فصلنامهٔ مهندسی مدیریت نوین
دورهٔ نهم، شمارهٔ اول، بهار ۱۴۰۲

ارائهٔ یک مدل برای ارزیابی عملکرد زنجیرهٔ تأمین پایدار با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و شبیه‌سازی بوت‌استرپ

مسعود واسعی[۱]، مریم دانشمندمهر[۲]، مرتضی بذرافشان[۳]، آرمین قانع کنفی[۴]

چکیده

زمینهٔ تحلیل پوششی داده‌ها در حوزهٔ علوم داده و تجزیه‌وتحلیل آن‌ها قرار می‌گیرد. هدف اصلی این تحلیل، بررسی و تحلیل جوانب مختلف و متنوع داده‌ها در یک مجموعه داده است. تحلیل پوششی برای شناخت بهتر داده‌ها، شفافیت بیشتر و فهم عمیق‌تر از الگوها، روابط و خصوصیات داده‌ها به کار می‌رود. هدف اصلی تحلیل پوششی داده‌ها، کشف اطلاعات پنهان و ناشناخته در داده‌ها و استخراج دانش از آن‌ها است. با استفاده از روش‌های تحلیل پوششی، می‌توان مشاهده و شناخت الگوها، روابط، اختلاف‌ها و تغییرات در داده‌ها را انجام داد و به ارائهٔ دیدگاه‌های جدید و بالقوهٔ مفید در مورد داده‌ها و فرآیندهای مربوط به آن‌ها پرداخت. از این رو، در این مقاله با استفاده از فرآیند شبیه‌سازی بوت‌استرپ برای بالا بردن دقت کارایی برآورده شده استفاده شده است. برای این منظور امتیاز کارایی کلی و مرحله‌ای به طور جداگانه برای هر یک از واحدها از طریق مقادیر شبیه‌سازی شده برای ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین می‌شوند؛ لذا، مهم‌ترین نوآوری این تحقیق ارائهٔ چارچوبی برای تعیین امتیاز کارایی واحدهایی که به طور شبکه‌ای در ارتباط هستند با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ شده است. برای نشان دادن روش پیشنهادی، یک مورد مطالعاتی واقعی در شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین رب گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شده است. بر طبق نتایج، دقت روش بکار گرفته شده نشان داده شده است.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌ها، بوت‌استرپ، شبکه

---

[۱] دانشجوی دکتری گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

[۲] استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران(نویسندهٔ مسئول)
m.daneshmand@liau.ac.ir

[۳] استادیار گروه مهندسی صنایع، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

[۴] استادیار گروه ریاضی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران

تاریخ وصول: ۱۴۰۲/۴/۱۰ **تاریخ پذیرش:۱۴۰۲/۵/۲۵**

مقدمه

زنجیرهٔ تأمین پایدار به‌عنوان یک مفهوم کلیدی در حوزهٔ مدیریت زنجیرهٔ تأمین، به‌منظور حفظ تعادل بین عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی در فرآیند تولید و توزیع کالاها و خدمات استفاده می‌شود. با توجه به افزایش نگرانی‌ها دربارهٔ تغییرات آب و هوایی، کاهش منابع طبیعی و نابود شدن محصولات برای نسل‌های آینده، ارزش بخش پایدار زنجیرهٔ تأمین بسیار مورد توجه قرار گرفته است (اسدی و ابوالقاسمیان، ۲۰۱۸). برای ارزیابی عملکرد زنجیرهٔ تأمین پایدار، استفاده از روش‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و شبیه‌سازی بوت‌استرپ به‌عنوان روش جدید و قابل اطمینان در حوزهٔ مدیریت زنجیرهٔ تأمین مورد توجه قرار بگیرد. این روش‌ها، امکان تحلیل و بررسی عملکرد زنجیرهٔ تأمین در شرایط مختلف را فراهم می‌کنند و به مدیران کمک می‌کنند تا تصمیمات بهتری دربارهٔ بهبود عملکرد زنجیرهٔ تأمین پایدار بگیرند (کردرستمی و اسدی، ۲۰۲۳).

هر سازمان را می‌توان به‌مثابهٔ سیستمی در نظر گرفت که با دریافت منابع مورد نیاز خود، محصولات یا خدماتی را تولید می‌کند. با توجه به محدودیت منابع و نیاز روزافزون 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 مقایسهٔ 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 به‌وسیلهٔ چارنز و همکاران در سال ۱۹۷۸ بر مبنای کار فارل معرفی گردید (جهانشاهلو و همکاران، ۱۳۹۱). روشی کارآمد برای محاسبهٔ نسبی است. یک روایت ساده از تحلیل پوششی داده‌ها این است که این روش در واقع نوعی ارزیابی خوش‌بینانه است که هر بار با انتخاب یک واحد که اصطلاحاً 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

همهٔ واحدهای مورد مقایسه طوری محدود شده که نمی‌تواند از یک تجاوز کند (جهانشاهلو و همکاران، ۱۳۹۱).

تحلیل پوششی داده‌ها روشی کارآمد برای مقایسه و محاسبهٔ کارایی نسبی تعدادی واحد که با صرف ورودی‌های مشابه، خروجی مشابه تولید می‌کند. اما در دنیای واقعی مواردی وجود دارند که واحدهای تصمیم‌گیرنده خود متشکل از زیر واحدهایی هستند که به طور مستقل، ورودی‌ها را صرف تولید خروجی‌ها می‌کنند (کوک و گرین[1]، ۲۰۰۵؛ کوپر و همکاران[2]، ۲۰۰۵، کائو[3]، ۲۰۰۹). ساده‌ترین روش در مواجههٔ با مسئلهٔ ارزیابی چندین گروه از واحدهای تصمیم‌گیرنده این است که هر گروه از واحدها یک واحد تلقی شده و مسئلهٔ مقایسهٔ کارایی چند مجموعهٔ بزرگ به مسئلهٔ مقایسهٔ کارایی چند واحد عمده تقلیل داده می‌شود. یا چنانچه در برخی تجارب منتشر شده دیده می‌شود مسئلهٔ مقایسهٔ چند گروه از واحدها به مسئلهٔ مقایسهٔ میانگین کارایی نسبی هر مجموعه که به طور مجزا محاسبه شده است تحریف گردد.

استفاده از واژهٔ واحدهای تصمیم‌گیرنده در طول پژوهش که واژهٔ رایجی در ادبیات تحلیل پوششی داده‌ها است، ضمن اینکه بر رویکرد کارایی محور پژوهش دلالت دارد به ملاحظهٔ گروه‌ها به‌عنوان مجموعه‌هایی مشتمل بر واحدهایی که صرف نظر از تعلق به گروه خود در حال رقابت مستقیم با هم هستند اشاره می‌کند. پایداری یا توسعهٔ پایدار، امروزه به یک امر مهم و حوزهٔ جذاب برای تحقیق تبدیل شده است. چالش عمده در مسیر فعلی توسعهٔ پایدار متوجه تمامی بخش‌های جامعه مانند مهندسی و تولید می‌شود. محصولات تولیدی باید تأثیر سه جنبهٔ پایداری را در طول چرخهٔ عمر خود در نظر بگیرند. این سه جنبهٔ پایداری به‌عنوان جزء جدایی‌ناپذیر مسائل پایداری عبارتند از: فاکتورهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی. بر اساس تحقیقات مشخص شده است که در حدود ۸۰ درصد تأثیرات پایداری در مرحلهٔ طراحی محصول اتخاذ می‌شود. برای مثال، در بخش تولیدی، طراحی و تولید محصولات پایدار به‌عنوان یک استراتژی مهم

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

برای دستیابی به پایداری و با هدف تولید پاک شناخته می‌شود؛ بنابراین، با در نظر گرفتن مفاهیم ذکر شده، می‌توان پایداری را به‌عنوان توانایی یک زنجیرهٔ تأمین برای کار مداوم و در عین حال تأمین کمترین اثرات زیست‌محیطی و تأمین منابع اقتصادی و اجتماعی برای ذی‌نفعان تعریف کرد. لازم به ذکر است که یک راه‌حل طراحی پایدار به طور مؤثر به خصوصیات عملکردی محصول می‌پردازد و علاوه بر این، سه بعد پایداری را به طور مناسب متعادل می‌کند (چن و همکاران[1]، ۲۰۱۲)؛ بنابراین، اصطلاح پایداری را در عنوان پژوهش به معنای توانایی انجام تجارت با هدف بلندمدت حفظ رفاه اقتصادی، زیست-محیطی و اجتماعی می‌توان تعریف کرد. زنجیرهٔ تأمین به‌صورت مجموعهٔ همهٔ گروه‌ها و فرآیندهای مربوطه در نظر گرفته می‌شود که سفارش مشتری را مهیا می‌کند. یا می‌توان آن را به‌صورت همهٔ فعالیت‌های مرتبط با انتقال و جریان کالاها و خدمات از جمله جریان اطلاعات مربوطه از منبع مواد تا کاربر نهایی تعریف کرد؛ بنابراین، مدیریت زنجیرهٔ تأمین پایدار برای بهبود هم‌زمان عملکرد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به کار می‌رود. همچنین، مزیت رقابتی را برای شرکت‌ها فراهم می‌کند؛ زیرا این فرصت که با استفادهٔ منصفانه از منابع طبیعی، دقت در عدم تخریب محیط، مسئول بودن در قبال سلامتی و ایمنی کارکنان و کار اقتصادی باعث می‌شود از دیگر رقبا متمایز باشیم (دینگ[2]، ۲۰۰۷).

مدیریت زنجیرهٔ تأمین پایدار در سال‌های گذشته توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در میان روش‌های ارزیابی مدیریت زنجیرهٔ تأمین پایدار، تحلیل پوششی داده‌ها روشی مناسب برای ارزیابی است. زیرا تحلیل پوششی داده‌ها یک از مؤثرترین روش‌ها برای ارزیابی عملکرد نهادها است. زیرا این رویکرد نیازمند هیچ تصمیم‌گیرنده‌ای نیست که مقادیر وزنی اختصاص‌یافته به شاخص‌ها را توصیف کند و نه‌تنها 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 نمرهٔ کارایی تمایز

[1] Chen
[2] Ding

ایجاد کند و همچنین منابع و مقادیر ناکارآمد واحدهای تحت ارزیابی ناکارآمد را شناسایی کند (سیمونوف و همکاران[1]، ۲۰۱۹).

این درست است که در تحلیل پوششی داده‌ها اساساً معیار مقایسه، کارایی است؛ اما آنچه در عمل برای انجام مقایسه به کار گرفته می‌شود نتایج حاصل از حل مدل‌های ریاضی است. مدل‌های ریاضی بر مبنای مفروضات مشخص ساخته می‌شوند و عملکرد آن‌ها قابل تفسیر است. هر چند این تفسیر با پیچیده‌تر شدن مدل‌ها غالباً دشوارتر می‌شود. در حقیقت یک معیار وقتی مناسب است که به لحاظ مفهومی گویای چیزی باشد که مقایسه بر اساس آن انجام می‌شود. اما این کافی نیست، معیار می‌بایست قابلیت کاربرد داشته باشد. یعنی روشی یا عملی پیدا شود که بتوان آن را به‌عنوان مکانیزم مقایسه بر اساس معیار تفسیر کرد. در این پژوهش مسئلۀ اصلی روشن و ساده است با اندک آشنایی با تحلیل پوششی داده‌ها مشخص می‌شود که این روش می‌تواند تعدادی واحد اعم از سازمان یا هر موجودیتی که چیزهایی را به‌عنوان منابع و نیاز از محیط دریافت می‌کند تا محصول و خدمتی را تولید نماید باهم مقایسه کند. اما در دنیای واقعی، عواملی درونی وجود دارد که در DMU مورد بررسی دخیل هستند یا در نظر گرفتن عواملی همچون اقتصادی، اجتماعی یا حتی زیست‌محیطی به‌منظور ایجاد بهبود هم‌زمان حائز اهمیت است (دینگ، ۲۰۰۷). در ادبیات تحلیل پوششی داده‌ها تجارب منتشر شده‌ای وجود دارد که یا مشخصاً به این موضوع پرداخته‌اند یا به‌نوعی قابل تعمیم و تبدیل به این موضوع هستند. در واقع پژوهشگر در این پژوهش بر آن است که با بررسی آنچه که با موضوع مرتبط است یا می‌تواند باشد به ارائۀ روش‌ها یا مدل‌هایی بپردازد که ضمن رعایت الزامات مفهومی و محاسباتی از قدرت تشخیص کافی برای ایجاد تمایز بین واحدها برخوردار باشد یا حداقل بتوان با پیشنهاد روش‌های جدید برای اصلاح نقایص مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های چندمرحله‌ای و همچنین کاربرد آن برای ارزیابی مدیریت زنجیرۀ تأمین پایدار و ایجاد بهبود هم‌زمان به چنین قدرت تشخیصی مجهز کرد.

برای محاسبۀ کارایی واقعی نیاز داریم تا بیشترین خروجی قابل تولید را از یک

[1] Simonov

ورودی اطلاع داشته باشیم. به عبارت دیگر، به یک تابع هدف تحت عنوان تابع تولید نیاز داریم که مقدار تابع به‌ازای هر ورودی، نشان‌دهندهٔ بیشترین میزان قابل تولید از آن است. متأسفانه در دنیای واقعی قادر به محاسبهٔ بیشترین میزان تولید شده از یک ورودی مشخص نیستیم. به عبارت دیگر مرز کارایی واقعی نامشخص است. برای فائق آمدن بر این مشکل و ارائهٔ مقدار کارایی هر واحد، می‌توان تابعی را به‌عنوان تابع تولید مشخص کرد. به عبارت دیگر یک تخمین از مرز واقعی را به‌جای 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 می‌شود. در این روش هدف، مشخص کردن پارامترهای مجهول به کمک داده‌های نمونهٔ موجود است. یکی از بزرگ‌ترین معایب روش پارامتری، تحمیل شکل تابعی خاص به مدل است. علاوه بر آن واحدها نسبت به مرزی ارزیابی می‌شوند که معمولاً در دنیای واقعی غیر قابل 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 به‌جای آنکه واحدها با یک مرز غیر قابل دسترس پارامتری ارزیابی شوند، با یک مرز قابل دسترس ساخته شده از داده‌ها ارزیابی می‌شوند.

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتری برای محاسبهٔ کارایی گروهی از واحدها است که فعالیت یکسانی را انجام می‌دهند. مرز به‌دست آمده از این روش یک مرز نسبی قابل دسترس در دنیای واقعی است. درست برخلاف روش پارامتری که در آن واحدها نسبت به مرزی سنجیده می‌شوند که عموماً در دنیای واقعی، غیر قابل دسترس است. کارایی به‌دست آمده از این روش یک مقدار نسبی و نه مقدار واقعی است. به عبارت دیگر کارایی به‌دست آمده از این روش برآوردی از مقدار واقعی کارایی است. به دلیل نامشخص بودن توزیع جامعه، میزان دقت کارایی برآورد شده مورد سؤال 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 به‌عنوان 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 کارایی اصلی نزدیک‌تر است. پس ارائهٔ یک برآورد درست از پارامتر اصلی نه‌تنها به ساختار اصلی برآوردگر بستگی دارد، بلکه به نمونهٔ 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 نمونهٔ کم‌مشاهده شده و به عبارت دیگر کوچک بودن حجم نمونه برای برآورد درست است؛ بنابراین، باید دنبال روشی برای تولید داده از جامعهٔ ناشناخته باشیم تا مشکل کمبود نمونه را رفع کنیم. بوت‌استرپ که توسط افرون ارائه شده و توسعه یافته است، بر پایهٔ شبیه‌سازی فرآیند تولید داده‌ها بنا نهاده شده است؛ بنابراین، این تحقیق به دنبال این است که سعی کند از روش بوت‌استرپ با تولید داده با ملحوظ داشتن دقت کارایی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی عملکرد پایداری زنجیرهٔ تأمین استفاده نماید.

در این مقاله، یک مدل جدید برای ارزیابی عملکرد زنجیرهٔ تأمین پایدار با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای و شبیه‌سازی بوت‌استرپ ارائه خواهد شد. در این مدل، عوامل کلیدی زنجیرهٔ تأمین پایدار شامل عوامل اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی به‌صورت ورودی و خروجی در مدل تحلیل پوششی داده‌های در نظر گرفته خواهند شد. سپس با استفاده از روش شبیه‌سازی بوت‌استرپ، و ساخت داده‌های مورد نیاز نسبت به برآورد امتیاز کارایی شبکه‌ای برای واحدهای تصمیم‌گیری اقدام می‌شود.

بنابراین، در این مقاله هدف اصلی ارائهٔ یک چارچوب برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای تحت ارزیابی تحت حالت بوت‌استرپ است. برای این منظور امتیاز کارایی کلی و مرحله‌ای به طور جداگانه برای هر یک از واحدها از طریق مقادیر شبیه‌سازی شده برای ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین می‌شوند؛ لذا، مهم‌ترین نوآوری این تحقیق ارائهٔ چارچوبی برای تعیین امتیاز کارایی واحدهایی که به طور شبکه‌ای در ارتباط هستند با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های بوت‌استرپ شده است.

باقیماندهٔ 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 به‌کارگیری روش پیشنهادی در یک مطالعهٔ موردی ارائه شده است. سرانجام، یک نتیجه‌گیری کلی به همراه پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارائه شده است.

مرور ادبیات پژوهش

مبانی نظری تحقیق

الف) 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[1] و بنکر، کوپر و چارنز[2] 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 هستند. در این روش با به‌کارگیری 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 تصمیم‌گیری مدنظر روی خط کارایی قرار گرفته است یا خارج از آن قرار دارد. هدف اصلی تحلیل پوششی داده‌ها، تعیین کارایی یک سیستم یا واحد تصمیم‌گیری 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. مدل چارنز، کوپر و رودز اولین مدل تحلیل پوششی داده‌ها است که برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است که در سال ۱۹۷۸ توسط چارنز، کوپر و رودز ارائه شده است. این مدل دارای دو ماهیت ورودی و خروجی است. فرم مضربی خطی شده ورودی محور مدل چارنز، کوپر و رودز به‌صورت معادلات ۱ تعریف می‌شود (اسدی و همکاران، ۲۰۲۳).

(۱)

[1] CCR (Charnes, Cooper, Rhodes)

[2] BCC (Banker, Cooper, Charnes)

$$\min \quad \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io}$$

$$s.t \quad \sum_{j=1}^{m} v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \geq 0$$

$$\sum_{j=1}^{n} u_r y_{ro} = 1$$

$$v_i \geq 0 \qquad i = 1, \dots, m$$

$$u_r \geq 0 \qquad r = 1, \dots, s$$

که در معادلات ۱:

y_{rj} : مقدار خروجی rام تولید شده به وسیلهٔ DMU_j،

x_{ij} : مقدار ورودی iام تولید شده به وسیلهٔ DMU_j،

u_r : وزن داده شده به خروجی r ام،

v_i : وزن داده شده به ورودی i ام.

بنکر، چارنز و کوپر با تغییر در مدل چارنز، کوپر و رودز، مدل جدیدی را ارائه کردند که با توجه به حروف اول نام آن‌ها به بنکر، چارنز و کوپر مشهور شد. این مدل در ارزیابی کارایی نسبی مانند مدل چارنز، کوپر و رودز شعاعی عمل می‌کند. با این تفاوت که در این مدل از بازده به مقیاس متغیر تبعیت می‌کند. مدل بنکر، چارنز و کوپر را می‌توان؛ مانند مدل چارنز، کوپر و رودز در ماهیت ورودی و خروجی بیان کرد. در ماهیت ورودی هدف، کاهش ورودی‌ها و در ماهیت خروجی هدف، افزایش خروجی‌هاست البته تا جایی که از ناحیهٔ شدنی خارج نشویم. مدل بنکر، چارنز و کوپر شامل قید تحدب مشاهدات یعنی $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1$ است. با توجه به اینکه با افزایش قیود در مدل برنامه‌ریزی خطی، ناحیهٔ شدنی کوچکتر می‌شود، لذا مقدار بهینهٔ تابع هدف بهتر نمی‌شود، پس اگر θ^*_{CCR} مقدار بهینهٔ مدل چارنز، کوپر و رودز و θ^*_{BCC} مقدار بهینهٔ مدل بنکر، چارنز و کوپر در ارزیابی واحد تحت ارزیابی باشند، آنگاه رابطهٔ این دو همواره برقرار است (فخر موسوی و همکاران، ۲۰۲۳).

$$\theta^*_{BCC} \geq \theta^*_{CCR} \geq 1 \qquad (۲)$$

واحد تحت ارزیابی در مجموعه امکان تولید بنکر، چارنز و کوپر کارا است اگر و فقط اگر $\theta^*_{BCC} = 1$ در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی ناکارا خواهد بود $(1 - \theta^*)$. به عبارت دیگر واحد تحت ارزیابی کارای بنکر، چارنز و کوپر است اگر و تنها اگر برای هر جواب بهینه $(\theta^*, \lambda^*, s^{+^*}, s^{-^*})$ در مدل بنکر، چارنز و کوپر دو شرط زیر برقرار باشد:

۱. $\theta^*_{BCC} = 1$،
۲. متغیرهای کمکی s^{-^*} و s^{+^*} همه صفر باشند.

در غیر این صورت واحد تحت ارزیابی را ناکارای بنکر، چارنز و کوپر می‌نامند که نشان‌دهندهٔ ناکارایی در ماهیت ورودی است. در واقع مدل مضربی بنکر، چارنز و کوپر ورودی محور مطابق معادلهٔ ۳ در زیر است.

(۳)

$$\begin{aligned}
\min \quad & \sum_{i=1}^{m} v_i x_{io} + v_o \\
s.t \quad & \sum_{i=1}^{m} v_j x_{ij} - \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} + v_o \geq 0 \qquad j = 1, \dots, n \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{ro} = 1 \\
& v_i \geq 0 \qquad i = 1, \dots, m \\
& u_r \geq 0 \qquad r = 1, \dots, s \\
& v_o \text{ آزاد در علامت}
\end{aligned}$$

ب) شبیه‌سازی بوت‌استرپ

شبیه‌سازی بوت‌استرپ[1] به معنای ایجاد یک محیط مجازی برای تست و ارزیابی عملکرد سیستم‌ها، فرآیندها یا رویدادها است (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۱۸). در این نوع از

[1] **Bootstrap simulation**

شبیه‌سازی، ویژگی‌ها و رفتارهای مختلف سیستم واقعی با استفاده از مدل‌ها و الگوریتم‌های مشخصی شبیه‌سازی می‌شوند (جهانگیری و همکاران، ۲۰۲۳). شبیه‌سازی بوت‌استرپ می‌تواند در زمینه‌های مختلفی مورد استفاده قرار بگیرد، از جمله: شبکه‌های کامپیوتری برای بررسی و تحلیل عملکرد شبکه‌های کامپیوتری، مانند ترافیک داده، ظرفیت شبکه و زمان پاسخگویی. حمل‌ونقل برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی ترافیک جاده‌ای، حرکت خودروها و تأثیر تغییرات مختلف در زیرساخت‌های حمل‌ونقل (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۲۲). مدیریت عملیات برای بهبود فرآیندهای تولید، توزیع و مدیریت موجودی در صنایع مختلف. مالی و اقتصاد برای بررسی رفتار بازارها، سیستم‌های مالی و تأثیر تغییرات مختلف در شرایط اقتصادی. پزشکی برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی رفتار بیماری‌ها، اثرات درمان‌ها و تحلیل عملکرد سیستم‌های بهداشتی؛ بنابراین، با استفاده از شبیه‌سازی بوت‌استرپ، می‌توان به‌صورت مجازی تغییرات و تأثیرات مختلف را در سیستم‌ها و فرآیندها بررسی کرده و بهبودهای لازم را قبل از اجرای واقعی آن‌ها اعمال کرد (ابوالقاسمیان و همکاران، ۲۰۲۰).

پیشینۀ تحقیق

زنجیرۀ تأمین پایدار مزیت رقابتی را برای شرکت‌ها فراهم می‌کند. زیرا این فرصت را فراهم می‌کند که با استفادۀ منصفانه از منابع طبیعی، دقت در عدم تخریب محیط، مسئول بودن در قبال سلامتی و ایمنی کارکنان، و کار اقتصادی از دیگر رقبا متمایز شویم. به‌رغم اهمیت حیاتی ارزیابی زنجیرۀ تأمین پایدار، تحقیقات در مورد این موضوع به‌ندرت صورت گرفته است. اخیراً، روش‌های ترکیبی تصمیم‌گیری اعم از کیفی و یا کمی در این حوزه پدیدار شده‌اند. به طور کلی مدل‌ها و روش‌هایی که بکار گرفته شده‌اند را در ۴ دسته می‌توان طبقه‌بندی کرد. روش‌های MCDM، مانند AHP، ANP، TOPSIS، VIKOR و...، روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی، مثل DEA، برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی غیرخطی، برنامه‌ریزی چندهدفه و...، تکنولوژی هوش مصنوعی و سایر روش‌های ترکیبی که اساساً بر مبنای یکپارچه‌سازی روش‌های فوق هستند. نظر به اینکه در این

تحقیق تمرکز به استفاده از روش‌های DEA است، لذا در ادامه صورت‌های متنوع مدل-های بکار گرفته شده در حوزهٔ ارزیابی عملکرد زنجیرهٔ تأمین پایدار در استفاده از مدل-های DEA معرفی شده است. برای مثال، اولین بار فوکویاما و وبر[1] (۲۰۱۰) این بحث را مطرح کردند که با توجه به اینکه در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های معمولی فرآیند تولید به‌صورت جعبهٔ سیاه در نظر گرفته می‌شود و تعاملات میان ورودی‌ها و خروجی‌ها و عوامل میانی در نظر گرفته نمی‌شود؛ بنابراین، در ساختار شبکه واحدهای تصمیم‌گیری باید مقادیر میانی لحاظ گردد. میرهدایتیان و همکارانش[2] (۲۰۱۴)، با به‌کارگیری یک مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی زنجیرهٔ تأمین سبز در حضور عوامل دونقشی خروجی‌های نامطلوب و داده‌های فازی را پیشنهاد کردند. دینگ (۲۰۰۷) چهار عامل اثرگذار بازده مالی، میزان مصرف انرژی، منافع حاصل شده و اثرات زیست‌محیطی را برای اندازه‌گیری معیار هزینهٔ سود در نظر گرفتند. بر اساس این معیار هزینه‌های کل و منافع حاصل شده از پروژه‌ها را اندازه‌گیری و مقایسه کردند.

اخیراً محققان شروع به بررسی ساختارهای دومرحله‌ای در شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین کرده‌اند که نتایج مرحلهٔ اول آن‌ها، ورودی مرحلهٔ دوم می‌شوند (کائو، ۲۰۰۹). برای ارزیابی عملکرد چنین شبکه‌هایی محققان از مدل‌های تحلیل پوششی معمولی استفاده می‌کنند. برای مثال، شیو و چن[3] (۲۰۰۶) از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کرده-اند. فوکویاما و میردهقان[4] (۲۰۱۲) روشی دومرحله‌ای را برای شناسایی وضعیت کارایی هر واحد تصمیم‌گیری پیشنهاد کردند. چن و همکاران (۲۰۱۲) طراحی محصول پایدار به‌عنوان یکی از مهم‌ترین اقدامات برای دستیابی به پایداری در این مقاله در نظر گرفته شده است. در این مقاله برای ایجاد بهبود در عملکردهای زیست‌محیطی یک محصول از طریق طراحی محصول، با استفاده از شبکهٔ دومرحله‌ای تحلیل پوششی داده (DEA) برای ارزیابی عملکرد طراحی پایدار محصول پیشنهاد شده است. معیار کارایی طراحی به‌عنوان

[1] Fukuyama &Weber
[2] Mirhedayatian
[3] Chiou, &Chen
[4] Fukuyama &Mirdehghan

اندازه‌گیری کلیدی عملکرد طراحی از نظر چگونگی ترکیب چندین مشخصات و ویژگی‌های محصول در یک طراحی محصول که منجر به کاهش اثرات زیست‌محیطی یا عملکرد بهتر محیطی می‌شود، مفهوم‌سازی شده است؛ بنابراین، یک مدل دومرحله‌ای 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 پایگاه‌داده 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 زیست‌محیطی 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 زیست‌محیطی یا عملکرد بهتر محیطی شود. این مقاله با تهیهٔ یک چارچوب تحقیقاتی جدید برای ارزیابی عملکردهای طراحی پایدار و همچنین با پیشنهاد یک برنامهٔ ابتکاری از شبکهٔ دومرحله‌ای DEA برای یافتن کارآمدترین روش زیست‌محیطی برای دستیابی به عملکردهای زیست‌محیطی بهتر از طریق طراحی محصول، به ادبیات موجود کمک می‌کند. تاج‌بخش و حسینی (۲۰۱۴) در مقالهٔ خود به ارزیابی عملیات‌های زنجیرهٔ 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 چندمرحله‌ای را توسعه داده‌اند که برای ارزیابی پایداری یک زنجیرهٔ 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 عرضهٔ پایدار است. خداکرمی و همکاران (۲۰۱۵) به یکی از کاربردهای تحلیل پوششی داده‌ها که ارزیابی فرآیندهای دومرحله‌ای است که در آن تمام خروجی‌های مرحلهٔ اول مقادیر میانی هستند و به‌عنوان ورودی‌های مرحلهٔ دوم در نظر گرفته می‌شوند پرداخته‌اند. مدل‌های دومرحله‌ای تحلیل پوششی حاصل شده هم نمرهٔ

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

تخمین مرز کارایی با استفاده از فرآیند شبیه‌سازی بوت‌استرپ 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 بوت‌استرپ برای یک بانک ایتالیایی انجام دادند. عبادی (۱۳۹۰) روشی برای رتبه‌بندی نمرات کارایی با استفاده از بوت‌استرپ ارائه داد که نقایص این روش توسط بهاری و همکاران (۱۳۹۳) تکمیل گردید. همچنین سونگ و لی[5] (۲۰۱۹)، کارایی پایدار صنعت توریسم چین را با استفاده از روش بوت‌استرپ تخمین زدند. ییجا و همکاران[6] (۲۰۱۵) با استفاده از DEA سه‌مرحله‌ای و بوت‌استرپ به تخمین مرز کارایی منابع زغال‌سنگ در کشور چین بر اساس هر ناحیه پرداختند. در این مقاله، داده‌های ۲۹ استان چین به‌عنوان 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 معناداری بین توزیع امتیاز کارایی منابع زغال‌سنگ مطابق با نواحی آن‌ها وجود دارد. لانگ و همکاران[7] (۲۰۲۰) روشی برای ارزیابی امتیاز کارایی فنی تحلیل پوششی داده‌ها با استفاده از روش بوت‌استرپ ارائه کردند. آن‌ها در روش ارائه شده پیشرفت بالقوه‌ای را نسبت به مدل‌های مرسوم با استفاده از روش بوت‌استرپ توانستند مشاهده نمایند.

[1] Krmac &Djordjevic
[2] Efron
[3] Efron & Tibishirani
[4] Ferrier &Hirschberg
[5] Song &Li
[6] Yija
[7] Long

ایشگین و همکاران[1] (۲۰۲۰)، یک روش تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر بوت‌استرپ دوگانه در مزارع کشت پنبه در کشور ترکیه ارائه دادند. آن‌ها از روش بوت‌استرپ 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 بوت‌استرپ دوگانه تعیین می‌شوند. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل بوت‌استرپ در این تحقیق نشان داده شده است که کشاورزان دارای امتیاز کارایی U شکل هستند. فیتزوآ و ماتولوآ[2] (۲۰۲۰)، در این مقاله مهم‌ترین وضعیت برای شناسایی کارایی بخش حمل‌ونقل عمومی ارائه دادند. آن‌ها سیستم حمل‌ونقل عمومی در دو کشور اسلواکی و جمهوری چک که قوانین حمل‌ونقل مشابه دارند را با یکدیگر مقایسه می‌کنند. ابتدا یک تحلیل کارایی دومرحله‌ای مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها و رگرسیون برای تخمین مرز تولید انجام شده است. به‌منظور نشان دادن استواری نتایج از تحلیل مرز آماری و روش بوت‌استرپ به‌منظور محاسبۀ کارایی استفاده شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که به اندازۀ کافی روش‌های به کار گرفته شده دارای استواری هستند. یان و همکاران[3] (۲۰۲۰)؛ کارایی اقتصادی از طریق بوت‌استرپ محاسبه شده است. آن‌ها ابتدا در این مقاله ناحیۀ کارایی اقتصادی از طریق یک تابع جهتی و روش فار – گورسکوف – لاول فرمول‌بندی کردند و سپس از طریق بوت‌استرپ به تحلیل آن پرداختند. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که ارتقاء عملکرد تولید برای بهبود بهره‌وری زیست‌محیطی برای توسعۀ پایدار بسیار مهم است. بی بی و همکاران[4] (۲۰۲۱)، هدف از این مطالعه اندازه‌گیری و ارزیابی مطالعۀ مقایسه‌ای کارایی فنی و زیست‌محیطی بخش کشاورزی در جنوب آسیا با استفاده از داده‌های تابلویی متوازن برای دورۀ ۲۰۰۲–۲۰۱۶ است. رویکرد تحلیل مرز تصادفی ترانسلوگ برای تخمین کارایی فنی خروجی‌محور و کارایی محیطی ورودی‌محور استفاده شده است. شانگ و همکاران[5] (۲۰۲۲)، در این مطالعه مکانیسم تأثیرگذار تأثیر سرریز نوآوری

[1] Isgin
[2] Fitzova and Matulova
[3] Yan
[4] Bibi et al.
[5] Shang et al.

فناوری سبز را بر همگرایی بهره‌وری محیط‌زیست شهری با تحلیل ریاضی با استفاده از مدل تحلیل پوششی دادها 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 ارتقا، دهد. یانگ و همکاران[1] (۲۰۲۳) در این مقاله یک روش جدید مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها برای کنترل مصرف بیش از حد منابع آلودگی هوا را توسعه می‌دهند که می‌تواند برای ارزیابی سیستم پیچیدهٔ چندسطحی برای نشان دادن کارایی توسعهٔ سبز بین استانی در چین طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ مورد استفاده قرار بگیرد. گوکوز و یالچین[2] (۲۰۲۳) در این مطالعه کارایی انرژی و زیست‌محیطی کشورهای اتحادیهٔ 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 بوت‌استرپ DEA بررسی می‌کند که به مشکل نویز آماری می‌پردازد. علاوه بر این، کارایی محیطی و نوآوری زیست‌محیطی کشورهای اتحادیهٔ اروپا را با استفاده از تکنیک دومرحله‌ای DEA که یکی از مناسب‌ترین رویکردها برای مدل‌سازی خروجی‌های نامطلوب است، بررسی می‌کنند. بر اساس یافته‌های کارایی زیست‌محیطی، کشورهای شمال اروپا در درجهٔ اول کارآمدتر هستند در حالی که از نظر کارایی نوآوری در محیط‌زیست، آلمان به‌عنوان کشور برتر رتبه‌بندی شده است.

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

[1] Yang et al.
[2] Gokgoz and Yalcin

جدول ۱- طبقه‌بندی شاخص‌های اصلی و فرعی برای پایداری زنجیرهٔ تأمین

شاخص اصلی	ورودی یا خروجی	شاخص فرعی	توضیحات	مقالات مرتبط
اقتصادی	خروجی	بازگشت سرمایهٔ محصولات	بازیابی منابع مالی سرمایه‌گذاری شده در وضعیت پایدار از طریق فعالیت‌های مختلف مانند استفادهٔ مجدد، بازیافت، فروش ضایعات و مواد زائد	(لی و همکاران[1]، ۲۰۱۸؛ ماتیواتانان و همکاران[2]، ۲۰۱۸)
	ورودی	سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه برای محصولات پایدار	مقداری از منابع مالی برای حمایت از تولید محصولات پایدار سرمایه‌گذاری شده است.	(کالیک و باردودین[3]، ۲۰۱۶؛ انصاری و کانت[4]، ۲۰۱۷)
	ورودی	طراحی محصول پایدار برای کاهش مواد مصرفی و هزینه	تلاش سازمان برای طراحی محصولات به‌منظور کاهش مواد مصرفی و هزینه‌ها	(ژائو و همکاران[5]، ۲۰۱۸؛ گوینداو و همکاران[6]، ۲۰۱۶)
	خروجی	توانایی لجستیک سبز	قابلیت سازماندهی به بسته‌بندی، برچسب‌گذاری و حمل‌ونقل محصولات به شیوهٔ سازگار با محیط‌زیست	(لوترا و همکاران، ۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران[7]، ۲۰۱۷)
محیطی	خروجی	طراحی محصول برای کاهش اثرگذاری بر محیط	طراحی محصول سازمان برای کاهش تأثیرات زیست-	(انصاری و کانت، ۲۰۱۷؛ هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵)

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

			محیطی از جمله استفاده از مواد سازگار با محیط-زیست برای محصولات برای دفع آسان‌تر در پایان عمر	
	خروجی	پاسخ سریع به مشتریان و تقاضای بازار برای محصولات پایدار	پاسخ سریع سازمان به مشتریان و تقاضای بازار، آگاهی دربارهٔ مزایای استفاده از محصولات سازگار با محیط‌زیست و سبز	(طارق و همکاران، ۲۰۱۷؛ گلینی و همکاران، ۲۰۱۷)
اجتماعی	خروجی	ارزش‌های فرهنگی و اجتماعی	ارزش‌ها و اعتقادات سازمان‌ها یا افراد که در آن سود جامعه بیش از منافع فردی است	(جیا و همکاران[1]، ۲۰۱۸؛ هوانگ و همکاران[2]، ۲۰۱۵)

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 زیست‌محیطی، توجه به عملکرد محیطی در ارزیابی اساسی تأمین‌کننده افزایش پیدا کرده است.

جدول ۲- طبقه‌بندی معیارهای زیست‌محیطی

معیار	ورودی یا خروجی	توضیح	شاخص‌های مرتبط	منبع
هزینه/ قیمت	ورودی	هزینهٔ نهایی برای خرید یک واحد از مواد خام یا محصول نیمه‌ساخته	هزینهٔ محصول، هزینهٔ لجستیکی، هزینهٔ سفارش، هزینهٔ موجودی، هزینهٔ گارانتی، هزینهٔ نگهداری، هزینهٔ ساخت	(هاشمی و همکاران، ۲۰۱۵؛ کنان[3]، ۲۰۱۸)

[1] Jia
[2] Huang
[3] Kannan

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[1]، ۲۰۱۱؛ ساویک[2]، ۲۰۱۶)
ظرفیت تولید	ورودی	توانایی منابع انسانی، مالی و مادی مربوط به ساخت محصول	راه‌اندازی محصولات جدید، ظرفیت عرضه، مزیت محصول، امکانات تولید	گوارنیری و همکاران[3] (۲۰۱۵)
سازگاری مالی	خروجی	سرمایهٔ لازم برای نگهداری طبیعی فعالیت‌های کسب‌وکار در یک دورهٔ معین زمانی	تحلیل سود و هزینه، تحلیل روند سود و فروش، سود پرداخت شده	هسو و همکاران[4] (۲۰۱۲)
تحویل	ورودی	قابلیت حمل کالا از یک مکان به یک مقصد از پیش تعیین شده	موعد تحویل، تحویل به‌موقع، قابلیت تحویل، تحویل ایمن	(سارکیس و همکاران[5]، ۲۰۱۵؛ لی و همکاران، ۲۰۰۹)

در جدول ۳، شاخص‌های محیطی که در تحقیقات گذشته به طور گسترده در ادبیات زنجیرهٔ تأمین پایدار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نشان داده شده است.

جدول ۳- طبقه‌بندی معیارهای زیست‌محیطی

معیار	ورودی یا خروجی	توضیح	شاخص مرتبط	منابع

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

تصویر سبز	خروجی	هویتی که مصرف‌کنندگان حافظ محیط‌زیست را در اولویت خود دارند	مشتریان سبز بازار، مواد سبز	(آواستی و همکاران[1]، ۲۰۱۰؛ هامفریس و همکاران، ۲۰۰۳)
مدیریت محیطی سیستم	خروجی	سیستمی که عملکرد داخلی و خارجی یک سازمان را به طور جامع ارزیابی می‌کند	گواهی‌نامه‌های محیطی مثل ISO 14000، برنامه‌ریزی‌های فرآیند سبز، سیاست‌های محیطی	(هامفریس و همکاران، ۲۰۰۳؛ یه و همکاران[2]، ۲۰۱۱)
کنترل آلودگی	خروجی	کنترل آلودگی‌هایی که در هوا آب یا خاک رها شود	قابلیت کنترل آلودگی، قابلیت کاهش آلودگی	(تسنگ و همکاران[3]، ۲۰۱۱؛ گریم و همکاران[4]، ۲۰۱۴)
محصول سبز	خروجی	محصولات سازگار با محیط‌زیست که عاری از آلودگی، صرفه‌جویی در منابع تجدیدپذیر و قابل بازیافت هستند	بسته‌بندی سبز قابل استفادهٔ مجدد	ارگوت[5] (۲۰۱۱)

در جدول ۴، شاخص‌های اجتماعی که در تحقیقات گذشته به طور گسترده در ادبیات زنجیرهٔ تأمین پایدار مورد استفاده قرار گرفته‌اند، نشان داده شده است.

جدول ٤- 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	میزان سهام، توانمندسازی ذی‌نفعان، آموزش مصرف‌کنندگان	(گوینده و همکاران، ۲۰۱۳؛ امین دوست و همکاران، ۲۰۱۲)

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

		دارد		
آموزش کارکنان	ورودی	فرآیند افزایش مهارت‌ها، توانایی‌ها و دانش کارکنان برای یک کار خاص	فرصت‌های شغلی، پیشرفت شغلی	(امین دوست و همکاران، ۲۰۱۲؛ زیمر و همکاران[1]، ۲۰۱۶)
افشای اطلاعات	ورودی	ارائهٔ 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)

شکاف تحقیق

با توجه به بررسی مطالعات انجام گرفته، استفاده از برآوردگرهای مرزی غیرپارامتری بر اساس یک نمونهٔ محدود از مشاهدات مثل روش بوت‌استرپ امری ضروری و لازم برای اصلاح امتیاز کارایی است؛ بنابراین، در این تحقیق برای انجام چنین تجزیه و تحلیلی، از روش بوت‌استرپ در یک ساختار زنجیرهٔ تأمین چندگانه (شبکه‌ای) استفاده می‌کنیم. به طور خلاصه، لازم است تا با سبُک سنگین کردن بین ورودی‌ها یا خروجی‌ها، به‌منظور بهره‌گیری دقیق‌تر و عقلانی‌تر کارایی را ارزیابی کنیم تا ارجاع به سیاست‌های پایداری در یک زنجیرهٔ تأمین برای توسعه فراهم شود. در ابتدا با بررسی ادبیات موجود، به نظر می‌رسد تفاوت چشمگیری میان تأمین‌کنندگان پایدار در مقایسه با تأمین‌کنندگان سنتی از نظر اهداف عملیاتی، مدل‌های قرارداد، روابط و معیارهای ارزیابی وجود دارد. در جدول ۵، این تفاوت‌ها به‌صورت طبقه‌بندی شده نشان داده شده است.

جدول ۵- اختلاف بین تأمین‌کنندگان پایدار و سنتی

نوع تأمین‌کننده	هدف عملیاتی	رابطه در زنجیرهٔ تأمین	تعداد عرضه‌کنندگان	معیار ارزیابی
تأمین‌کنندهٔ پایدار	ماکزیمم سود اقتصادی، اجتماعی	ایجاد شراکت به‌منظور خلق ارزش	ادغام تأمین‌کنندگان	در نظر گرفتن فاکتورهای

[1] Zimmer

	و محیطی	جدید از طریق SSCM		اجتماعی، اقتصادی و محیطی
تأمین‌کنندهٔ سنتی	ماکزیمم سود اقتصادی	استراتژی‌های کوتاه‌مدت	تأمین‌کنندهٔ پراکنده	قیمت، کیفیت و تحویل مشتری

بنابراین، در این تحقیق با مسئلهٔ تخمین مرز کارایی مواجه هستیم؛ بنابراین، ابتدا می‌بایست برآوردی از مرز کارایی به‌دست آورد، سپس کارایی هر واحد را نسبت به آن مرز مقایسه کنیم. واضح است که هرچه مرز برآورد شده بهتر باشد، مقدار امتیاز کارایی به‌دست آمده به مقدار کارایی واقعی نزدیک‌تر خواهد بود. اکثر محققان به طور کلی از تجزیه و تحلیل پوششی داده‌ها یا مدل ابرکارایی تحلیل پوششی داده‌ها در مطالعات کارایی استفاده می‌کنند. کارایی فنی که توسط مدل سنتی CCR-DEA محاسبه می‌شود دارای معایب ذاتی همچون محاسبهٔ فرا تخمینی کارایی به دلیل عوامل تصادفی است. علاوه بر این، کارایی نسبی به معنای کارایی مطلق نیست؛ بنابراین، در این تحقیق برای پوشش این عیب ذاتی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های مبتنی بر بوت‌استرپ و مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های چندمرحله‌ای برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای تحت ارزیابی استفاده شده است. در واقع در این تحقیق، می‌خواهیم تأثیر فاکتورهای پایداری را در امتیاز کارایی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های چندمرحله‌ای و مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های مبتنی بر بوت‌استرپ بررسی نماییم. در واقع می‌خواهیم بررسی کنیم که چگونه با به‌کارگیری روش بوت‌استرپ می‌توان مرز کارایی قابل اطمینان تخمین زد تا برتری آن را نسبت به سایر روش‌های مرسوم و سنتی نشان داد.

روش تحقیق

ایدهٔ اصلی روش تخمین ارزیابی عملکرد و محصولات پایدار از طریق شبیه‌سازی بوت‌استرپ، شبیه‌سازی عددی داده‌های واقعی و محاسبهٔ کارایی داده‌های شبیه‌سازی شده است. در شکل (۱) عملکرد روش به طور خلاصه نشان داده شده است. برای

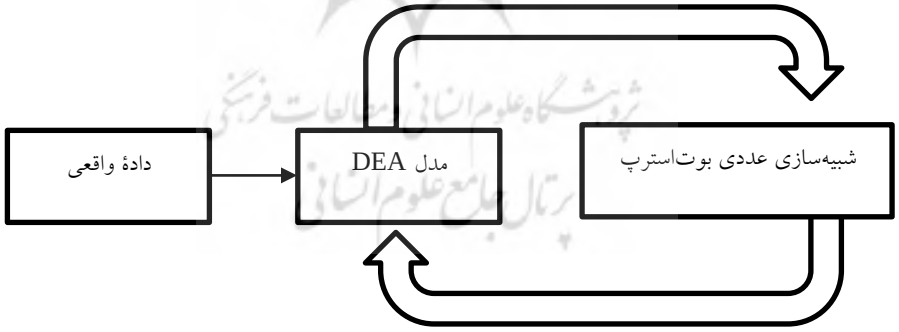
جزئیات مدل پیشنهادی، مراحل زیر را در نظر می‌گیریم.

- 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 به‌دست می‌آوریم.
- با استفاده از مقدار $\widehat{\boldsymbol{\theta}}_{\boldsymbol{k}}$ برای هر DMU با استفاده از بوت‌استرپ، امتیاز کارایی تصادفی $\theta^*_{1b}, \dots, \theta^*_{nb}$ محاسبه می‌شود.
- مقدار شبیه‌سازی را برای (X_{kb}, Y_{kb}) را به‌صورت زیر محاسبه می‌کنیم:

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

- برای هر نمونۀ شبیه‌سازی شده مجدداً باید روش DEA را برای محاسبۀ امتیاز کارایی θ^*_{bk} به‌کار بگیریم.

با تکرار مراحل دوم تا چهارم به اندازۀ B مرتبه، ما با یک گروه از امتیاز تخمین زده شده θ^*_{bk} روبرو خواهیم بود.

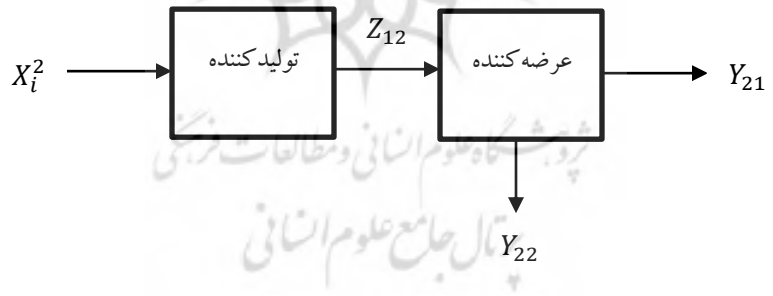


شکل (۱)، نحوۀ عملکرد روش شبیه‌سازی بوت‌استرپ (سونگ و لی، ۲۰۱۹)

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 زنجیرهٔ تأمین ایرانی رب گوجه‌فرنگی بر طبق مطالعهٔ بدیعی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) است. ۲۵ شرکت تولیدی رب گوجه‌فرنگی مورد ارزیابی قرار گرفته است. جدول ۶، فاکتورها و نمادهای مورد استفاده شده را نشان می‌دهد. داده‌های این جدول بر اساس اطلاعات مندرج در مطالعهٔ بدیعی‌زاده و همکاران (۲۰۱۷) است. ساختار زنجیرهٔ تأمین در نظر گرفته شده نیز در شکل ۲ نشان داده شده است. در این مثال، ما با یک زنجیرهٔ تأمین چندگانه سر و کار داریم. در مرحلهٔ (۱) تولیدکننده، در مرحلهٔ (۲) عرضه‌کننده قرار دارد. ورودی مرحلهٔ تأمین‌کنندهٔ هزینه خرید مواد به‌عنوان فاکتور اقتصادی، هزینهٔ رفاهی کارکنان به‌عنوان فاکتور اجتماعی در نظر گرفته شده است. در شکل ۲، بردار ورودی که وارد مرحلهٔ اول می‌شود را با X_i^2 نشان می‌دهیم. Z_{12}، بردار خروجی است که از مرحلهٔ (۱) خارج می‌شود و به‌عنوان بردار ورودی وارد مرحلهٔ (۲) می‌شود. این متغیر به‌عنوان متغیر میانی شناخته می‌شود. متغیرهای خروجی نامطلوب از طریق Y_{22} در مرحلهٔ دوم نشان داده شده است. Y_{21} خروجی نهایی سیستم هستند. داده‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲). ساختار زنجیرهٔ تأمین ایرانی رب گوجه‌فرنگی

جدول (٦). داده‌های واقعی

DMU	زنجیرهٔ 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

بر اساس نتایج به‌دست آمده از کارایی کلی و مرحله‌ای در این زنجیرهٔ تأمین که در جدول ۷ نشان داده شده است، DMU1، DMU2، DMU3، DMU6، DMU7، DMU8، DMU9، DMU11، DMU12، DMU15، 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 مرحلهٔ اول یا دوم ناکارا هستند، ولی مدل آن‌ها را کارای کلی شناسایی کرده است نگرانی‌هایی در خصوص شناسایی واحدهای کاملاً 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 مرحلهٔ اول کارا است؛ ولی در مرحلهٔ دوم ناکارا است را به طور کلی نمی‌توان در مجموعهٔ DMUهای کارا قرار داد؛ بنابراین، با استفاده از میانگین کارایی مرحلهٔ اول و مرحلهٔ دوم، یک مقدار کارایی برای مقدار بوت‌استرپ در نظر می‌گیریم تا با استفاده از آن مقدار ورودی‌ها و خروجی‌ها را طبق مرحلهٔ سوم روش پیشنهادی به‌دست آوریم. مقدار کارایی بوت‌استرپ حاصل از میانگین کارایی مرحلهٔ اول و دوم در ستون آخر جدول ۷ با نماد θ^*_{nb} نشان داده شده است.

جدول (۷). محاسبهٔ امتیاز کارایی کلی و هر مرحله

DMU	کارایی کلی $\hat{\theta}_k$	کارایی مرحلهٔ اول $\hat{\theta}_{k1}$	کارایی مرحلهٔ دوم $\hat{\theta}_{k2}$	کارایی بوت‌استرپ θ^*_{nb}
1	۱	۱	۰.۸۲	۰.۹۱
2	۱	۱	۱	۱
3	۱	۱	۰.۷۸	۰.۸۹
4	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۷۲	۰.۸۱
5	۰.۸۲	۰.۸۲	۰.۷۲	۰.۷۷
6	۱	۱	۱	۱
7	۱	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۹۰
8	۱	۰.۶۱	۱	۰.۸۰
9	۱	۱	۰.۶۴	۰.۸۲
۱۰	۰.۹۳	۰.۹۲	۰.۸۸	۰.۹۰
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	۱	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 بوت‌استرپ محاسبه شده مقدار ورودی و خروجی تصادفی بوت‌استرپ را بر اساس جدول ۸ محاسبه می‌نماییم تا مجدداً مقدار کارایی کلی و نهایی واحدهای تحت ارزیابی را محاسبه نماییم.

جدول (۸). داده‌های تصادفی مبتنی بر بوت‌استرپ

DMU	زنجیرهٔ 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
۸	مهرام	۱.۷۵	۰.۷۹	۰.۷۸	۰.۸	۰.۳۲
۹	چین چین	۱	۰.۷۶	۰.۶۱	۰.۸۶	۱
۱۰	تبرک	۰.۶۵	۰.۸	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 بوت‌استرپ، کارایی کلی و مرحله‌ای زنجیرهٔ تأمین مجدداً 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، DMU11 و DMU12 کارا محسوب می‌شوند.

جدول (۹). محاسبهٔ امتیاز کارایی کلی و مرحله‌ای مبتنی بر بوت‌استرپ

DMU	کارایی کلی $\hat{\theta}_k$	کارایی مرحلهٔ اول $\hat{\theta}_{k1}$	کارایی مرحلهٔ دوم $\hat{\theta}_{k2}$
1	۰.۸۹	۱	۰.۸۲
2	۱	۱	۱
3	۰.۹۱	۱	۰.۷۸
4	۰.۹۰	۰.۹۰	۰.۷۲
5	۰.۸۲	۰.۸۲	۰.۷۲
6	۱	۱	۱
7	۰.۷۷	۰.۹۰	۰.۹۰
8	۰.۷۸	۰.۶۱	۱
9	۰.۷۵	۱	۰.۶۴
۱۰	۰.۹۳	۰.۹۲	۰.۸۸
۱۱	۱	۱	۱
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

بحث و نتیجه‌گیری

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش ناپارامتری برای محاسبهٔ کارایی واحدهای تحت ارزیابی است که فعالیت یکسانی انجام می‌دهند. مرز به‌دست 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 عموماً در دنیای واقعی، غیرقابل دسترس است. کارایی به‌دست آمده از این روش یک مقدار نسبی و نه مقدار واقعی است. به عبارت دیگر کارایی به‌دست آمده از این روش برآوردی از مقدار کارایی است. به دلیل نامشخص بودن توزیع جامعه میزان دقت کارایی برآورده شده مورد سؤال قرار می‌گیرد. تحلیل پوششی داده‌ها ابزار قدرتمندی برای محاسبهٔ کارایی است. با این وجود حساسیت مدل‌های آن به تغییر نمونه سبب کاهش اطمینان به مقادیر کارایی‌های به‌دست آمده از این روش می‌شود. مدیریت زنجیرهٔ تأمین پایدار در سال‌های گذشته توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. در میان روش‌های ارزیابی مدیریت زنجیرهٔ تأمین پایدار، تحلیل پوششی داده‌ها روشی مناسب برای ارزیابی است. زیرا تحلیل پوششی داده‌ها یک از مؤثرترین روش‌ها برای ارزیابی عملکرد نهادها است. زیرا این رویکرد نیازمند هیچ تصمیم‌گیرنده‌ای نیست که مقادیر وزنی اختصاص‌یافته به شاخص‌ها را توصیف کند و نه‌تنها شاخص‌های وزن به طور مستقیم از داده‌های موجود در تحلیل پوششی داده‌ها به‌دست می‌آید، بلکه این روش قادر است بین ارقام معیارها بر اساس نمرهٔ کارایی تمایز ایجاد کند و همچنین منابع و مقادیر ناکارآمد واحدهای تحت ارزیابی ناکارآمد را شناسایی کند. عیب عمدهٔ مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها این است که خاصیت فرا تخمینی مرز کارایی دارد. از این رو، در این مقاله با استفاده از فرآیند شبیه-

سازی بوت‌استرپ برای بالا بردن دقت کارایی برآورده شده استفاده شده است. برای نشان دادن روش پیشنهادی، یک مورد مطالعاتی واقعی در شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین رب گوجه‌فرنگی در نظر گرفته شده است. بر طبق نتایج، دقت روش بکار گرفته شده نشان داده شده است. زیرا در مقایسه با مطالعهٔ بدیهی‌زاده 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 فرا تخمینی طبعیت می‌کنند. همچنین، این نتیجه در مقایسه با تعداد واحدهای کارای شناسایی شده در مطالعهٔ سانگ و لی (۲۰۱۹)؛ شانگ و همکاران (۲۰۲۲) نیز رخ داده است. زیرا، در این مطالعه برای محاسبهٔ 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 زنجیرهٔ تأمین را شناسایی می‌کنیم. این تحلیل می‌تواند به تحلیل‌گران کمک کند تا نقاط ضعف و قوت در زنجیرهٔ تأمین را شناسایی کرده و بهبودهای لازم را اعمال نمایند. با استفاده از شبیه‌سازی بوت‌استرپ، مدل‌های زنجیرهٔ تأمین پایدار را ایجاد می‌نماییم و عملکرد آن‌ها را بررسی می‌کنیم. این شبیه‌سازی می‌تواند به ما کمک کند تا اثرات تغییرات مختلف در زنجیرهٔ 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 بوت‌استرپ، عملکرد زنجیرهٔ تأمین را ارزیابی نماییم. از معیارهای مختلفی مانند کارایی، پایداری، امنیت و هزینه استفاده کنید تا عملکرد زنجیرهٔ تأمین را بهبود ببخشید. در 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 به‌دست بیاورند و نتایج را با یکدیگر مورد مقایسه قرار دهند. همچنین، خروجی‌های نامطلوب و ورودی‌ها تحت تکنولوژی مدیریتی و غیرمدیریتی بررسی شود.

Reference

- 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., and R. Kant. 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, Alireza, Hosseini Nihad, Saeed, Habibinia, Qasim, (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., and F. Bardudeen. 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. and R. H. Green (2005). Evaluating power plant efficiency: a hierarchical model. *Computers & Operations Research* 32(4), 813–823.
- Cooper, W. W., L. M. Seiford, and K. Tone (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, Saeed, (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, and 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., and 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., A. Moretto, F. Caniato, M. Caridi, and M. Kalchschmidt. 2017. Developing Sustainability in the Italian Meat Supply Chain: An Empirical Investigation. International Journal of Production Research 55 (4): 1183–1209.
- Govindan, K., K. Muduli, K. Devika, and A. Barve. 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., A. Karimi, and M. Tavana. 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., and Y. H. Li. 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., and 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, Gholamreza, Hosseinzadeh Lotfi, Farhad, Niko Maram, Hashem, (2013), Envelopment analysis of data and its applications, Nafis.(in Persian)
- Jia, F., L. Zuluaga-Cardona, A. Bailey, and X. Rueda. 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, Djordjevic, B, (2019). A New DEA Model for Evaluation of Supply Chains: A Case of Selection and Evaluation of Environmental Efficiency of Suppliers, 565(11), 1-21.
- 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., and K. Mathiyazhagan. 2018. Application of DEMATEL Approach to Identify the Influential Indicators Towards Sustainable
- Long, L., Thap, L. V., Hoai, N., and Pham, T. (2020). Data envelopment analysis for analyzing technical efficiency in aqua culture: the bootstrap methods. Aquaculture economics & management, 171, 1-25.
- Luthra, S., K. Govindan, D. Kannan, S. K. Mangla, and C. P. Garg. 2017. An Integrated Framework for Sustainable Supplier Selection and Evaluation in Supply Chains. Journal of Cleaner Production 140: 1686–1698.
- Mathivathanan, D., D. Kannan, and A. N. Haq. 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.
- Supply Chain Adoption in the Auto Components Manufacturing Sector. Journal of Cleaner Production 172: 2931–2941.
- 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., Y. F. Badir, W. Tariq, and U. S. Bhutta. 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.
- Yan, L., Ma, C., Yang, Y., Zhan, E., and 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., and 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., F. Chu, A. Dolgui, C. Chu, W. Zhou, and S. Piramuthu. 2018. Recent Advances and Opportunities in Sustainable Food Supply Chain: A Model-Oriented Review. International Journal of Production Research.
- 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.