سیستم‌ها، فرآیندها یا رویدادها است (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۱۸). در این نوع از شبیه‌سازی، ویژگی‌ها و رفتارهای مختلف سیستم واقعی با استفاده از مدل‌ها و الگوریتم‌های مشخصی شبیه‌سازی می‌شوند (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۳). شبیه‌سازی بوت استرپ می‌تواند در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار بگیرد، از جمله: شبکه‌های

[1] CCR (Charnes, Cooper, Rhodes)
[2] BCC (Banker, Cooper, Charnes)
[3] Bootstrap simulation

کامپیوتری برای بررسی و تحلیل عملکرد شبکه‌های کامپیوتری، مانند ترافیک داده، ظرفیت شبکه و زمان پاسخگویی؛ و حمل و نقل برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی ترافیک جاده‌ای، حرکت خودروها و تأثیر تغییرات مختلف در زیرساخت‌های حمل و نقل (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۲۲).

اصل دسترسی پذیری طبیعی

بر طبق دسترسی‌پذیری طبیعی، یک واحد تصمیم‌گیری[1] بردار ورودی‌هایش را کاهش می‌دهد تا بردار خروجی‌ها را افزایش دهد. در این‌صورت، با کاهش در ورودی‌ها، یک واحد تصمیم‌گیری قادر خواهد بود بردار خروجی‌های مطلوب خود را تا حد ممکن افزایش دهد. این اصل در حقیقت، به یک تطابق منفی معروف است. براساس این اصل یک بده بستان بین هزینه کرد برای تحقیق و توسعه و تولید فناوری پیشرفته وجود دارد. در این نوع از دسترسی پذیری، یک واحد تصمیم‌گیری برای اندازه‌گیری کارایی سعی در دستیابی به مرز کارا برای خروجی‌ها و ورودی‌های مطلوب است.

اصل دسترسی پذیری مدیریتی[2]

بر طبق این اصل، برخلاف دسترسی پذیری طبیعی نشان می‌دهد که یک واحد تصمیم-گیری بردار ورودی‌ها را افزایش می‌دهد یا در سطح جاری نگه می‌دارد تا بردار خروجی های خود را با ارتقای فناوری افزایش دهد. بنابراین، برطبق این اصل، با افزایش یا ثابت نگه داشتن ورودی در یک واحد تصمیم‌گیری ، بردار خروجی‌های مطلوب را تا حد ممکن تحت فناوری جدید و یا مدیریت جدید افزایش می‌دهیم. دسترسی پذیری مدیریتی اغلب با سرمایه‌گذاری در امکانات موجود باعث افزایش خروجی مطلوب و حفظ عملکرد سیستم می‌شود.

اخیرا محققان شروع به بررسی ساختارهای دو مرحله‌ای در شبکه‌های زنجیره تأمین کرده‌اند که نتایج مرحله اول آنها، ورودی مرحله دوم می‌شوند (کائو، ۲۰۰۹). برای

---

[1] DMU
[2] Managerial disposability

ارزیابی عملکرد چنین شبکه‌هایی محققان از مدل‌های تحلیل پوششی معمولی استفاده می‌کنند. برای مثال، شیو و چن[1] (۲۰۰۶) از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کرده‌اند. فوکویاما و میردهقان[2] (۲۰۱۲) روشی دو مرحله‌ای را برای شناسایی وضعیت کارایی هر واحد تصمیم گیری پیشنهاد کردند. چن و همکاران (۲۰۱۲) طراحی محصول پایدار به عنوان یکی از مهمترین اقدامات برای دستیابی به پایداری در این مقاله در نظر گرفته شده است. در این مقاله برای ایجاد بهبود در عملکردهای زیست محیطی یک محصول از طریق طراحی محصول، با استفاده از شبکه دو مرحله‌ای تحلیل پوششی داده (DEA) برای ارزیابی عملکرد طراحی پایدار محصول پیشنهاد شده است. معیار کارآیی طراحی به عنوان اندازه‌گیری کلیدی عملکرد طراحی از نظر چگونگی ترکیب چندین مشخصات و ویژگی‌های محصول در یک طراحی محصول که منجر به کاهش اثرات زیست محیطی یا عملکرد بهتر محیطی می‌شود، مفهوم سازی شده است. بنابراین، یک مدل دو مرحله‌ای DEA شبکه برای ارزیابی عملکرد پایدار طراحی با ماژول طراحی صنعتی و ماژول طراحی زیستی ساخته شده است. برای نشان دادن کاربردهای روش مبتنی بر DEA، از داده‌های کلیدی مهندسی، ویژگی‌های محصول و عملکرد انتشار در پایگاه داده آزمایش آلایندگی خودرو که توسط EPA ایالات متحده منتشر شده است، برای ارزیابی عملکرد طراحی پایدار سازندگان مختلف خودرو استفاده شده است. نتایج آزمون این مقاله نشان می‌دهد که طراحی پایدار نیازی به معنی سازش بین ویژگی‌های سنتی و زیست محیطی ندارد. از طریق پرداختن به ارتباط متقابل سیستم‌های فرعی در طراحی محصول، یک شرکت می‌تواند کارآمدترین روش را برای ترکیب مشخصات و ویژگی‌های محصول پیدا کند که منجر به کاهش اثرات زیست محیطی یا عملکرد بهتر محیطی شود.

این مقاله با تهیه یک چارچوب تحقیقاتی جدید برای ارزیابی عملکردهای طراحی پایدار و همچنین با پیشنهاد یک برنامه ابتکاری از شبکه دو مرحله‌ای DEA برای یافتن

[1] Chiou & Chen
[2] Fukuyama & Mirdehghan

کارآمدترین روش زیست محیطی برای دستیابی به عملکردهای زیست محیطی بهتر از طریق طراحی محصول، به ادبیات موجود کمک می‌کند. تاجبخش و حسینی(۲۰۱۴) در مقاله خود به ارزیابی عملیات‌های زنجیره تأمین که بازده‌های اقتصادی را بیشینه می‌کنند، و آثار محیطی را کمینه می‌کند تا انتظارات اجتماعی را برآورده سازد متمرکز شده‌اند. برای این منظور یک مدل تحلیل پوششی داده‌های چند مرحله‌ایی را توسعه داده‌اند که برای ارزیابی پایداری یک زنجیره تأمین با چندین شریک تجاری به کار گرفته شده است. تمرکز این مقاله بر استفاده از توانایی‌های هر چه بیشتر تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی جامع عملکرد زنجیره‌های عرضه پایدار است. خداکرمی و همکاران(۲۰۱۵) به یکی از کاربردهای تحلیل پوششی داده‌ها که ارزیابی فرآیندهای دو مرحله‌ایی است که در آن تمام خروجی‌های مرحله اول مقادیر میانی هستند و به عنوان ورودی‌های مرحله دوم در نظر گرفته می‌شوند پرداخته‌اند. مدل‌های دو مرحله‌ایی تحلیل پوششی حاصل شده هم نمره کلی کارایی کل فرآیند و هم هر یک از مراحل را جداگانه مورد ارزیابی قرار می‌دهد.

سیمونوف و همکاران (۲۰۱۹)، یک متدولوژی برای ارزیابی یک زنجیره تأمین پایدار ارائه داده‌اند. کرماچ و بوبان[1] (۲۰۱۹)، یک مدل مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی زنجیره تأمین و ارزیابی کارایی تأمین کنندگان ارائه داده‌اند. آنها با به‌کارگیری مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها کارایی محیطی تأمین کنندگان را مورد ارزیابی قرار دادند.

تخمین مرز کارایی با استفاده از فرآیند شبیه سازی بوت استرپ اولین بار توسط افرون[2] (۱۹۷۹) معرفی شده است. بعدها توسط افرون و تیبیشیرانی[3] (۱۹۹۳) توسعه یافته است. فریر و هیرچبرگ[4] (۱۹۹۷) فواصل اطمینان را برای امتیاز کارایی با استفاده از بوت استرپ برای یک بانک ایتالیایی انجام دادند. عبادی (۱۳۹۰) روشی برای رتبه بندی نمرات کارایی با استفاده از بوت استرپ ارائه داد که نقایص این روش توسط بهاری

[1] Krmac & Djordjevic
[2] Efron
[3] Efron & Tibishirani
[4] Ferrier & Hirschberg

و همکاران (۱۳۹۳) تکمیل گردید. همچینین سونگ و لی[1] (۲۰۱۹)، کارایی پایدار صنعت توریسم چین را با استفاده از روش بوت استرپ تخمین زدند. ییجا[2] و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از DEA سه مرحله‌ای و بوت استرپ به تخمین مرز کارایی منابع زغال سنگ در کشور چین بر اساس هر ناحیه پرداختند. در این مقاله، داده‌های ۲۹ استان چین به عنوان ورودی در مدل تحلیل پوششی داده‌ها مورد استفاده قرار گرفته است و از روش بوت استرپ برای اصلاح انحرافات استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که اختلافات معنی داری بین توزیع امتیاز کارایی منابع زغال سنگ مطابق با نواحی آنها وجود دارد. لانگ[3] و همکاران (۲۰۲۰) روشی برای ارزیابی امتیاز کارایی فنی تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از روش بوت استرپ ارائه کردند. آنها در روش ارائه شده پیشرفت بالقوه‌ای را نسبت به مدل‌های مرسوم با استفاده از روش بوت استرپ توانستند مشاهده نمایند. ایشگین[4] و همکاران (۲۰۲۰)، یک روش تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر بوت استرپ دوگانه در مزارع کشت پنبه در کشور ترکیه ارائه دادند. آنها از روش بوت استرپ برای اصلاح کارایی تحت شرایط بازده به مقیاس ثابت و متغیر استفاده کردند. در این مقاله فاکتورهای اثرگذار بر اصلاح کارایی فنی با استفاده از بوت استرپ دوگانه تعیین می‌شوند. براساس نتایج بدست آمده از تحلیل بوت استرپ در این تحقیق نشان داده شده است که کشاورزان دارای امتیاز کارایی U شکل هستند. فیتزوآ و ماتولوآ[5] (۲۰۲۰)، در این مقاله مهم ترین وضعیت برای شناسایی کارایی بخش حمل و نقل عمومی ارائه دادند. آنها سیستم حمل و نقل عمومی در دو کشور اسلواکی و جمهوری چک که قوانین حمل و نقل مشابه دارند را با یکدیگر مقایسه می‌کنند. ابتدا یک تحلیل کارایی دو مرحله‌ای مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها و رگرسیون برای تخمین مرز تولید انجام شده است. به منظور نشان دادن استواری نتایج از تحلیل مرز آماری و روش بوت استرپ به منظور محاسبه

[1] Song & Li
[2] Yija
[3] Long
[4] Isgin
[5] Fitzova & Matulova

کارایی استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به اندازه کافی روش‌های به کار گرفته شده دارای استواری هستند. یان[1] و همکاران (۲۰۲۰)؛ کارایی اقتصادی را از طریق بوت استرپ محاسبه شده است. آنها ابتدا در این مقاله ناحیه کارایی اقتصادی از طریق یک تابع جهتی و روش فار-گورسکوف-لاول فرمول بندی کردند و سپس از طریق بوت استرپ به تحلیل آن پرداختند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که ارتقاء عملکرد تولید برای بهبود بهره وری زیست محیطی برای توسعه پایدار بسیار مهم است. بی‌بی[2] و همکاران (۲۰۲۱)، هدف از این مطالعه اندازه‌گیری و ارزیابی مطالعه مقایسه‌ای کارایی فنی و زیست محیطی بخش کشاورزی در جنوب آسیا با استفاده از داده‌های تابلویی متوازن برای دوره ۲۰۰۲-۲۰۱۶ است. رویکرد تحلیل مرز تصادفی ترانسلوگ برای تخمین کارایی فنی خروجی محور و کارایی محیطی ورودی محور استفاده شده است. شانگ[3] و همکاران (۲۰۲۲)، در این مطالعه مکانیسم تأثیرگذار تأثیر سرریز نوآوری فناوری سبز را بر همگرایی بهره‌وری محیط زیست شهری با تحلیل ریاضی با استفاده از مدل تحلیل پوششی داده‌ها بررسی کردند. برای این منظور، یک مدل SBM با خروجی‌های نامطلوب برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی شهرهای چین از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۸ پیشنهاد شده است. نتایج نشان می‌دهد که اگرچه تفاوت‌های فضایی زیادی در کارایی زیست‌محیطی شهری چین وجود دارد، کارایی کلی محیط‌زیست شهری به تدریج بهبود یافته است و اثر سرریز نوآوری فناوری سبز می‌تواند هم‌گرایی بهره‌وری محیط‌زیست شهری را ارتقاء دهد. یانگ[4] و همکاران (۲۰۲۳) در این مقاله یک روش جدید مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها برای کنترل مصرف بیش از حد منابع آلودگی هوا را توسعه می دهند که می تواند برای ارزیابی سیستم پیچیده چند سطحی برای نشان دادن کارایی توسعه سبز بین استانی در چین طی سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار بگیرد. گوکوز و یالچین[5] (۲۰۲۳) در این

[1] Yan
[2] Bibi
[3] Shang
[4] Yang
[5] Gokgoz & Yalcin

مطالعه کارایی انرژی و زیست محیطی کشورهای اتحادیه اروپا با استفاده از تکنیک‌های تحلیل پوششی داده‌های پیشرفته تجزیه و تحلیل شده است. برای این منظور، ابتدا این مطالعه کارایی انرژی را با استفاده از تکنیک بوت استرپ DEA بررسی می‌کند، که به مشکل نویز آماری می‌پردازد. علاوه بر این، کارایی محیطی و نوآوری زیست محیطی کشورهای اتحادیه اروپا را با استفاده از تکنیک دو مرحله‌ای DEA که یکی از مناسب‌ترین رویکردها برای مدل‌سازی خروجی‌های نامطلوب است، بررسی می‌کنند. براساس یافته‌های کارآیی زیست‌محیطی، کشورهای شمال اروپا در درجه اول کارآمدتر هستند در حالی که از نظر کارایی نوآوری در محیط زیست، آلمان به عنوان کشور برتر رتبه‌بندی شده است. اسدی[1] و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه خود یک مرز دوگانه برای سنجش کارایی واحدهای تحت ارزیابی در میان شعب بانک صادرات ارائه دادند. علاوه بر این، توانستند با ارائه یک مدل تحلیل پوششی داده‌های معکوس با تغییر در ورودی و خروجی مقدار کارایی واحدها را مشخص کردند. واسعی[2] و همکاران (۲۰۲۳)، در مطالعه خود یک چارچوب برای ارزیابی واحدهای تحت ارزیابی براساس مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارائه داده‌اند. آنها توانستند نشان دهند که مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل‌های پایه‌ای در مواجهه با تعیین واحدهای کارا بسیار مطلوب عمل می‌کند.

با توجه به بررسی مقالات متعدد، بیشتر مطالعات، مرتبط با پایداری بر روی مدیریت زنجیره تأمین متمرکز می‌باشد. در جدول (۱)، شاخص‌های اصلی و شاخص‌های فرعی برای پایداری به تفکیک مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱. طبقه‌بندی شاخص‌های اصلی و فرعی برای پایداری زنجیره تأمین

شاخص اصلی	ورودی یا خروجی	شاخص فرعی	توضیحات	مقالات مرتبط
اقتصادی	خروجی	بازگشت سرمایه محصولات	بازیابی منابع مالی سرمایه گذاری شده در وضعیت پایدار از طریق	(لی[3] و همکاران،

[1] Asadi
[2] Vaseei
[3] Li

شاخص اصلی	ورودی یا خروجی	شاخص فرعی	توضیحات	مقالات مرتبط
			فعالیت‌های مختلف مانند اتفاده مجدد، بازیافت، فروش ضایعات و مواد زائد	۲۰۱۸؛ ماتیواتانان[1] و همکاران، ۲۰۱۸)
	ورودی	سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه برای محصولات پایدار	مقداری از منابع مالی برای حمایت از تولید محصولات پایدار سرمایه گذاری شده است.	(کالیک و باردودین[2]، ۲۰۱۶؛ انصاری و کانت[3]، ۲۰۱۷)
	ورودی	طراحی محصول پایدار برای کاهش مواد مصرفی و هزینه	تلاش سازمان برای طراحی محصولات به منظور کاهش مواد مصرفی و هزینه‌ها	(ژائو[4] و همکاران، ۲۰۱۸؛ گویندا[5] و همکاران، ۲۰۱۶)
	خروجی	توانایی لجستیک سبز	قابلیت سازمان دهی به بسته بندی، برچسب گذاری و حمل و نقل محصولات به شیوه سازگار با محیط زیست	(لوترا و همکاران، ۲۰۱۷؛ گلینی[6] و همکاران، ۲۰۱۷)
محیطی	خروجی	طراحی محصول برای کاهش اثرگذاری بر محیط	طراحی محصول سازمان برای کاهش تأثیرات زیست محیطی از جمله استفاده از مواد سازگار با محیط زیست برای محصولات برای دفع آسانتر در پایان عمر	(انصاری و کانت، ۲۰۱۷؛ هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵)
	خروجی	پاسخ سریع به مشتریان و تقاضای بازار برای محصولات پایدار	پاسخ سریع سازمان به مشتریان و تقاضای بازار، آگاهی درباره مزایای استفاده از محصولات سازگار با محیط زیست و سبز	(طارق و همکاران، ۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران، ۲۰۱۷)
اجتماعی	خروجی	ارزش های فرهنگی و اجتماعی	ارزش ها و اعتقادات سازمان ها یا افراد که در آن سود جامعه بیش از منافع فردی است	(جیا[7] و همکاران، ۲۰۱۸؛ هوانگ[8] و همکاران، ۲۰۱۵)

[1] Mathivathanan
[2] Calik and Bardudeen
[3] Ansari and Kant
[4] Zhu
[5] Govindan
[6] Golini
[7] Jia
[8] Huang

در جدول (۲)، بخشی از متداول‌ترین شاخص‌های اقتصادی که در ادبیات وجود دارد، به تفکیک منابع مورد استفاده طبقه‌بندی شده است. با تأکید بیشتر بر مسائل زیست محیطی جهانی و افزایش آگاهی زیست محیطی، توجه به عملکرد محیطی در ارزیابی اساسی تأمین کننده افزایش پیدا کرده است.

جدول ۲. طبقه‌بندی معیارهای زیست محیطی

معیار	ورودی/ خروجی	توضیح	شاخص‌های مرتبط	منبع
هزینه/ قیمت	ورودی	هزینه نهایی برای خرید یک واحد از مواد خام یا محصول نیمه ساخته	هزینه محصول، هزینه لجستیکی، هزینه سفارش، هزینه موجودی، هزینه گارانتی، هزینه نگهداری، هزینه ساخت	(هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کنان[1]، ۲۰۱۸)
کیفیت	خروجی	عملکرد مواد خریداری شده برای تأمین یا تجاوز از الزامات و انتظارات تعیین شده در خدمات یا محصولی که به آن متعهد شده‌اند.	سیستم کیفیت ISO، عملکرد محصول، نرخ تعمیر و بازگشت محصول	(توانا و همکاران، ۲۰۱۷؛ کائو و همکاران،۲۰۱۰)
تطابق با تکنولوژی	خروجی	مجموع دانش یک شرکت در حمایت از نوآوری و فناوری	تسهیلات تولیدی، سازگاری فناوری	(بویوکوزکان و سیفچی[2]، ۲۰۱۱؛ ساویک[3]، ۲۰۱۶)
ظرفیت تولید	ورودی	توانایی منابع انسانی، مالی و مادی مربوط به ساخت محصول	راه‌اندازی محصولات جدید، ظرفیت عرضه، مزیت محصول، امکانات تولید	گوارنیری[4] و همکاران (۲۰۱۵)
سازگاری مالی	خروجی	سرمایه لازم برای نگهداری طبیعی فعالیت‌های کسب و کار در یک دوره معین زمانی	تحلیل سود و هزینه، تحلیل روند سود و فروش، سود پرداخت شده	هسو[5] و همکاران (۲۰۱۲)

[1] Kannan
[2] Buyukozkan &Cifci
[3] Sawik
[4] Guarnieri
[5] Hsu

معیار	ورودی/ خروجی	توضیح	شاخص‌های مرتبط	منبع
تحویل	ورودی	قابلیت حمل کالا از یک مکان به یک مقصد از پیش تعیین شده	موعد تحویل، تحویل بموقع، قابلیت تحویل، تحویل ایمن	(سارکیس[1] و همکاران، ۲۰۱۵؛ لی و همکاران، ۲۰۰۹)

در جدول (۳)، شاخص‌های محیطی که در تحقیقات گذشته به‌طور گسترده در ادبیات زنجیره تأمین پایدار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نشان داده شده است.

جدول ۳. طبقه‌بندی معیارهای زیست محیطی

معیار	ورودی یا خروجی	توضیح	شاخص مرتبط	منابع
تصویر سبز	خروجی	هویتی که مصرف کنندگان حافظ محیط زیست را در اولویت خود دارند	مشتریان سبز بازار، مواد سبز	(آواستی و همکاران[2]،۲۰۱۰؛ هامفریس و همکاران،۲۰۰۳)
مدیریت محیطی سیستم	خروجی	سیستمی که عملکرد داخلی و خارجی یک سازمان را به‌طور جامع ارزیابی می‌کند	گواهی‌نامه‌های محیطی مثل ISO 14000، برنامه‌ریزی-های فرآیند سبز، سیاست‌های محیطی	(هامفریس و همکاران،۲۰۰۳؛ یه و همکاران[3]،۲۰۱۱)
کنترل آلودگی	خروجی	کنترل آلودگی هایی که در هواف آب یا خاک رها شود	قابلیت کنترل آلودگی، قابلیت کاهش آلودگی	(تسنگ و همکاران[4]،۲۰۱۱؛ گریم و همکاران[5]،۲۰۱۴)
محصول سبز	خروجی	محصولات سازگار با محیط زیست که عاری از آلودگی، صرفه جویی در منابع تجدیدپذیر و قابل بازیافت هستند	بسته بندی سبز قابل استفاده مجدد	ارگوت[6](۲۰۱۱)

[1] Sarkis
[2] Awasthi
[3] Yeh
[4] Tseng
[5] Grimm
[6] Ehrgott

در جدول (۴)، شاخص‌های اجتماعی که در تحقیقات گذشته بطور گسترده در ادبیات زنجیره تأمین پایدار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نشان داده شده است.

جدول ۴. طبقه‌بندی معیارهای اجتماعی

معیار	ورودی یا خروجی	توضیح	شاخص مرتبط	منابع
حقوق ذینفعان	ورودی	حق یا رفاه متعلق به شخصی که سهام یا برخی منافع مربوط را در بخش خصوصی در اختیار دارد	میزان سهام، توانمندسازی ذینفعان، آموزش مصرف کنندگان	(گویندا و همکاران، ۲۰۱۳؛ امین دوست و همکاران، ۲۰۱۲)
آموزش کارکنان	ورودی	فرآیند افزایش مهارت‌ها، توانایی‌ها و دانش کارکنان برای یک کار خاص	فرصت‌های شغلی، پیشرفت شغلی	(امین دوست و همکاران، ۲۰۱۲؛ زیمر[1] و همکاران، ۲۰۱۶)
افشای اطلاعات	ورودی	ارائه اطلاعات به ذینفعان در خصوص موارد استفاده شده و سموم آزاد شده در حین تولید و غیره	افشای داوطلبانه و یا افشای عمومی	کوپر(۲۰۰۵)

۳- روش تحقیق

در این بخش از تحقیق به معرفی به نوع روش تحقیق، جامعه و نمونه آماری، ابزار گردآوری داده‌ها، روایی و پایایی، روش تجزیه و تحلیل اطلاعات اشاره شده است. برای این منظور، نوع روش تحقیق در مطالعه حاضر کاملا کمی است و در زمره استفاده از مدل‌های ریاضی می‌باشد. برای تحقق این هدف از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در محاسبه امتیاز کارایی واحدهای تحت ارزیابی استفاده می‌شود. جامعه تحقیق شرکت‌های تولید رب گوجه فرنگی فعال در داخل کشور است که تعداد ۲۵ شرکت برای اجرای مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. کلیه داده‌های این تحقیق براساس اطلاعات مندرج در مقاله بدیعی زاده و همکاران (۲۰۱۷) استخراج شده است. ایده اصلی روش تخمین ارزیابی عملکرد و محصولات پایدار از طریق شبیه سازی بوت استرپ، شبیه‌سازی عددی داده‌های واقعی و محاسبه کارایی داده‌های شبیه‌سازی شده است. در شکل (۱) عملکرد روش به طور خلاصه

[1] Zimmer

نشان داده شده است. برای جزئیات مدل پیشنهادی، مراحل تجزیه و تحلیل اطلاعات به صورت زیر در نظر گرفته شده است.

مرحله اول: برای هر DMU که دارای X_k ورودی و Y_k خروجی است با استفاده از یک مدل مناسب DEA با توجه به ماهیت و شکل ساختاری اصلی سیستم امتیاز کارایی $\hat{\theta}_k$ را به دست می‌آوریم. در این تحقیق فرض می شود با کاهش در برخی ورودی‌های خاص (دسته ورودی‌های مدیریتی) طبق فرض سنتی در تحلیل پوششی‌داده‌ها، خروجی‌های مطلوب افزایش داده شود. همچنین، ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر را که تحت کنترل مدیریت نیستند در سطح موجود خود نگه داشته می‌شود. به منظور ارزیابی تحلیل پوششی داده‌ها در این تحقیق J واحد تحت ارزیابی DMU در نظر گرفته شده است. هر DMU_j که $j = 1, \dots, J$ است، دارای m ورودی $X_j = x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj}$ مصرف می‌کند تا r خروجی مطلوب $Y_j = y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{rj}$ تولیدکند. بر طبق طبقه‌بندی سویوشی و گوتو[1](۲۰۱۰) ورودی‌ها را در دو دسته مدیریت‌پذیر و غیرمدیریت‌پذیر طبقه‌بندی می‌کنیم. ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر $x_{pj}^N (p = 1, \dots, P)$ شامل مواردی هستند که برای ایجاد خروجی ثابت باقی بمانند زیرا در غیر اینصورت میزان خروجی نامطلوب افزایش می‌یابد. در جدول ۶ طبقه‌بندی ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر نشان داده شده است. همچنین، ورودی‌های مدیریت پذیر $x_{qj}^M (q = 1, \dots, Q)$ شامل مواردی هستند که قادرند به منظور از بین بردن خروجی‌های نامطلوب و به طور همزمان برای افزایش خروجی‌های مطلوب بهبود یابند. بنابراین، طبق فرض سنتی تحلیل پوششی داده‌ها با آنها رفتارکرده و به دنبال کاهش در مقدار آنها خواهیم بود. در جدول ۶ طبقه بندی ورودی‌های مدیریت‌پذیر نشان داده شده است. بنابراین، با تعاریف ذکر شده، تکنولوژی جدید این امکان را دارد که با رعایت موارد فوق قادر باشد اولا ورودی‌های مدیریت‌پذیر را در راستای بهبود خروجی‌ها بر طبق اصل دسترسی‌پذیری مدیریتی تغییر دهد و همچنین اگر نمی‌توان ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر را براساس اصل دسترسی

[1] Sueyoshi and Goto

پذیری طبیعی کاهش داد حداقل در ســـطح موجود آن نگهدارد. بنابراین، در ســـاخت تکنولوژی جدید از طریق افزایش خروجی مطلوب ریال کاهش ورودی مدیریت‌پذیر و همچنین ثابت نگهداشتن ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر می توانیم به واحد کارا برسیم. در جدول (۵) کلیه اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسأله در حالت کلی تعریف شده است.

جدول ۵. نمادگذاری

نماد	توضیحات
$\boldsymbol{P}$	مجموعه ورودی‌های غیرمدیریت پذیر
$\boldsymbol{Q}$	مجموعه ورودی‌های مدیریت پذیر
$\boldsymbol{R}$	مجموعه خروجی‌های مطلوب
$\boldsymbol{w}$	مجموعه خروجی‌های نامطلوب
$\boldsymbol{J}$	مجموعه DMUها (واحدهای تحت ارزیابی یا همان‌کشورها)
$\boldsymbol{x_{qj}^{M}}$	ورودی مدیریتی qام DMUj
$\boldsymbol{x_{pj}^{N}}$	ورودی غیرمدیریتی pام DMUj
$\boldsymbol{y_{rj}}$	خروجی مطلوب rام DMUj
$\boldsymbol{y_{wj}}$	خروجی نامطلوب wام DMUj
$\boldsymbol{\lambda_j}$	قیمت سایه ورودی و خروجی‌های DMUj
$\boldsymbol{\Theta}$	مقدار تابع هدف (ضریب تعدیل ورودی‌ها)

در اینصورت با رعایت موارد فوق تکنولوژی جدید برای ساخت ناحیه شدنی به صورت معادلات ۱ تا ۵ فرمول‌بندی می‌شود.

$$\min \theta \qquad (۱)$$

$$(X^N, X^m, Y, W): \sum \lambda_j x_{pj}^N = x_{pk}^N \qquad (۲)$$

$$\sum \lambda_j x_{qj}^M \leq \theta x_{qk}^M \qquad (۳)$$

$$\sum \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk} \qquad (۴)$$

$$\sum \lambda_j y_{wj} = y_{wk} \qquad (۵)$$

$$p = 1, \dots, P; q = 1, \dots, Q; r = 1, \dots, R; w = 1, \dots, W$$

در رابطه (۱) تابع هدف بدست آوردن حداقل مقدار ورودی‌ها برای قرار گرفتن روی مرز کارایی می‌باشد. رابطه (۲)، معادله اول $\sum \lambda_j x_{pj}^N = x_{pk}^N$ مربوط به ورودی‌های

غیرمدیریت‌پذیر است و بیان می‌کند اگر طبق اصل دسترسی پذیری طبیعی نمی‌توان ورودی‌های غیرمدیریت‌پذیر را کاهش داد حداقل در سطح موجود آن نگهداشت. رابطه ۳ نامعادله دوم، $\sum \lambda_j x_{qj}^{M} \leq \theta x_{qk}^{M}$ مربوط به ورودی‌های مدیریت‌پذیر دسترسی پذیری مدیریتی است. این محدودیت به این معنی است که کاهش در بردار ورودی‌ها، در جهت افزایش خروجی‌های مطلوب و کاهش همزمان خروجی‌های نامطلوب طبق فرض سنتی تحلیل پوششی‌داده‌ها است. نامعادله (۴)، $\sum \lambda_j y_{rj} \geq y_{rk}$ منعکس کننده دسترسی پذیری قوی برای خروجی‌های مطلوب در ناحیه شدنی است. معادله (۵)، $\sum \lambda_j y_{wj} = y_{wk}$ تضمین می‌کند که خروجی نامطلوب در صورتی که توانایی کاهش در آن وجود ندارد، در سطح موجود باقی بماند.

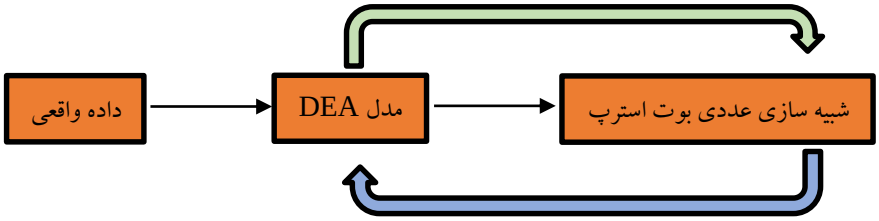
مرحله دوم: با استفاده از مقدار $\widehat{\boldsymbol{\theta}}_{\boldsymbol{k}}$ برای هر DMU با استفاده از بوت استرپ، امتیاز کارایی تصادفی $\theta_{1b}^{*}, \dots, \theta_{nb}^{*}$ محاسبه می‌شود.

مرحله سوم: مقدار شبیه سازی را برای (X_{kb}, Y_{kb}) را به صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$X_{kb} = \left(\hat{\theta}_k \Big/ \theta_{nb}^{*}\right).X_k \quad , Y_{kb} = \left(\hat{\theta}_k \Big/ \theta_{nb}^{*}\right).Y_k$$

مرحله چهارم: برای هر نمونه شبیه‌سازی شده مجددا باید روش DEA را برای محاسبه امتیاز کارایی θ_{bk}^{*} بکار بگیریم.

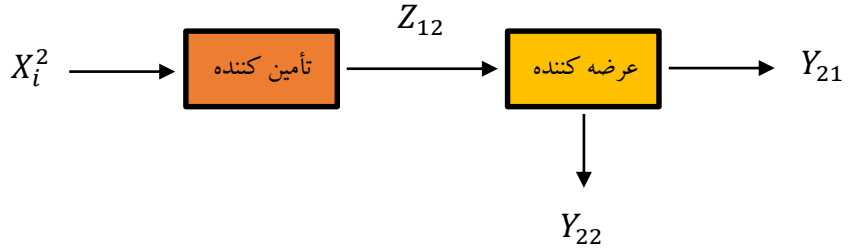
مرحله پنجم: با تکرار مراحل دوم تا چهارم به اندازه B مرتبه، ما با یک گروه از امتیاز تخمین زده شده θ_{bk}^{*} روبرو خواهیم بود.



شکل ۱. نحوه عملکرد روش شبیه سازی بوت استرپ (سونگ و لی، ۲۰۱۹)

۴- نتایج عددی تحقیق

در این قسمت، یک مثال کاربردی برای تحلیل و بررسی بیشتر رویکرد معرفی شده در نظر گرفته شده است. برای این منظور یک زنجیره تأمین ایرانی رب گوجه فرنگی بر طبق مطالعه بدیعی زاده و همکاران (۲۰۱۷) می‌باشد. ۲۵ شرکت تولیدی رب گوجه فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفته است. جدول ۷، فاکتورها و نمادهای مورد استفاده شده را نشان می‌دهد. داده‌های این جدول براساس اطلاعات مندرج در مطالعه بدیعی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) می‌باشد. ساختار زنجیره تأمین درنظر گرفته شده نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مثال، ما با یک زنجیره تأمین چندگانه سر و کار داریم. در مرحله (۱) تأمین کننده، در مرحله (۲) عرضه کننده قرار دارد. ورودی مرحله تأمین کننده هزینه خرید مواد به عنوان فاکتور اقتصادی، هزینه رفاهی کارکنان به عنوان فاکتور اجتماعی در نظر گرفته شده است. در شکل ۲، بردار ورودی که وارد مرحله اول می‌شود را با x_i^2 نشان می‌دهیم. z_{12}، رضایت شغلی کارکنان بردار خروجی است که از مرحله (۱) خارج می‌شود و به عنوان بردار ورودی وارد مرحله (۲) می‌شود. این متغیر به عنوان متغیر میانی شناخته می‌شود. این بردار زمانی که به عنوان بردار ورودی در نظر گرفته می‌شود به عنوان ورودی غیرمدیریت‌پذیر شناخته می‌شود. متغیرهای خروجی نامطلوب از طریق Y_{22} در مرحله دوم نشان داده شده است. آلودگی‌های زیست محیطی ناشی از فعالیت کارخانجات به عنوان عامل خروجی نامطلوب در نظر گرفته شده است. Y_{21} خروجی نهایی سیستم می‌باشند. داده‌ها در جدول (۶) نشان داده شده است.



شکل ۲. ساختار زنجیره تأمین ایرانی رب گوجه فرنگی

جدول ۶. داده‌های واقعی

DMU	زنجیره تأمین	ورودی‌ها		میانی	خروجی	
		X_1	X_2	Z_{12}	Y_{21}	Y_{22}
۱	اویلا	۰/۸۳	۰/۵۹	۰/۶۲	۰/۸۳	۰/۷۹
۲	دلند	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۶۲
۳	سحر	۰/۸۲	۰/۷۴	۰/۴۵	۰/۴۵	۰/۹۶
۴	کامبیز	۰/۹۲	۰/۸۹	۰/۶۸	۰/۸۳	۰/۹۹
۵	محسن	۰/۸۴	۰/۷۴	۰/۷۴	۰/۷۳	۰/۹۶
۶	اروم آدا	۰/۸۷	۰/۵۷	۰/۹۱	۱	۰/۹۵
۷	روژین	۰/۷۳	۱	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۸۹
۸	مهرام	۰/۹۴	۰/۶۷	۱	۰/۶۴	۰/۹۴
۹	چین چین	۱	۰/۷۶	۰/۶۱	۰/۸۶	۱
۱۰	تبرک	۰/۷۴	۰/۹۱	۰/۶۶	۰/۶۶	۰/۷۹
۱۱	کمالان	۰/۶۲	۰/۴۵	۰/۵۲	۰/۸۳	۰/۶۹
۱۲	سرخ آبی	۰/۶۵	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۸۶	۰/۵۲
۱۳	زشک	۰/۶۷	۰/۸۹	۰/۶۵	۰/۶۸	۰/۸۶
۱۴	یک و یک	۰/۹۷	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۶۳	۰/۸۹
۱۵	نازچین	۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۷۴	۰/۷۸	۰/۴۵
۱۶	آتا	۰/۷۵	۰/۵۶	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۷۵
۱۷	خوشاب	۰/۸۹	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۵۹
۱۸	خوشاب	۰/۶۹	۰/۵۶	۰/۷۸	۰/۷۴	۰/۷۴
۱۹	یارا	۰/۷۸	۰/۷۶	۰/۸۱	۰/۶۶	۰/۶۵
۲۰	مجید	۰/۷۹	۰/۸۱	۰/۵۶	۰/۶۶	۰/۵۹
۲۱	قدس	۰/۶۸	۰/۴۹	۰/۶۲	۰/۷۳	۰/۷۹
۲۲	تارا	۰/۸۶	۰/۸۳	۰/۶۵	۰/۷۶	۰/۵۲
۲۳	طبیعت	۰/۷۸	۰/۸۴	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۷۶
۲۴	دلپذیر	۰/۶۹	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۶۳	۰/۸۹
۲۵	طراوت	۰/۸۴	۰/۶۴	۰/۶۴	۰/۵۸	۰/۵۶

براساس نتایج بدست آمده از کارایی کلی و مرحله‌ای در این زنجیره تأمین که در جدول ۸ نشان داده شده است، DMU1، DMU2، DMU6، DMU7، DMU11، DMU12، DMU16، DMU17، DMU18، DMU21، DMU22 و DMU24 کارای کلی شبکه هستند. نظر به اینکه در میان واحدهای کارای شناخته شده، واحدهایی وجود دارند که در مرحله اول یا دوم ناکارا هستند، ولی مدل آنها را کارای کلی شناسایی کرده است نگرانی‌هایی در خصوص شناسایی واحدهای کاملا کارا احساس می‌شود. زیرا استدلال ما بر این است که با توجه به عدم کارایی برخی از DMUها در مراحل اول و دوم شبکه، این واحدها کارا محسوب نمی‌شوند. برای مثال DMU1 که در مرحله اول کارا است ولی در مرحله دوم ناکارا است را به طور کلی نمی‌توان در مجموعه DMUهای کارا قرار داد. بنابراین، با استفاده از میانگین کارایی مرحله اول و مرحله دوم، یک مقدار کارایی برای مقدار بوت استرپ در نظر می‌گیریم تا با استفاده از آن مقدار ورودی‌ها و خروجی‌ها را طبق مرحله سوم روش پیشنهادی به دست آوریم. مقدار کارایی بوت استرپ حاصل از میانگین کارایی مرحله اول و دوم در ستون آخر جدول (۷)با نماد θ_{nb}^{*} نشان داده شده است.

جدول ۷. محاسبه امتیاز کارایی کلی و هر مرحله

DMU	کارایی کلی $\widehat{\theta}_k$	کارایی مرحله اول $\widehat{\theta}_{k1}$	کارایی مرحله دوم $\widehat{\theta}_{k2}$	کارایی بوت استرپ θ_{nb}^{*}
۱	۱	۱	۰/۸۲	۰/۹۱
۲	۱	۱	۱	۱
۳	۰/۹۸	۱	۰/۷۸	۰/۸۹
۴	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۷۲	۰/۸۱
۵	۰/۸۲	۰/۸۲	۰/۷۲	۰/۷۷
۶	۱	۱	۱	۱
۷	۱	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۹۰
۸	۰/۶۷	۰/۶۱	۱	۰/۸۰
۹	۰/۷۴	۱	۰/۶۴	۰/۸۲
۱۰	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۸۸	۰/۹۰

DMU	کارایی کلی $\widehat{\theta}_k$	کارایی مرحله اول $\widehat{\theta}_{k1}$	کارایی مرحله دوم $\widehat{\theta}_{k2}$	کارایی بوت استرپ θ^*_{nb}
۱۱	۱	۱	۱	۱
۱۲	۱	۱	۱	۱
۱۳	۰/۹۸	۰/۹۴	۰/۹۷	۰/۹۵
۱۴	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۹۷	۰/۸۷
۱۵	۰/۶۸	۱	۰/۸۴	۰/۹۲
۱۶	۱	۰/۸۷	۰/۹۳	۰/۹۰
۱۷	۱	۱	۰/۷۸	۰/۸۹
۱۸	۱	۰/۷۹	۱	۰/۸۹
۱۹	۰/۹۶	۰/۶۴	۰/۹۲	۰/۷۸
۲۰	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۸۰	۰/۸۶
۲۱	۱	۱	۰/۹۹	۰/۹۹
۲۲	۱	۱	۰/۷۶	۰/۸۸
۲۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۸۴	۰/۸۹
۲۴	۱	۰/۷۸	۱	۰/۸۹
۲۵	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۷۸	۰/۷۹

با استفاده از کارایی بوت استرپ محاسبه شده مقدار ورودی و خروجی تصادفی بوت استرپ را براساس جدول (۸) محاسبه می‌نماییم تا مجددا مقدار کارایی کلی و نهایی واحدهای تحت ارزیابی را محاسبه نماییم.

جدول ۸. داده‌های تصادفی مبتنی بر بوت استرپ

DMU	زنجیره تأمین	ورودی‌ها		میانی	خروجی	
		X_1	X_2	Z_{12}	Y_{21}	Y_{22}
۱	اویلا	۰/۹۱	۰/۵۴	۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۲
۲	دلند	۰/۷۵	۰/۷۳	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۶۲
۳	سحر	۰/۹۲	۰/۸۳	۰/۳۷	۰/۳۷	۰/۳۶
۴	کامبیز	۱/۰۳	۰/۹۲	۰/۶۳	۰/۵۲	۰/۵۱
۵	محسن	۰/۹۳	۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۵۰	۰/۴۸
۶	اروم آدا	۰/۸۷	۰/۵۷	۰/۹۱	۱	۰/۹۵
۷	روژین	۰/۸۱	۱/۱۱	۰/۷۵	۰/۲۸	۰/۲۵

DMU	زنجیره تأمین	ورودی‌ها		میانی	خروجی	
		X_1	X_2	Z_{12}	Y_{21}	Y_{22}
۸	مهرام	۱/۷۵	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۸۰	۰/۳۲
۹	چین چین	۱	۰/۷۶	۰/۶۱	۰/۸۶	۱
۱۰	تبرک	۰/۶۵	۰/۸۰	۰/۵۸	۰/۴۲	۰/۶۹
۱۱	کمالان	۰/۶۲	۰/۴۵	۰/۵۲	۰/۸۳	۰/۶۹
۱۲	سرخ آبی	۰/۶۵	۰/۸۷	۰/۶۵	۰/۸۶	۰/۵۲
۱۳	زشک	۰/۵۵	۰/۸۴	۰/۱۷	۰/۶۹	۰/۷۳
۱۴	یک و یک	۰/۷۸	۰/۹۸	۰/۳۲	۰/۵۶	۰/۴۶
۱۵	نازچین	۰/۶۹	۰/۵۸	۰/۳۹	۰/۷۹	۰/۶۲
۱۶	آتا	۰/۸۵	۰/۶۵	۰/۴۷	۰/۵۸	۰/۴۶
۱۷	خوشاب	۰/۷۹	۰/۷۴	۰/۶۸	۰/۳۹	۰/۴۹
۱۸	خوشاب	۰/۴۶	۰/۶۸	۰/۴۹	۰/۶۹	۰/۴۶
۱۹	یارا	۰/۴۶	۰/۳۹	۰/۷۴	۰/۶۲	۰/۳۹
۲۰	مجید	۰/۴۹	۰/۷۱	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۷۸
۲۱	قدس	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۶۹	۰/۴۸
۲۲	تارا	۰/۷۹	۰/۷۸	۰/۵۵	۰/۶۳	۰/۴۲
۲۳	طبیعت	۰/۶۵	۰/۷۴	۰/۵۵	۰/۶۹	۰/۴۶
۲۴	دلپذیر	۰/۵۹	۰/۸۹	۰/۵۶	۰/۳۶	۰/۷۹
۲۵	طراوت	۰/۲۵	۰/۳۵	۰/۷۹	۰/۶۹	۰/۴۸

با ملحوظ داشتن داده‌های تصادفی حاصل شده مبتنی بر بوت استرپ، کارایی کلی و مرحله‌ای زنجیره تأمین مجددا محاسبه شده است. طبق نتایج نشان داده شده در جدول(۹)، در این حالت تنها واحدهایی کارای کلی شناخته شده‌اند که در هر دو مرحله کارا بوده‌اند. بنابراین فقط DMU2، DMU6 و DMU12 کارا محسوب می‌شوند.

جدول ۹. محاسبه امتیاز کارایی کلی و مرحله‌ای مبتنی بر بوت استرپ

DMU	کارایی کلی $\hat{\theta}_k$	کارایی مرحله اول $\hat{\theta}_{k1}$	کارایی مرحله دوم $\hat{\theta}_{k2}$
۱	۰/۸۹	۱	۰/۸۲
۲	۱	۱	۱
۳	۰/۹۱	۱	۰/۷۸
۴	۰/۹۰	۰/۹۰	۰/۷۲

DMU	کارایی کلی $\hat{\theta}_k$	کارایی مرحله اول $\hat{\theta}_{k1}$	کارایی مرحله دوم $\hat{\theta}_{k2}$
۵	۰/۸۲	۰/۹۰	۰/۷۲
۶	۱	۱	۱
۷	۰/۷۷	۰/۹۰	۰/۹۰
۸	۰/۷۸	۰/۶۱	۱
۹	۰/۷۵	۱	۰/۶۴
۱۰	۰/۹۳	۰/۹۲	۰/۸۸
۱۱	۰/۸۴	۰/۶۴	۰/۷۸
۱۲	۱	۱	۱
۱۳	۰/۷۷	۰/۹۴	۰/۹۷
۱۴	۰/۷۸	۰/۷۸	۰/۹۷
۱۵	۰/۶۵	۱	۰/۸۴
۱۶	۰/۵۵	۰/۸۷	۰/۹۳
۱۷	۰/۶۸	۱	۰/۷۸
۱۸	۰/۶۴	۰/۷۹	۱
۱۹	۰/۹۶	۰/۶۴	۰/۹۲
۲۰	۰/۹۳	۰/۹۳	۰/۸۰
۲۱	۰/۸۲	۱	۰/۹۹
۲۲	۰/۷۴	۱	۰/۷۶
۲۳	۰/۹۴	۰/۹۴	۰/۸۴
۲۴	۰/۸۹	۰/۷۸	۱
۲۵	۰/۸۸	۰/۸۱	۰/۷۸

۵- بحث و نتیجه گیری

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتری برای محاسبه کارایی واحدهای تحت ارزیابی است که فعالیت یکسانی انجام می‌دهند. مرز بدست آمده از این روش یک مرز نسبی قابل دسترس در دنیای واقعی است. درست برخلاف روش پارامتری که در آن واحدها نسبت به یک مرز سنجیده می‌شوند که عموما در دنیای واقعی، غیرقابل دسترس است. کارایی بدست آمده از این روش یک مقدار نسبی و نه مقدار واقعی است. به عبارت دیگر کارایی بدست آمده از این روش برآوردی از مقدار کارایی است. به‌دلیل نامشخص بودن توزیع

جامعه میزان دقت کارایی برآورده شده مورد سوال قرار می‌گیرد. تحلیل پوششی داده‌ها ابزار قدرتمندی برای محاسبه کارایی است. با این وجود حساسیت مدل‌های آن به تغییر نمونه سبب کاهش اطمینان به مقادیر کارایی‌های بدست آمده از این روش می‌شود. مدیریت زنجیره تأمین پایدار در سال‌های گذشته توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در میان روش‌های ارزیابی مدیریت زنجیره تأمین پایدار، تحلیل پوششی داده‌ها روشی مناسب برای ارزیابی است، زیرا تحلیل پوششی داده‌ها یک از مؤثرترین روش‌ها برای ارزیابی عملکرد نهادها است. این رویکرد نیازمند هیچ تصمیم گیرنده‌ای نیست که مقادیر وزنی اختصاص یافته به شاخص‌ها را توصیف کند و نه تنها شاخص‌های وزن به طور مستقیم از داده‌های موجود در تحلیل پوششی داده‌ها به دست می‌آید، بلکه این روش قادر است بین ارقام معیارها بر اساس نمره کارایی تمایز ایجاد کند و همچنین منابع و مقادیر ناکارآمد واحدهای تحت ارزیابی ناکارآمد را شناسایی کند. عیب عمده مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها این است که خاصیت فراتخمینی مرز کارایی دارند. از این رو، در این مقاله با استفاده از فرآیند شبیه سازی بوت استرپ برای بالا بردن دقت کارایی برآورده شده استفاده شده است. برای نشان دادن روش پیشنهادی، یک مورد مطالعاتی واقعی در شبکه زنجیره تأمین رب گوجه فرنگی در نظر گرفته شده است. بر طبق نتایج، دقت روش به کارگرفته شده نشان داده شده است. در مقایسه با مطالعه بدیهی زاده و همکاران (۲۰۱۷) تعداد واحدهای کارای شناسایی شده تحت چارچوب پیشنهادی کمتر است. در صورتی که چنین اتفاقی رخ دهد می‌توانیم نتیجه بگیریم که مدل پیشنهادی قابلیت دقت محاسباتی بالایی دارد. زیرا مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها از خاصیت فراتخمینی طبعیت می‌کنند. همچنین، این نتیجه در مقایسه با تعداد واحدهای کارای شناسایی شده در مطالعه سانگ و لی (۲۰۱۹)؛ شانگ و همکاران (۲۰۲۲) نیز رخ داده است. زیرا، در این مطالعه برای محاسبه امتیاز کارایی از خاصیت شبکه‌ای بودن استفاده شده است که در مطالعات یاد شده این خاصیت در نظر گرفته نشده است. این تحقیق برای مدیران کاربردهای مختلفی دارد برای مثال، با استفاده از تحلیل پوششی

داده‌های شبکه‌ای، روابط و ارتباطات بین عوامل مختلف زنجیره تأمین را شناسایی می‌کنیم. این تحلیل می‌تواند به تحلیل‌گران کمک کند تا نقاط ضعف و قوت در زنجیره تأمین را شناسایی کرده و بهبودهای لازم را اعمال نمایند. با استفاده از شبیه‌سازی بوت استرپ، مدل‌های زنجیره تأمین پایدار را ایجاد می‌نماییم و عملکرد آن‌ها را بررسی می‌کنیم. این شبیه‌سازی می‌تواند به ما کمک کند تا اثرات تغییرات مختلف در زنجیره تأمین را بررسی کنیم و راهکارهای بهبود را تجربه نماییم. علاوه بر این، با استفاده از داده‌ها و نتایج حاصل از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و شبیه‌سازی بوت استرپ، عملکرد زنجیره تأمین را ارزیابی نماییم. از معیارهای مختلفی مانند کارایی، پایداری، امنیت و هزینه استفاده کنید تا عملکرد زنجیره تأمین را بهبود بخشید. این نتیجه برای مطالعات آینده پیشنهاداتی از سوی نویسندگان به تحلیلگران پیشنهاد می‌شود. برای مثال، برخلاف این تحقیق که امتیازهای کارایی در شرایط محدب مورد بررسی قرار گرفته است، مقدار امتیاز کارایی را در شرایط نامحدب به دست بیاورند و نتایج را با یکدیگر مورد مقایسه قرار دهند.

منابع

Abolghasemian, M. & Darabi, H. (2018). Simulation based optimization of haulage system of an open-pit mine: Meta modeling approach. *Organizational resources management researchs*, 8(2), 1-17.

Abolghasemian, M. & Ghane Kanafi, A. & Daneshmandmehr, M. (2020). A two-phase simulation-based optimization of hauling system in open-pit mine. *Iranian journal of management studies*, 13(4), 705-732.

Abolghasemian, M. & Kanafi, A.G. & Daneshmand-Mehr, M. (2022). Simulation-based multiobjective optimization of open-pit mine haulage system: a modified-NBI method and meta modeling approach. *Complexity*, 2022.

Amindoust, A. & Ahmed, S. & Saghafinia, A. & Bahreininejad, A. (2012). Sustainable supplier selection: A ranking model based on fuzzy inference system. Appl. *Soft Comput*. 12, 1668–1677.

Amiri, H. & Raissafari, M. (2005). The Efficiency of Commercial Banks in Iran. *Journal of Iran's Economic Essays (JIEE)*, 2(3), 97-142. (in Persian)

Ansari, Z.N. & Kant, R. (2017). A State-of-Art Literature Review Reflecting 15 Years of Focus on Sustainable Supply Chain Management. *Journal of Cleaner Production*, 142, 2524–2543.

Asadi, F. & Kordrostami, S. & Amirteimoori, A. & Bazrafshan, M. (2023). Inverse data envelopment analysis without convexity: double frontiers. *Decisions in Economics and Finance*, 46(1), 335-354.

Asadia, F. & Abolghasemianb, M. (2018). Review coordination of advertising policy and its effect on competition between retailer and manufacture in the supply chain. *Computational Research Progress in Applied Science and Engineering*, 4(3), 62-66.

Awasthi, A. & Chauhan, S.S. & Goyal, S.K. (2010). A fuzzy multi criteria approach for evaluating environmental performance of suppliers. *Int. J. Prod. Econ*. 126, 370–378.

Badiezadeh, T. & Farzipoor, R. Samavati, T. (2017). Assessing sustainability of supply chain by double frontier network DEA: A big data approach, *Computer and operation research*, 1-17.

Behari, A. & Hosseini, N. & Habibinia, Q.S. (2013). Using the bootstrap simulation process to estimate the non-parametric efficient production frontier, investigating the problems in the process presented in Saeed Ebadi's article. *Journal of Operations Research and its Applications*, 10(2), 113-135. (in Persian)

Bibi, Z. & Khan, D. & Haq, I.U. (2021). Technical and environmental efficiency of agriculture sector in South Asia: A stochastic frontier analysis approach. *Environment, Development and Sustainability*, 23, 9260-9279.

Buyukozkan, G. & Cifci, G. (2011). A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. *Comput. Ind*. 62, 164–174.

C.H.; Wang, F.K. & Tzeng, G.H. (2012). The best vendor selection for conducting the recycled material based on a hybrid MCDM model combining DANP with VIKOR. *Resour. Conserv. Recycl*., 66, 95–111.

Calik, E. & Bardudeen, F. (2016). A Measurement Scale to Evaluate Sustainable Innovation Performance in Manufacturing Organizations. *Procedia CIRP*, 40, 449–454.

Chen, C. & Zhu, J. & Yu, J. & Noori, H. (2012). A new methodology for evaluating sustainable product design performance with two-stage network data envelopment analysis, European *Journal of operational Research*, 221, 348-359.

Chiou, Y.C. & Chen, Y.H. (2006). Route-based performance evaluation of Taiwanese domestic airlines using data envelopment analysis, *Transportation research*, 42(2), 116-127.

Cook, W.D. & Green, R.H. (2005). Evaluating power plant efficiency: a hierarchical model. *Computers & Operations Research,* 32(4), 813–823.

Cooper, W.W. & Seiford, L.M. & Tone, K. (2005). Introduction to data envelopment analysis and its uses: with DEA-solver software and references. *Springer.*

Ding, G. (2007). Developing a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance, *Building Research and Information*, 33(1), 3-16.

Ebadi, S. (2011). A method for ranking performance scores using bootstrap, *Journal of Applied Mathematics, Lahijan Unit,* 8(2), 29-44. (in Persian)

Efron, B. (1979). Bootstrap methods: another look at the jackknife, *annals of statistics*, 7-16.

Efron, B. & Tibishirani, R.J. (1993). An introduction to the bootstarp, London: chapman and Hall.

Ehrgott, M. & Reimann, F. & Kaufmann, L. & Carter, C.R. (2011). Social Sustainability in Selecting Emerging Economy Suppliers. *J. Bus. Ethics*. 98, 99–119.

Fakhr-Mousavi, S.M. & Amirteimoori, A. & Kordrostami, S. & Vaez-Ghasemi, M. (2023). Non-radial two-stage network DEA model to estimate returns to scale. *Journal of Modelling in Management*, *18*(1), 36-60.

Ferrier, G.D. & Hirschberg, J.G. (1997). Bootstrapping confidence intervals for linear programming efficiency scores: with an illustration using Italian bank data, *journal of productivity analysis*, 8, 19-33.

Fitzova, H. & Matulova, M. (2020). Comparison of urban public transport systems in the Czech Republic and Slovakia: factors under pinning efficiency, *research in transportation economics. In press*.

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

Fukuyama, H. & Weber, W.L. (2010). A slacks-based inefficiency measure for a two stage system with bad outputs, *omega*, 38(5), 398-409.

Gökgöz, F. & Yalçın, E. (2023). An environmental, energy, and economic efficiency analysis for the energy market in European Union. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, e14068.

Golini, R. & Moretto, A. & Caniato, F. & Caridi, M. & Kalchschmidt, M. (2017). Developing Sustainability in the Italian Meat Supply Chain: An Empirical Investigation. *International Journal of Production Research,* 55 (4), 1183–1209.

Govindan, K. & Muduli, K. & Devika, K. & Barve, A. (2016). Investigation of the Influential Strength of Factors on Adoption of Green Supply Chain Management Practices: An Indian Mining Scenario. Resources, *Conservation and Recycling*, 107, 185–194.

Govindan, K. & Khodaverdi, R. & Jafarian, A. (2013). A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. *J. Clean Prod.*, 47, 345–354.

Grimm, J.H. & Hofstetter, J.S. & Sarkis, J. (2014). Critical factors for sub-supplier management: A sustainable food supply chains perspective. *Int. J. Prod. Econ.*, 152, 159–173.

Guarnieri, P. & Sobreiro, V.A. & Nagano, M.S. & Serrano, A.L.M. (2015). The challenge of selecting and evaluating third-party reverse logistics providers in a multicriteria perspective: A Brazilian case. *J. Clean Prod.*, 96, 209–219.

Hashemi, S.H. & Karimi, A. & Tavana, M. (2015). An Integrated Green Supplier Selection Approach with Analytic Network Process and Improved Grey Relational Analysis. *International Journal of Production Economics*, 159, 178–191.

Hashemi, S.H. & Karimi, A. & Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *Int. J. Prod. Econ*., 159, 178–191.

Huang, J.W. & Li, Y.H. (2015). Green Innovation and Performance: The View of Organizational Capability and Social Reciprocity. *Journal of Business Ethics*, 145(2), 309–324.

Humphreys, P. & McIvor, R. & Chan, F. (2003). Using case-based reasoning to evaluate supplier environmental management performance. *Expert Syst*. Appl. 25, 141–153.

Humphreys, P.K. & Wong, Y.K. & Chan, F.T.S. (2003). Integrating environmental criteria into the supplier selection process. *J. Mater. Process. Technol*. 138, 349–356.

Isgin, T. & Ozel, R. & Bilgic, A. & Florkwski, W. & sevinc, M.R. (2020). DEA performance measurements in cotton production of Harran plain, Turkey: A single and double bootstrap truncated regression approaches, *Agriculture*, 10(4), 1-17.

Jahangiri, S. & Abolghasemian, M. & Ghasemi, P. & Chobar, A.P. (2023). Simulation-based optimisation: analysis of the emergency department resources under COVID-19 conditions. *International journal of industrial and systems engineering*, *43*(1), 1-19.

Jahanshahlou, G. & Hosseinzadeh L.F. & Niko-Maram, H. (2013). Envelopment analysis of data and its applications, *Nafis*. (in Persian)

Jia, F. & Zuluaga-Cardona, L. & Bailey, A. & Rueda, X. (2018). Sustainable Supply Chain Management in Developing Countries: An Analysis of the Literature. *Journal of Cleaner Production*, 189: 263–278.

Kannan, D. (2018). Role of multiple stakeholders and the critical success factor theory for the sustainable supplier selection process. *Int. J. Prod. Econ*., 195, 391–418.

Kao, C. (2009). Efficiency measurement for parallel production systems. *European Journal of Operational Research*, 196(3), 1107–1112.

Khodakarami, M. & Shabani, A. & Farzipoor-sean, R. & Azadi, M. (2015). Developing Distinctive Two stage Data envelopment analysis Models: An application in evaluating the sustainability of supply chain management, *Measurement*, 70, 62-74.

Krmac, E. & Djordjević, B. (2019). A new DEA model for evaluation of supply chains: a case of selection and evaluation of environmental efficiency of suppliers. *Symmetry*, 11(4), 565.

Kuo, R.J. & Wang, Y.C. & Tien, F.C. (2010). Integration of artificial neural network and MADA methods for green supplier selection. *J. Clean Prod*. 18, 1161–1170.

Lee, A.H.I. & Kang, H.Y. & Hsu, C.F. & Hung, H.C. (2009). A green supplier selection model for high-tech industry. *Expert Syst*. Appl. 36, 7917–7927.

Li, Y. & Mathiyazhagan, K. (2018). Application of DEMATEL approach to identify the influential indicators towards sustainable supply chain adoption in the auto components manufacturing sector. *Journal of cleaner production*, 172, 2931-2941.

Long, L. & Thap, L.V. & Hoai, N. & Pham, T. (2020). Data envelopment analysis for analyzing technical efficiency in aqua culture: the bootstrap methods. *Aquaculture economics & management*, 171, 1-25.

Luthra, S. & Govindan, K. & Kannan, D. & Mangla, S.K. & Garg, C.P. (2017). An Integrated Framework for Sustainable Supplier Selection and Evaluation in Supply Chains. *Journal of Cleaner Production*, 140, 1686–1698.

Mathivathanan, D. & Kannan, D. & Haq, A.N. (2018). Sustainable Supply Chain Management Practices in Indian Automotive Industry: A Multi-Stakeholder View. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 284–305.

Mirhedayatian, S.M. & Azadi, M. & Farizpoor, S.R. (2014). A novel network data envelopment analysis model for evaluating green supply

chain management, *International Journal of Production Economics*, 147, 544-554.

Sarkis, J. & Dhavale, D.G. (2015). Supplier selection for sustainable operations: A triple-bottom-line approach using a Bayesian framework. *Int. J. Prod. Econ.*, 166, 177–191.

Sawik, T. (2016). On the risk-averse optimization of service level in a supply chain under disruption risks. *Int. J. Prod. Res*. 54, 98–113.

Shang, H. & Jiang, L. & Pan, X. & Pan, X. (2022). Green technology innovation spillover effect and urban eco-efficiency convergence: Evidence from Chinese cities. *Energy Economics*, 114, 106307.

Simonov, K. & Gupta, H. & Sarkis, J. (2019). A Supply chain sustainability innovation framework and evaluating methodology, *International Journal of Production Research*, 57(7), 1-19.

Song, M. & Li, H. (2019). Estimating the efficiency of sustainable Chinese tourism industry using bootstrap technology rectification, *Technological forecasting & social change*, 143, 45-54.

Tajbakhsh, A. & Hassini, E. (2014). A data envelopment analysis Approach to evaluate sustainability in supply chain networks, *Journal of Cleaner Production*, 54(7), 1-27.

Tariq, A. & Badir, Y.F. & Tariq, W. & Bhutta, U.S. (2017). Drivers and Consequences of Green Product and Process Innovation: A Systematic Review, Conceptual Framework, and Future Outlook. *Technology in Society*, 51, 8–23.

Tavana, M. & Yazdani, M. & Di-Caprio, D. (2017). An application of an integrated ANP-QFD framework for sustainable supplier selection. *Int. J. Logist*.-Res. Appl., 20, 254–275.

Tseng, M.L. & Chiu, A.S.F. (2013). Evaluating firm's green supply chain management in linguistic preferences. *J. Clean Prod.*, 2013, 40, 22–31.

Vaseei, M. & Daneshmand-Mehr, M. & Bazrafshan, M. & Ghanee kanafi, A. (2023). A model for evaluating sustainable supply chain performance using network data envelopment analysis and bootstrap simulation. *Journal of Modern Management Engineering*, *9*(1), 1-35. (In Persian)

Vaseei, M. & Daneshmand-Mehr, M. & Bazrafshan, M. & Kanafi, A.G. (2023). A network data envelopment analysis to evaluate the performance of a sustainable supply chain using bootstrap simulation. *Journal of Engineering Research*.

Yan, L. & Ma, C. & Yang, Y. & Zhan, E. & Lv, H. (2020). Estimating the regional eco-efficiency in china based on bootstrapping by-production technologies, *journal of cleaner production*, 243, 1-13.

Yang, L. & Ma, Z. & Yin, J. & Li, Y. & Lv, H. (2023). The evolution and determinants of Chinese inter-provincial green development efficiency: an MCSE-DEA-Tobit-based perspective. *Environmental Science and Pollution Research*, *30*(18), 53904-53919.

Yeh, W.C. & Chuang, M.C. (2011). Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. *Expert Syst. Appl*., 38, 4244–4253.

Yija, C. & Guoliang, H. & Ziyong, Y. (2015). Estimating regional coal resource efficiency in china using three-stage DEA and bootstrap DEA models. *International Journal of mining science and technology*, 25(5), 861-864.

Zhu, Z. & Chu, F. & Dolgui, A. & Chu, C. & Zhou, W. & Piramuthu, S. (2018). Recent advances and opportunities in sustainable food supply chain: a model-oriented review. *International Journal of Production Research*, *56*(17), 5700-5722.

Zimmer, K. & Froehling, M. & Schultmann, F. (2016). Sustainable supplier management—A review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. *Int. J. Prod. Res*. 54, 1412–1442.

Assessing the sustainability in the tomato paste supply chain using the principles of natural accessibility, management and bootstrap simulation

Masoud Vaseei[*]
Maryam Daneshmand-Mehr[**]
,Morteza Bazrafshan[***]
Armin Ghane Kanafi[****]

10.30495/JOM.2024.1992685.1100

Abstract

Supply chain sustainability and its efficiency score with data envelopment analysis and bootstrap, it is possible to comprehensively and more accurately determine the effect of factors affecting supply chain sustainability. Also, this method allows to use the variations and differences of the samples in the analysis and provide results with the highest confidence interval. In addition, data envelopment analysis is used for better understanding of data, greater transparency and deeper understanding of data patterns, relationships and characteristics. For this purpose, in this research, a framework for measuring the sustainability of supply chain performance using the principles of natural accessibility, management and bootstrap simulation is provided. In this article, a new model for evaluating sustainable supply chain performance is presented using network data envelopment analysis and bootstrap simulation through the integration of principles governing natural and managerial accessibility. The present research community is the active tomato paste production companies in the country, 25 companies have been considered for the implementation of the proposed model. In the proposed model, the key factors of the sustainable supply chain include economic, social and environmental factors as inputs and outputs in the data coverage analysis model. In addition, the inputs are considered in both managerial (under control) and non-managerial (uncontrolled) ways according to the principles of natural and managerial accessibility. Then, by using the bootstrap simulation method, and building the required data, estimation of the network efficiency score for decision making units has been done. To demonstrate the proposed method, a real study

[*]PhD Candidate, Department of Industrial Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran.
[**]Corresponding author, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. m.daneshmand@liau.ac.ir
[***]Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. bazrafshan@liau.ac.ir
[****]Assistant Professor, Department of mathematics, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran. arminghane@gmail.com

case in the tomato paste supply chain network has been considered. Based on the obtained results, a stepwise and overall efficiency score has been calculated in deterministic and bootstrapped mode using data envelopment analysis models. According to the results, the accuracy of the used method has been shown. Also, it can provide valuable information to managers.

Keywords: sustainable supply chain, data envelopment analysis, bootstrap, network, management input, non-management input.