مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال نوزدهم، شماره دوم (پیاپی ۷۳)، تابستان ۰۱، ص ص ۳۷-۲۳
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

مدل‌سازی رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها تحت داده‌های مبتنی بر سناریو: کاربرد در پروژه‌های تحقیق و توسعه

پژمان پیکانی[۱]، جعفر قیدرخلجانی[۲*]

۱- دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

۲- دانشیار، مجتمع دانشگاهی مدیریت و مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۵ فروردین ۱۴۰۰

پذیرش مقاله: ۱۹ دی ۱۴۰۰

چکیده

یکی از چالش‌های بسیار مهم در استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها در مسایل دنیای واقعی، چگونگی برخورد با عدم قطعیت موجود در داده‌ها می‌باشد. زیرا نتایج حاصل از روش تحلیل پوششی داده‌ها به طرز قابل توجهی نسبت به تغییرات داده‌ها، حساس هستند. به طوری که ممکن است تغییر اندکی در داده‌ها، منجر به تغییر چشمگیری در نتایج کارایی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده گردد. از این رو ارایه یک رویکرد استوار تحلیل پوششی داده‌ها به منظور برخورد با داده‌های غیرقطعی امری ضروری است. به خصوص زمانی که داده‌ها به ازای سناریوهای مختلف دارای مقادیر متفاوتی هستند. بنابراین، هدف از پژوهش پیش‌رو، ارایه رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استوار با قابلیت پیاده‌سازی تحت داده‌های مبتنی بر سناریو می‌باشد. هم چنین از رویکرد پیشنهادی پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه در ایران بهره گرفته می‌شود.

کلمات کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها، بهینه‌سازی استوار، عدم قطعیت گسسته، پروژه‌های تحقیق و توسعه.

۱ مقدمه

تحلیل پوششی داده‌ها، رویکردی ناپارامتریک و مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی است که اولین بار توسط چارنز و همکاران [۱] بر اساس تعمیم ایده فارل [۲] از یک ورودی و خروجی به چندین ورودی و خروجی، به منظور ارزیابی عملکرد مجموعه‌ای از واحدهای تصمیم‌گیرنده متجانس ارایه شده است. روش تحلیل پوششی داده‌ها یکی از توانمندترین و پرکاربردترین روش‌های حوزه ارزیابی عملکرد می‌باشد، به طوری که تاکنون مطالعات بسیار قابل توجه و فراوانی چه از لحاظ توسعه مدل‌ها و چه از لحاظ کاربرد در حوزه‌ها و مسایل مختلف، توسط پژوهشگران صورت پذیرفته است [۳].

* عهده‌دار مکاتبات

آدرس الکترونیکی: kheljani@mut.ac.ir

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

یکی از مفروضات اساسی در استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها، لزوم دقیق و قطعی بودن داده‌های ورودی و خروجی می‌باشد [۵-۴]. زیرا رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها نسبت به تغییرات داده دارای حساسیت قابل توجهی می‌باشد، به طوری که وجود انحرافی کوچک در داده‌ها می‌تواند منجر به تغییرات چشمگیری در نتایج کارایی و هم چنین رتبه‌بندی واحدهای تصمیم گیرنده گردد [۷-۶]. این موضوع در حالی است که در بسیاری از کاربردها و مسایل دنیای واقعی، تعیین مقدار دقیق داده‌ها برای برخی از ورودی‌ها و یا خروجی‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد [۹-۸].

از این رو در چنین شرایطی، نیاز به ارایه و بهره‌گیری از رویکردها و مدل‌های تحلیل پوششی داده‌هایی است که بتوانند کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده را در حضور عدم قطعیت داده‌ها، اندازه‌گیری نمایند [۱۱-۱۰]. بدین منظور محققین، با توجه به نوع عدم قطعیت داده‌ها و با استفاده از رویکردهای پر کاربرد حوزه برنامه‌ریزی عدم قطعیت هم چون برنامه‌ریزی تصادفی، برنامه‌ریزی ریاضی فازی، برنامه‌ریزی بازه‌ای و بهینه‌سازی استوار، به ارایه مدل‌های نوین تحلیل پوششی داده‌ها با قابلیت پیاده‌سازی در حضور داده‌های غیرقطعی پرداخته‌اند. لازم به ذکر است که در یک طبقه‌بندی کلی، عدم قطعیت موجود در داده‌ها به دو دسته گسسته و پیوسته تقسیم می‌شود که در حوزه برنامه‌ریزی عدم قطعیت، متناسب با هر یک از این دو دسته، رویکردهای مختلفی ارایه شده است [۱۲].

هدف از پژوهش پیش رو، ارایه رویکرد تحلیل پوششی داده‌های غیرقطعی با قابلیت محاسبه کارایی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده در حضور عدم قطعیت گسسته و داده‌های مبتنی بر سناریو می‌باشد. زیرا در بسیاری از موارد، داده‌های مورد استفاده به ازای حالات و سناریوهای مختلف، مقادیر متفاوتی اختیار می‌نمایند. لازم به توضیح است که رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو، یکی از رویکرد های پرکاربرد به منظور برخورد با عدم قطعیت گسسته می‌باشد که تاکنون به دفعات در مسایل مختلف توسط پژوهشگران مورد استفاده قرار گرفته است. از این رو، در پژوهش پیش‌رو نیز، از این رویکرد به منظور ارایه مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو، بهره گرفته می‌شود. هم‌چنین هدف کاربردی این تحقیق، پیاده‌سازی رویکرد مذکور در حوزه پروژه‌های تحقیق و توسعه به منظور ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی آنها با توجه به عدم قطعیت داده‌ها تحت سناریوهای محتمل می‌باشد.

ساختار مقاله پیش‌رو در ادامه بدین صورت می‌باشد که ابتدا در بخش ۲، پیشینه تجربی پژوهش با هدف بررسی مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در حوزه تحلیل پوششی داده‌های استوار ارایه می‌شود. هم‌چنین در بخش ۳، پیشینه نظری پژوهش شامل رویکرد تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک و بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو توضیح داده می‌شوند. سپس در بخش ۴، رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو تحت بازده به مقیاس ثابت و متغیر ارایه می‌گردد. در ادامه در بخش ۵، به پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی پژوهش با هدف ارزیابی عملکرد پروژه‌های تحقیق و توسعه پرداخته می‌شود. در نهایت نیز در بخش ۶، نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی تحقیق ارایه می‌گردند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

۲ پیشینه تجربی پژوهش

سجادی و عمرانی [۱۳] برای اولین بار به ارایه مدل نوین تحلیل پوششی داده‌های غیرقطعی با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار پرداخته‌اند. آنها در پژوهش خویش، به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت پیوسته موجود در داده‌های خروجی مدل CCR، از دو رویکرد استوار بن-تال و نمیروفسکی [۱۴] و برتسیماس و سیم [۱۵] بهره گرفته‌اند. هم‌چنین به منظور نشان دادن کارآمدی رویکرد پیشنهادی تحلیل پوششی داده‌های استوار، از رویکرد مذکور به منظور ارزیابی عملکرد شرکت های توزیع برق در ایران استفاده نموده‌اند. شکوهی و همکاران [۱۶] به ارایه مدل استوار تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای با داده‌های غیردقیق پرداخته‌اند. مدل مورد استفاده در پژوهش، مدل CCR ورودی محور بازه‌ای می‌باشد که به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در داده‌های خروجی و ورودی که به صورت بازه‌ای نیز می‌باشند، از رویکرد استوار برتسیماس و سیم [۱۵] استفاده شده است.

وانگ و وی [۱۷] تاثیر اغتشاشات در مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌ها را بر نتایج کارایی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده مورد بررسی قرار داده‌اند. آنها مدل استوار CCR ورودی محور و خروجی محور را به ترتیب به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در خروجی‌ها و ورودی‌ها با استفاده از رویکرد های استوار سویستر [۱۸] و بن-تال و نمیروفسکی [۱۴] ارایه نموده‌اند. سجادی و همکاران [۱۹] مدل استوار ابرکارایی تحلیل پوششی داده‌ها را بر اساس رویکرد اندرسون و پترسون [۲۰] با هدف رتبه‌بندی شرکت‌های استانی توزیع گاز در ایران تحت عدم قطعیت پیوسته ارایه نموده‌اند. لازم به ذکراست که در ارایه مدل مذکور از رویکرد استوار بن-تال و نمیروفسکی [۱۴] استفاده شده است. خاکی و همکاران [۲۱] در پژوهش خویش با هدف ارزیابی عملکرد مراکز بهداشت و درمان عمومی، مدل CCR ورودی محور را با در نظر گرفتن عدم قطعیت در داده‌های خروجی با استفاده از رویکرد استوار برتسیماس و سیم [۱۵] استوار نموده‌اند و نتایج مدل ارایه‌شده را با روش تحلیل مرز تصادفی مقایسه کرده‌اند که نتایج حاکی از کارآمد بودن مدل پیشنهادی می‌باشد.

عمرانی [۲۲] به توسعه مدل استوار سجادی و عمرانی [۱۳] با قابلیت در نظر گرفتن عدم قطعیت در ورودی‌ها و خروجی‌ها به صورت همزمان پرداخته است. لازم به ذکر است که در مدل CCR ورودی محور با توجه به محدودیت تساوی مربوط به ورودی‌ها، در نظر گرفتن عدم قطعیت در ورودی‌ها به سادگی امکان پذیر است. از این رو عمرانی [۲۲] در پژوهش خویش تلاش نمود تا یک مدل استوار تحلیل پوششی داده‌ها به منظور رفع این مشکل ارایه نماید. لازم به ذکر است که مدل مذکور با استفاده از رویکرد پارامتریک حل و خط‌سازی شده است. هم‌چنین به منظور در نظر گرفتن میزان اغتشاشات در داده‌های ورودی و خروجی، از یک عدد فازی به جای یک عدد قطعی استفاده شده است که سبب افزایش انعطاف‌پذیری و سهولت مدل در به‌کارگیری توسط تصمیم‌گیرنده می‌شود. وی برای به دست آوردن کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده پیشنهاد نمود تا پس از به دست آوردن کارایی همه واحدها، میزان کارایی هر یک به بیشترین مقدار کارایی در بین تمامی واحدها تقسیم گردد. در نهایت، مدل ارایه‌شده در پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد شرکت‌های استانی توزیع گاز در ایران استفاده شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

حافظ الکتب و همکاران [۲۳] به اندازه‌گیری کارایی شرکت‌های توزیع برق ایران با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استوار تحت عدم قطعیت گسسته پرداخته‌اند. رویکرد مورد استفاده در این پژوهش، رویکرد استوار مبتنی بر سناریوی مالوی و همکاران [۲۴] می‌باشد که با استفاده از آن، مدل CCR ورودی محور تحت سه سناریو مختلف مورد انتظار برای ورودی‌ها و خروجی‌ها، استوار شده است. لو [۲۵] به منظور ارزیابی کارایی الگوریتم‌های فرا ابتکاری شامل الگوریتم ژنتیک و الگوریتم تبرید شبیه‌سازی‌شده تحت ترکیب‌ها و پارامترهای مختلف، از مدل استوار تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نموده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش، استوارسازی مدل BCC خروجی محور با دو رویکرد استوار بن-تال و نمیروفسکی [۱۴] و برتسیماس و سیم [۱۵] صورت گرفته است. نتایج پژوهش نشان می‌دهند که مدل‌های استوار تحلیل پوششی داده‌ها قادر به شناسایی پیکربندی‌های الگوریتمی کارآمد هستند.

مردانی و سالار پور [۲۶] با هدف ارزیابی توانایی تولید سیب‌زمینی در مناطق مختلف ایران از مدل استوار تحلیل پوششی داده‌ها استفاده نموده‌اند. آنها هم‌چنین به تجزیه و تحلیل سازگاری رتبه‌بندی‌های حاصل از مدل ریاضی با واقعیت با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو پرداخته‌اند، بدین صورت که برای هر ورودی و خروجی مربوط به واحدهای تصمیم‌گیرنده، اعداد تصادفی را در یک بازه مشخص‌شده تولید نموده‌اند. اردکانی و همکاران [۲۷] یک مدل استوار تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با ساختار دو مرحله‌ای را به منظور اندازه‌گیری کارایی فرآیندهای تولید و توزیع برق ایران ارایه نمودند. آنها از رویکرد استوار برتسیماس و سیم [۱۵] به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت در خروجی‌ها و اندازه‌های میانی شبکه‌های برق در ایران استفاده نمودند. لازم به ذکر است که مدل تحلیل پوششی داده‌های دو مرحله‌ای پژوهش، مدل کائو و هوانگ [۲۸] می‌باشد. پیکانی و همکاران [۲۹] به ارایه سه مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار شامل مدل های CCR، BCC و جمعی پرداخته‌اند و سپس از مدل‌های مذکور به منظور ارزیابی عملکرد سهام استفاده نموده‌اند.

اسفندیاری و همکاران [۳۰] با بهره‌گیری از رویکرد استوار مبتنی بر سناریوی مالوی و همکاران [۲۴]، دو مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای با ساختار دو مرحله‌ای به‌منظور استفاده در حضور داده‌های غیرقطعی گسسته ارایه نموده‌اند و سپس با بهره‌گیری از رویکرد پیشنهادی خویش، چندین شعب بانک در آمریکا را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. زاهدی سرشت و همکاران [۳۱] به ارایه رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استوار با قابلیت پیاده‌سازی در حضور سناریوهای مختلف پرداخته‌اند. لازم به ذکر است که رویکرد مذکور تحت بازده به مقیاس ثابت مدل‌سازی شده است. امیرخان و همکاران [۳۲] با تلفیق مفاهیم فازی و بهینه‌سازی استوار، رویکرد جدید تحلیل پوششی داده‌های استوار فازی را به منظور استفاده در حضور سناریوهای فازی ارایه نموده‌اند. پیکانی و همکاران [۳۳] به ارایه یک رویکرد نوین تحلیل پوششی داده‌های استوار با قابلیت پیاده‌سازی در حضور عدم قطعیت ترکیبی گسسته و پیوسته پرداخته‌اند. آنها با استفاده از رویکرد مذکور، سهام پذیرفته‌شده در صنعت بانک و موسسات مالی از بورس اوراق بهادار تهران را مورد ارزیابی عملکرد و بررسی قرار داده‌اند. پیکانی و همکاران [۳۴] با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استوار، اقدام به ارزیابی و شناسایی سهام مطلوب با هدف تشکیل سبد سرمایه گذاری بهینه وکارآمد نموده‌اند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

اکنون پس از بررسی تعدادی از مهم‌ترین مطالعات بی‌المللی و لاتین صورت گرفته در حوزه تحلیل پوششی داده‌های استوار، در ادامه مطالعات داخلی انجام شده در حوزه مذکور در قالب پژوهش‌های فارسی مورد بررسی قرار می‌گیرند. صلاحی و همکاران [۳۵] به ارایه مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار تحت عدم قطعیت بازه‌ای در ورودی‌ها و خروجی‌ها پرداخته‌اند. آنها در پژوهش خویش نشان داده‌اند که دوگان همتای استوار مدل پوششی با همتای خوش‌بینانه دوگان آن معادل می‌باشد. پیکانی و روغنیان [۳۶] از مدل استوارBCC به منظور تشکیل سبد سرمایه‌گذاری تحت عدم قطعیت داده‌های مالی در بازار سهام ایران استفاده نموده‌اند. صالحی و نوری [۳۷] به بهینه‌سازی سبد مشتریان در تخصیص بودجه بازاریابی با بهره‌گیری از رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و بهینه‌سازی استوار پرداخته‌اند. عرب مالدار و حسین زاده سلجوقی [۳۸] مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها را با هدف شناسایی واحدهای دارای بدترین عملکرد تحت عدم قطعیت بازه‌ای، استوار نموده‌اند و برای برای تعیین واحدهای دارای بدترین عملکرد از مفهوم جدید ابرناکارا استفاده کرده‌اند. سید اسماعیلی و همکاران [۳۹] رویکرد تحلیل پوششی داده‌های بازه‌ای استوار را به منظور محاسبه کارایی و ارزیابی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیرنده تحت شرایط عدم قطعیت مضاعف داده‌ها ارایه نموده‌اند. نتایج پژوهش مذکور نشان می‌دهد که بهره‌گیری از رویکرد مذکور می‌تواند درجه محافظه‌کاری و اعتبار نتایج کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده و رتبه‌بندی حاصله را به میزان قابل توجهی افزایش دهد.

همان طور که در مرور ادبیات صورت گرفته بر روی مطالعات حوزه تحلیل پوششی داده‌های استوار ملاحظه می‌گردد، اکثریت پژوهش‌های حوزه مذکور مربوط به عدم قطعیت پیوسته می‌باشند و تنها تعدادی از پژوهش‌ها به مدل‌سازی تحت عدم قطعیت گسسته و داده‌های مبتنی بر سناریو توجه نموده‌اند. از این رو به منظور برطرف نمودن این شکاف تحقیقاتی، در این پژوهش به ارایه رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو پرداخته می‌شود.

۳ پیشینه نظری پژوهش

در این بخش به ارایه مبانی نظری تحقیق به منظور آشنایی با مدل‌ها، رویکردها، مفاهیم و روابط مورد نیاز که در ادامه در راستای ارایه رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو مورد استفاده قرار می‌گیرند، پرداخته می‌شود.

۳-۱تحلیل پوششی داده‌ها

مدل CCR اولین مدل در تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد که اولین بار توسط چارنز و همکاران [۱] معرفی شد و نام آن برگرفته از حروف اول اسامی ارایه‌کنندگان آن است. لازم به ذکر است که مدل مذکور، پایه و اساس بسیاری از مدل‌های امروزی و پیشرفته تحلیل پوششی داده‌ها به حساب می‌آید. فرم مضربی مدل CCR در ماهیت ورودی به صورت مدل (۱) می‌باشد:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{r=1}^{s} y_{ro} u_r \qquad (1) \\ s.t. \quad & \sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r - \sum_{i=1}^{m} x_{ij} v_i \le 0, \quad \forall j, \\ & \sum_{i=1}^{m} x_{io} v_i = 1, \\ & v_i , u_r \ge 0, \quad \forall i, r. \end{aligned}$$

مدل CCR دارای فرض بازده به مقیاس ثابت است. بنکر و همکاران [۴۰] با تغییر در مدل CCR مدل جدیدی ارایه کردند که مدل BCC نامیده شد. مدل BCC کارایی نسبی واحدها را تحت بازده به مقیاس متغیر برآورد می‌کند. تفاوت این مدل نسبت به مدل CCR همین اصل بازده به مقیاس متغیر است. فرم مضربی مدل BCC در ماهیت ورودی به صورت مدل (۲) می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \sum_{r=1}^{s} y_{ro} u_r + w \qquad (2) \\ s.t. \quad & \sum_{r=1}^{s} y_{rj} u_r - \sum_{i=1}^{m} x_{ij} v_i + w \le 0, \quad \forall j, \\ & \sum_{i=1}^{m} x_{io} v_i = 1, \\ & v_i , u_r \ge 0, \quad \forall i, r. \end{aligned}$$

لازم به ذکر است که $x_{ij}\ (i=1,...,m)$، $y_{rj}\ (r=1,...,s)$ و $v_i\ (i=1,...,m)$، $u_r\ (r=1,...,s)$ به ترتیب بیانگر ورودی‌ها، خروجی‌ها، اوزان ورودی‌ها، اوزان خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده $DMU_j\ (j=1,...,n)$ می‌باشند. هم‌چنین از متغیر آزاد در علامت w به منظور برقراری فرض بازده به مقیاس متغیر و ارایه مدل BCC بهره گرفته شده است. توجه به این نکته ضروری است که در مدل CCR به دلیل وجود اصل بازده به مقیاس ثابت، تعداد واحدهای کمتری بر روی مرز کارایی قرار می‌گیرند و واحدها ممکن است با واحدهایی بسیار بزرگ‌تر یا بسیار کوچک‌تر از خود مقایسه شوند که همین مساله باعث کم‌شدن کارایی واحدها می‌شد. از این رو مدل BCC در بسیاری از موارد نزدیک‌تر به مسایل واقعی می‌باشد.

۳-۲ بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو

رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو اولین بار توسط مالوی و همکاران [۲۴] مطرح شده است. لازم به ذکر است که از این رویکرد زمانی استفاده می‌شود که داده‌ها دارای ماهیت گسسته و مبتنی بر سناریو باشند. آنها یک رویکرد بهینه‌سازی استواری با دیدگاه واقع‌بینانه را بر اساس برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای و مطرح نمودن دو مفهوم استواری‌شدنی بودن و استواری بهینگی ارایه نمودند.

استواری شدنی بودن بدین معنی می‌باشد که جواب به‌دست آمده از مدل، برای تمامی و یا اکثریت حالات ممکن پارامترهای دارای عدم قطعیت تقریباً شدنی باقی بماند. هم چنین استواری بهینگی نیز بدین معنی می‌باشد

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

که مقدار تابع هدف مدل به ازای جواب استوار، برای تمامی و یا اکثریت حالات ممکن پارامترهای دارای عدم قطعیت، نزدیک به مقدار بهینه خویش باشد.

در مدل بهینه‌سازی استوار ارایه‌شده توسط مالوی و همکاران [۲۴]، دو نوع متغیر شامل متغیرهای ساختاری یا طراحی و متغیرهای کنترل وجود دارد. برای متغیرهای طراحی قبل از فهم پارامترهای احتمالی تصمیم‌گیری می‌شود و نمی‌توان آن‌ها را مورد بازنگری قرار داد، حال آن که متغیرهای کنترل بعد از یک فهم خاص از پارامترهای عدم قطعیت تعدیل می‌شوند. به منظور آشنایی با رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو، مدل (۳) را به صورت زیر در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \Phi = \alpha^T A + \beta^T B \\ s.t. \quad & \varphi x = \lambda, \\ & \mu x + \gamma y = \varepsilon, \\ & A, B \geq 0. \end{aligned} \tag{۳}$$

در مدل (۳)، A بردار متغیرهای ساختاری و B بردار متغیرهای کنترل است. پارامترهای φ و λ قطعی و معین و محدودیت دوم، محدودیت ساختاری است. پارامترهای μ و γ و ε پارامترهای دارای عدم قطعیت و محدودیت سوم، محدودیت کنترل است. لازم به توضیح است که یک فهم خاص از پارامتر دارای عدم قطعیت سناریو نامیده می‌شود که به آن نماد π اختصاص می‌یابد و احتمال آن با p_π مشخص می‌شود. هم‌چنین برای نشان دادن مجموعه‌ای از سناریو از نماد Ω استفاده می‌شود. مدل بهینه‌سازی استوار مالوی و همکاران [۲۴] با در نظرگرفتن تحلیل هزینه-فایده بین استواری شدنی بودن و استواری بهینگی به صورت مدل (۴) می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \Phi = \sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \Phi_\pi + \varpi \sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \left(\Phi_\pi - \sum_{\pi'\in\Omega} p_{\pi'} \Phi_{\pi'} \right)^2 + \zeta \sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \eta_\pi^2 \\ s.t. \quad & \Phi_\pi = \alpha^T A + \beta_\pi^T B_\pi, \quad \forall \pi \in \Omega, \\ & \varphi x = \lambda, \\ & \mu_\pi x + \gamma_\pi y_\pi + \eta_\pi = \varepsilon_\pi, \\ & A, B_\pi \geq 0, \quad \forall \pi \in \Omega. \end{aligned} \tag{۴}$$

لازم به ذکر است در تابع هدف مدل (۴)، عبارات اول و دوم به ترتیب مربوط به امید ریاضی و واریانس تابع هدف برای تمامی سناریوها می‌باشند که کنترل‌کننده استواری بهینگی است. عبارت سوم نیز کنترل‌کننده استواری شدنی بودن می‌باشد که غیرموجه بودن مدل را تحت هر سناریو نشان می‌دهد.

همان طور که در تابع هدف ملاحظه می‌شود، مدل مذکور به علت حضور عبارت مربوط به واریانس، یک مساله غیرخطی می‌باشد که قابل تبدیل به یک مساله خطی است. یو و لی [۴۱] برای کاهش پیچیدگی محاسباتی پیشنهاد نمودند که از قدر مطلق انحراف به جای واریانس استفاده شود. اگرچه عبارت پیشنهادی شامل مقادیر قدرمطلق است ولیکن به وسیله متغیر اضافی می‌توان مدل فوق را به صورت زیرخطی نمود:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

$$\text{Min} \quad \Phi = \sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \Phi_\pi + \varpi \sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \left(G_\pi^+ + G_\pi^-\right) + \zeta \sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \eta_\pi^{\gamma} \qquad (۵)$$

$$s.t. \quad \Phi_\pi - \sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \Phi_\pi = G_\pi^+ - G_\pi^-, \quad \forall \pi \in \Omega,$$

$$\Phi_\pi = \alpha^T A + \beta_\pi^T B_\pi, \quad \forall \pi \in \Omega,$$

$$\varphi x = \lambda,$$

$$\mu_\pi x + \gamma_\pi y_\pi + \eta_\pi = \varepsilon_\pi,$$

$$A,\ B_\pi,\ G_\pi^+,\ G_\pi^- \geq \circ, \quad \forall \pi \in \Omega.$$

همان طور که در مدل (۵) ملاحظه می‌شود، خطی‌سازی رویکرد استوار مالوی و همکاران [۲۴] به راحتی با استفاده از دو متغیر G_π^+ و G_π^-، صورت پذیرفته است.

٤ تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو

همان طور که در بخش پیشین و مرورادبیات حوزه تحلیل پوششی داده‌های استوار ملاحظه گردید، اکثریت مطالعات صورت گرفته در این حوزه، معطوف به عدم قطعیت پیوسته می‌باشند. حال آنکه در بسیاری از مسایل و کاربردهای دنیای واقعی، نوع عدم قطعیت داده‌ها به صورت گسسته می‌باشد. بدین صورت که داده‌های مورد استفاده در مدل به ازای سناریوهای مختلف، مقادیرمتفاوت اختیار می‌نمایند. از این رو و با توجه به اهمیت عدم قطعیت گسسته، در این بخش به ارایه مدل مدل ابر کارایی تحلیل پوششی داده‌های استوار با قابلیت رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیرنده در حضور سناریوهای مختلف برای ورودی‌ها و خروجی‌ها پرداخته می‌شود. لازم به توضیح است که بدین منظور از بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو و رویکرد ابرکارایی اندرسون و پترسون [۲۰] بهره گرفته می‌شود. هم‌چنین به منظور جامعیت بیشتر رویکرد تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو، رویکرد پیشنهادی پژوهش تحت هر دو بازده به مقیاس ثابت و متغیر و با استفاده از مدل‌های CCR و BCC به عنوان مدل‌های پایه پژوهش، ارایه می‌گردد. بدین منظور مدل‌های (۱) و (۲) را درنظر بگیرید که در آن‌ها، داده‌های ورودی و خروجی به ازای هر سناریو، مقادیر متفاوتی اختیار می‌نمایند. به طوری که اندیس π بیانگر سناریوی πام می‌باشد که دارای احتمال مشخص p_π می‌باشد. هم‌چنین مجموعه تمامی سناریوهای ممکن برای داده‌های مدل، در قالب مجموعه Ω تعریف شده است. با توجه به توضیحات مذکور، مدل ابرکارایی تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو تحت بازده به مقیاس ثابت در قالب مدل (۶) می‌باشد:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

$$\text{Max} \quad \varpi \sum_{\pi\in\Omega}\sum_{r=1}^{s} p_\pi y_{ro\pi} u_{r\pi} - (1-\varpi)\sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \left(\phi_\pi^+ + \phi_\pi^-\right) \tag{۶}$$

$$s.t. \quad \sum_{\pi\in\Omega}\sum_{r=1}^{s} p_\pi y_{ro\pi} u_{r\pi} - p_\pi \left(\sum_{\pi'\in\Omega}\sum_{r=1}^{s} p_{\pi'} y_{ro\pi'} u_{r\pi'} + \sum_{\pi'\in\Omega} w_{o\pi'} \right) = \phi_\pi^+ + \phi_\pi^- , \quad \forall \pi \in \Omega,$$

$$\sum_{r=1}^{s} y_{rj\pi} u_{r\pi} - \sum_{i=1}^{m} x_{ij\pi} v_{i\pi} \le 0, \quad \forall \pi \in \Omega,\ j \ne 0,$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{io\pi} v_{i\pi} = 1, \quad \forall \pi \in \Omega,$$

$$v_{i\pi}, u_{r\pi}, \eta_{\pi j}, \phi_\pi^+, \phi_\pi^- \ge 0, \quad \forall i, r, \pi, j.$$

هم‌چنین، در صورت حاکم بودن فرض بازده به مقیاس متغیر به جای ثابت، رویکرد پیشنهادی پژوهش به صورت مدل (۷) حاصل می‌گردد:

$$\text{Max} \quad \varpi \sum_{\pi\in\Omega}\sum_{r=1}^{s} p_\pi y_{ro\pi} u_{r\pi} + \sum_{\pi\in\Omega} w_\pi - (1-\varpi)\sum_{\pi\in\Omega} p_\pi \left(\phi_\pi^+ + \phi_\pi^-\right) \tag{۷}$$

$$s.t. \quad \sum_{\pi\in\Omega}\sum_{r=1}^{s} p_\pi y_{ro\pi} u_{r\pi} + \sum_{\pi\in\Omega} w_\pi - p_\pi \left(\sum_{\pi'\in\Omega}\sum_{r=1}^{s} p_{\pi'} y_{ro\pi'} u_{r\pi'} + \sum_{\pi'\in\Omega} w_{o\pi'} \right) = \phi_\pi^+ + \phi_\pi^- , \quad \forall \pi \in \Omega,$$

$$\sum_{r=1}^{s} y_{rj\pi} u_{r\pi} - \sum_{i=1}^{m} x_{ij\pi} v_{i\pi} + w_\pi \le 0, \quad \forall \pi \in \Omega,\ j \ne 0,$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{io\pi} v_{i\pi} = 1, \quad \forall \pi \in \Omega,$$

$$v_{i\pi}, u_{r\pi}, \eta_{\pi j}, \phi_\pi^+, \phi_\pi^- \ge 0, \quad \forall i, r, \pi, j.$$

لازم به ذکر است که در ارایه رویکرد ابرکارایی تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو، محدودیت‌های مدل اجازه نقض شدن را ندارند و به همین دلیل بخش مربوط به استواری شدنی بودن رویکرد مالوی و همکاران [۲۴] از تابع هدف حذف شده است. علت این امر، افزایش سطح محافظه‌کاری مدل‌ها در برابر عدم قطعیت موجود در داده‌ها می‌باشد. به عبارت دیگر، در رویکرد پیشنهادی، جواب حاصل از مدل‌های مذکور به ازای تمامی حالات و سناریوهای مختلف، همواره شدنی می‌باشد. هم‌چنین لازم به توضیح است که در مدل‌های (۶) و (۷)، از متغیرهای ϕ_π^+ و ϕ_π^- به منظور خطی‌سازی مدل‌ها استفاده شده است. در پایان، توجه به این نکته ضروری است که در رویکردهای سناریو محور، بایستی سناریوها دارای ویژگی سازگاری و هم‌چنین از نظر تعداد، معقول و منطقی باشند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

۵ پیاده‌سازی رویکرد پیشنهادی: پروژه‌های تحقیق و توسعه

در این بخش به تجزیه و تحلیل رویکرد پیشنهادی پژوهش با استفاده از داده‌های مربوط به ۱۰ پروژه تحقیق و توسعه پرداخته می‌شود. لازم به توضیح است که هر پروژه تحقیق و توسعه، یک تلاش سازمان‌یافته برای دست‌یابی به هدفی معین هم‌چون ایجاد یا بهبود یک محصول، کالا، خدمات و یا یک فرآیند منحصر به فرد، با توجه به منابع در دسترس هم چون بودجه، زمان، نیروی انسانی، ابزار و تجهیزات در یک بازه زمانی مشخص می‌باشد. به عبارت دیگر، هر پروژه تحقیق و توسعه یک فرایند سازمان‌یافته شامل تولید، انتشار و به کارگیری دانش است. در سال‌های اخیر و باتوجه به اهمیت و جایگاه کلیدی این حوزه، بسیاری از کشورهای پیشرفته، حجم وسیع و قابل توجهی از منابع خویش را به فعالیت های تحقیق و توسعه اختصاص داده‌اند.

از این رو، با توجه به اهمیت و جایگاه کلیدی حوزه تحقیق و توسعه در رشد اقتصادی کشورها، ارزیابی عملکرد آن، امری ضروری است. اولین گام در به کار گیری رویکرد پژوهش به منظور ارزیابی عملکرد پروژه‌های تحقیق و توسعه، شناسایی معیارهای ورودی و خروجی می‌باشد. در این پژوهش با توجه به نظرات خبرگان و هم‌چنین مطالعات صورت گرفته در ادبیات حوزه، ورودی‌ها و خروجی‌های رویکرد پیشنهادی تحقیق به صورت جدول ۱ انتخاب شده‌اند:

جدول ۱. ورودی‌ها و خروجی‌های پژوهش

ورودی‌ها:	خروجی‌ها:
تعداد نیروی انسانی	تعداد محصول طراحی‌شده
مجموع هزینه‌ها	مجموع درآمدها
مجموع زمان صرف‌شده	

توجه به این نکته ضروری است که در بسیاری از پروژه‌های تحقیق و توسعه، با توجه به جدید بودن و ماهیت نوآورانه پروژه و هم‌چنین عدم وجود اطلاعات و سوابق مورد نیاز، وجود عدم قطعیت در داده‌ها امری اجتناب‌ناپذیر است. مطالعه موردی پژوهش پیش‌رو نیز از این قاعده مستثنا نمی‌باشد و مقادیر ورودی‌ها و خروجی‌های پروژه‌ها به طور دقیق مشخص نیستند. لازم به توضیح است که با توجه نظرات خبرگان، سه سناریو محتمل برای داده‌ها پیش‌بینی شده است و ورودی‌ها و خروجی‌های مدل به ازای هر یک از سه حالت مذکور، مقادیر مختلف و مشخصی را اختیار می‌نمایند. با توجه به این توضیحات، اکنون با بهره‌گیری از رویکرد پیشنهادی پژوهش، به ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه با توجه به داده‌های مستخرج از مطالعه موردی پرداخته می‌شود. نتایج حاصله از اجرای مدل‌های (۶) و (۷) به ازای حالات مختلف ϖ که بیانگر میزان اهمیت متوسط کارایی‌ها در مقایسه با واریانس کارایی‌ها می‌باشد، به ترتیب در جداول ۲ و ۳ نشان داده شده است:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

جدول ۲. نتایج حاصل از مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو تحت بازده به مقیاس ثابت

پروژه‌ها	تحلیل حساسیت نتایج مدل به ازای مقادیر مختلف ϖ				
	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶
پروژه ۱	۱/۰۵۹۵۸	۰/۹۴۴۰۷	۰/۸۲۸۵۷	۰/۷۱۳۰۷	۰/۵۹۷۵۶
پروژه ۲	۲/۲۰۸۴۲	۱/۹۷۵۲۲	۱/۷۴۲۰۲	۱/۵۰۸۸۲	۱/۲۷۵۶۲
پروژه ۳	۰/۵۶۳۵۳	۰/۵۰۳۳۸	۰/۴۴۳۲۲	۰/۳۸۳۰۶	۰/۳۲۲۹۰
پروژه ۴	۰/۹۷۵۳۴	۰/۸۷۳۸۰	۰/۷۷۲۲۶	۰/۶۷۰۷۲	۰/۵۶۹۱۷
پروژه ۵	۱/۳۶۴۷۹	۱/۲۲۴۶۳	۱/۰۸۴۴۷	۰/۹۴۴۳۱	۰/۸۰۴۱۶
پروژه ۶	۰/۴۵۵۰۶	۰/۴۰۷۶۰	۰/۳۶۰۱۴	۰/۳۱۲۶۸	۰/۲۶۵۲۲
پروژه ۷	۱/۱۴۴۰۹	۱/۰۲۸۶۵	۰/۹۱۳۲۰	۰/۷۹۷۷۶	۰/۶۸۲۳۲
پروژه ۸	۰/۷۳۹۳۳	۰/۶۶۰۲۹	۰/۵۸۱۲۴	۰/۵۰۲۲۰	۰/۴۲۳۱۶
پروژه ۹	۰/۶۶۵۵۱	۰/۵۹۸۶۳	۰/۵۳۱۷۶	۰/۴۶۴۸۸	۰/۳۹۸۰۰
پروژه ۱۰	۱/۳۳۱۱۰	۱/۱۹۴۲۱	۱/۰۵۷۳۲	۰/۹۲۰۴۳	۰/۷۸۳۵۴

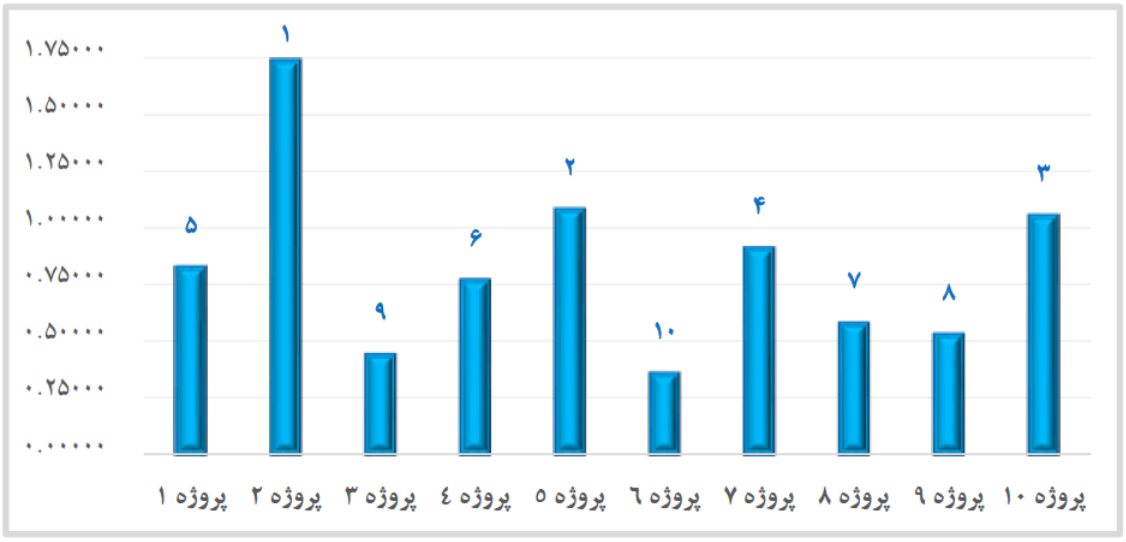
جدول ۳. نتایج حاصل از مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو تحت بازده به مقیاس متغیر

پروژه‌ها	تحلیل حساسیت نتایج مدل به ازای مقادیر مختلف ϖ				
	۱	۰/۹	۰/۸	۰/۷	۰/۶
پروژه ۱	۱/۵۷۵۱۹	۱/۴۰۱۵۲	۱/۲۲۷۸۴	۱/۰۵۴۱۶	۰/۸۸۰۴۸
پروژه ۲	۲/۸۶۹۹۱	۲/۵۶۱۵۶	۲/۲۵۳۲۲	۱/۹۴۴۸۷	۱/۶۳۶۵۳
پروژه ۳	۰/۶۳۴۰۳	۰/۵۶۶۸۵	۰/۴۹۹۶۷	۰/۴۳۲۴۸	۰/۳۶۵۳۰
پروژه ۴	۱/۳۰۲۶۱	۱/۱۶۸۰۷	۱/۰۳۳۵۲	۰/۸۹۸۹۸	۰/۷۶۴۴۴
پروژه ۵	۱/۷۷۵۸۶	۱/۳۱۰۷۵	۱/۲۲۰۴۸	۱/۱۶۲۷۴	۰/۸۵۵۰۹
پروژه ۶	۰/۵۷۵۴۸	۰/۵۱۶۵۱	۰/۴۵۷۵۴	۰/۳۹۸۵۷	۰/۳۳۹۶۰
پروژه ۷	۵/۹۸۶۱۸	۵/۳۸۷۵۶	۴/۷۸۸۹۴	۴/۱۹۰۳۲	۳/۵۹۱۷۱
پروژه ۸	۰/۹۹۹۴۶	۰/۸۹۰۶۳	۰/۷۸۱۸۱	۰/۶۷۲۹۸	۰/۵۶۴۱۶
پروژه ۹	۰/۶۷۹۴۶	۰/۶۱۱۳۶	۰/۵۴۳۲۵	۰/۴۷۵۱۴	۰/۴۰۷۰۳
پروژه ۱۰	۳/۰۵۵۶۴	۲/۷۳۲۸۹	۲/۴۱۰۱۵	۲/۰۸۷۴۱	۱/۷۶۴۶۶

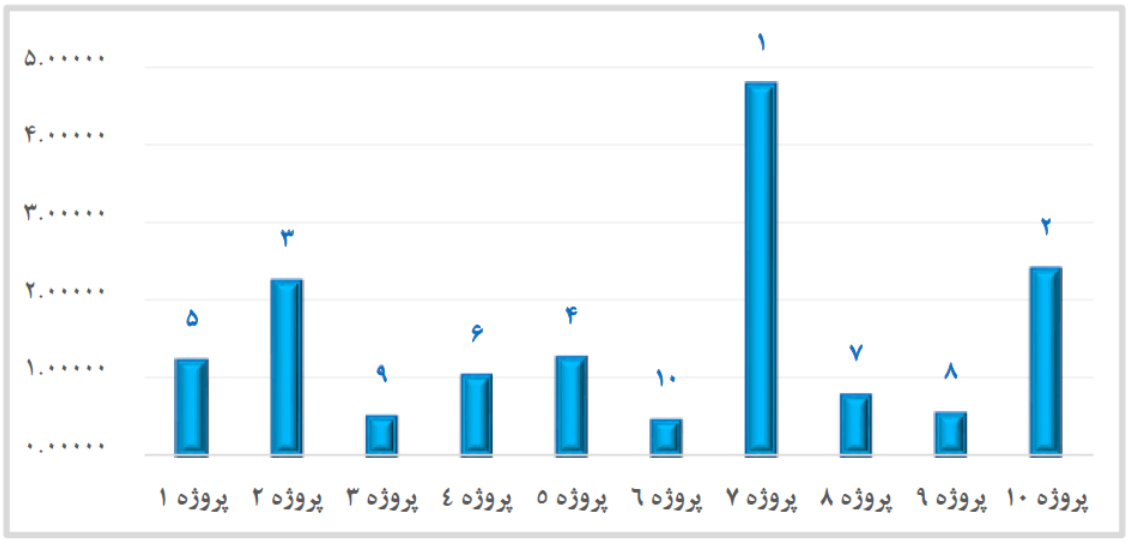
همان‌طور که در جداول ۲ و ۳ ملاحظه می‌شود، با افزایش میزان اهمیت متوسط کارایی‌ها در مقایسه با واریانس کارایی‌ها به ازای تمامی سناریوها، مقادیر کارایی واحدها افزایش یافته است. هم‌چنین همان طورکه انتظار می‌رفت مقادیر کارایی واحدها به ازای ϖ یکسان، تحت بازده به مقیاس متغیر بزرگ‌تر از مقادیر کارایی واحدها تحت بازده به مقیاس ثابت هستند. لازم به ذکر است که به منظور رتبه‌بندی پروژه‌ها، می‌توان از میانگین نتایج حاصله تحت مقادیر مختلف ϖ به عنوان معیار رتبه‌بندی استفاده نمود. بر این اساس، رتبه‌بندی نهایی

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

پروژه‌های تحقیق و توسعه تحت حالات بازده به مقیاس ثابت و متغیر، به ترتیب در شکل‌های ۱ و ۲ ارایه شده است:



شکل ۱. رتبه‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه تحت بازده به مقیاس ثابت



شکل ۲. رتبه‌بندی پروژه‌های تحقیق و توسعه تحت بازده به مقیاس متغیر

نکته بسیاری مهمی که از نتایج ارزیابی پروژه‌ها حاصل می‌شود، حضور شش پروژه ۱، پروژه ۴، پروژه ۸، پروژه ۹، پروژه ۳ و پروژه ۶، به ترتیب در رتبه‌های پنجم الی دهم تحت هر دو بازده به مقیاس ثابت و متغیر می‌باشد. لذا انتخاب پروژه‌های مذکور به منظور سرمایه‌گذاری، منطقی به نظر نمی‌رسد و بایستی دقت بیشتری در ساختار آنها گردد. هم‌چنین پروژه‌های ۲، ۱۰، ۷ و ۵ دارای ریسک کمتری در مقایسه با دیگر پروژه‌ها می‌باشند. به عبارت دیگر پروژه‌های مذکور نسبت به تغییرات داده‌ها و وقوع هر یک از سناریوهای ممکن، از استواری و ثبات بیشتری در نتایج و رتبه نهایی نسبت به دیگر پروژه‌ها برخوردار می‌باشند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

٦ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها یکی از روش‌های پر کاربرد حوزه تصمیم‌گیری چندمعیاره و برنامه‌ریزی ناپارامتریک می‌باشد که به منظور ارزیابی عملکرد، رتبه‌بندی و الگویابی واحدهای تصمیم‌گیرنده متجانس مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این رویکرد، واحدهای تصمیم‌گیرنده با توجه به ورودی‌ها و خروجی‌های هر یک از آنها، به دو دسته کارا و ناکارا طبقه‌بندی می‌گردند. لازم به ذکر است که رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها علی رغم داشتن مزایای فراوان، دارای معایبی نیز می‌باشد. یکی از این معایب حساسیت بالای نتایج در این رویکرد به تغییرات داده‌ها است. حال آنکه در برخی از مسایل و کاربردهای دنیای واقعی، مقادیر دقیق داده‌ها مشخص نمی‌باشد.

از این رو در این مقاله به ارایه رویکرد تحلیل پوششی داده‌های غیرقطعی با قابلیت پیاده‌سازی در حضور داده‌های مبتنی بر سناریو و عدم قطعیت گسسته پرداخته شد. لازم به توضیح است که به منظور مدل‌سازی و ارایه رویکرد پیشنهادی، از مدل‌های ابرکارایی تحلیل پوششی داده‌ها تحت بازده به مقیاس ثابت و متغیر به همراه رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو بهره گرفته شد. نتایج حاصل از اجرای مدل تحلیل پوششی داده‌های استوار مبتنی بر سناریو در ارزیابی عملکرد پروژه‌های تحقیق و توسعه، حاکی از کارآمدی و توانمندی رویکرد پیشنهادی پژوهش است.

در نهایت، برای مطالعات آتی پیشنهاد می‌گردد تا از رویکرد بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو برای استوارسازی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای بهره گرفته شود. زیرا در بسیاری از شرایط، مسایل و کاربردهای دنیای واقعی، ساختار واحدهای تصمیم‌گیرنده از نوع شبکه هم‌چون دو مرحله‌ای، سری، موازی و غیره می‌باشد [۴۲-۵۰]. در نتیجه با استفاده از رویکرد تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای غیرقطعی، امکان در نظر گرفتن ساختار شبکه‌ای حاکم بر واحدها و روابط داخلی در بین واحدها و زیرواحدها نیز در فرآیند ارزیابی مهیا می‌گردد.

منابع

[1] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research, 2(6), 429-444.

[2] Farrell, M. J. (1957). The Measurement of Productive Efficiency. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (General), 120(3), 253-281.

[3] Emrouznejad, A., & Yang, G. L. (2018). A Survey and Analysis of the First 40 Years of Scholarly Literature in DEA: 1978–2016. Socio-Economic Planning Sciences, 61, 4-8.

[4] Peykani, P., Mohammadi, E., Pishvaee, M. S., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Jabbarzadeh, A. (2018). A Novel Fuzzy Data Envelopment Analysis Based on Robust Possibilistic Programming: Possibility, Necessity and Credibility-Based Approaches. RAIRO-Operations Research, 52(4), 1445-1463.

[5] Peykani, P., Mohammadi, E., Emrouznejad, A., Pishvaee, M. S., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2019). Fuzzy Data Envelopment Analysis: An Adjustable Approach. Expert Systems with Applications, 136, 439-452.

[6] Peykani, P., Mohammadi, E., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2019). Fuzzy Data Envelopment Analysis Approach for Ranking of Stocks with an Application to Tehran Stock Exchange. Advances in Mathematical Finance and Applications, 4(1), 31-43.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]

[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

[7] Peykani, P., Hosseinzadeh Lotfi, F., Sadjadi, S. J., Ebrahimnejad, A., & Mohammadi, E. (2022). Fuzzy Chance-Constrained Data Envelopment Analysis: A Structured Literature Review, Current Trends, and Future Directions. Fuzzy Optimization and Decision Making, 21, 197-261.
[8] Peykani, P., & Mohammadi, E. (2018). Robust Data Envelopment Analysis with Hybrid Uncertainty Approaches and its Applications in Stock Performance Measurement. The 14th International Conference on Industrial Engineering, Iran.
[9] Peykani, P., Mohammadi, E., Sadjadi, S. J., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2018). A Robust Variant of Radial Measure for Performance Assessment of Stock. The 3rd International Conference on Intelligent Decision Science, Iran.
[10] Emrouznejad, A., Tavana, M., & Hatami-Marbini, A. (2014). The State of the Art in Fuzzy Data Envelopment Analysis. Performance Measurement with Fuzzy Data Envelopment Analysis, 1-45. Springer, Berlin, Heidelberg.
[11] Olesen, O. B., & Petersen, N. C. (2016). Stochastic Data Envelopment Analysis - A Review. European Journal of Operational Research, 251(1), 2-21.
[12] Peykani, P., Mohammadi, E., Farzipoor Saen, R., Sadjadi, S. J., & Rostamy-Malkhalifeh, M. (2020). Data Envelopment Analysis and Robust Optimization: A Review. Expert Systems, 37(4), e12534.
[13] Sadjadi, S. J., & Omrani, H. (2008). Data Envelopment Analysis with Uncertain Data: An Application for Iranian Electricity Distribution Companies. Energy Policy, 36(11), 4247-4254.
[14] Ben-Tal, A., & Nemirovski, A. (2000). Robust Solutions of Linear Programming Problems Contaminated with Uncertain Data. Mathematical Programming, 88(3), 411-424.
[15] Bertsimas, D., & Sim, M. (2004). The Price of Robustness. Operations Research, 52(1), 35-53.
[16] Shokouhi, A. H., Hatami-Marbini, A., Tavana, M., & Saati, S. (2010). A Robust Optimization Approach for Imprecise Data Envelopment Analysis. Computers & Industrial Engineering, 59(3), 387-397.
[17] Wang, K., & Wei, F. (2010). Robust Data Envelopment Analysis based MCDM with the Consideration of Uncertain Data. Journal of Systems Engineering and Electronics, 21(6), 981-989.
[18] Soyster, A. L. (1973). Convex Programming with Set-Inclusive Constraints and Applications to Inexact Linear Programming. Operations Research, 21(5), 1154-1157.
[19] Sadjadi, S. J., Omrani, H., Abdollahzadeh, S., Alinaghian, M., & Mohammadi, H. (2011). A Robust Super-Efficiency Data Envelopment Analysis Model for Ranking of Provincial Gas Companies in Iran. Expert Systems with Applications, 38(9), 10875-10881.
[20] Andersen, P., & Petersen, N. C. (1993). A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. Management Science, 39(10), 1261-1264.
[21] Khaki, A. R., Sadjadi, S. J., Gharakhani, M., & Rashidi, S. (2012). Data Envelopment Analysis under Uncertainty: A Case Study from Public Healthcare. African Journal of Business Management, 6(24), 7096-7105.
[22] Omrani, H. (2013). Robust Data Envelopment Analysis Model with Fuzzy Perturbation in Inputs and Outputs. International Journal of Industrial and Systems Engineering, 15(4), 426-442.
[23] Hafezalkotob, A., Haji-Sami, E., & Omrani, H. (2015). Robust DEA under Discrete Uncertain Data: A Case Study of Iranian Electricity Distribution Companies. Journal of Industrial Engineering International, 11(2), 199-208.
[24] Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., & Zenios, S. A. (1995). Robust Optimization of Large-Scale Systems. Operations Research, 43(2), 264-281.
[25] Lu, C. C. (2015). Robust Data envelopment Analysis Approaches for Evaluating Algorithmic Performance. Computers & Industrial Engineering, 81, 78-89.
[26] Mardani, M., & Salarpour, M. (2015). Measuring Technical Efficiency of Potato Production in Iran Using Robust Data Envelopment Analysis. Information Processing in Agriculture, 2(1), 6-14.
[27] Ardekani, M. A., Hoseininasab, H., Khademizare, H., & Fakhrzad, M. (2016). A Robust Two-Stage Data Envelopment Analysis Model for Measuring Efficiency: Considering Iranian Electricity Power Production and Distribution Processes. International Journal of Engineering, 29(5), 646-653.
[28] Kao, C., & Hwang, S. N. (2008). Efficiency Decomposition in Two-Stage Data Envelopment Analysis: An Application to Non-Life Insurance Companies in Taiwan. European Journal of Operational Research, 185(1), 418-429.
[29] Peykani, P., Mohammadi, E., Jabbarzadeh, A., & Jandaghian, A. (2016). Utilizing Robust Data Envelopment Analysis Model for Measuring Efficiency of Stock, A Case Study: Tehran Stock Exchange. Journal of New Researches in Mathematics, 1(4), 15-24.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]

[30] Esfandiari, M., Hafezalkotob, A., Khalili-Damghani, K., & Amirkhan, M. (2017). Robust Two-Stage DEA Models under Discrete Uncertain Data. International Journal of Management Science and Engineering Management, 12(3), 216-224.
[31] Zahedi-Seresht, M., Jahanshahloo, G. R., & Jablonsky, J. (2017). A Robust Data Envelopment Analysis Model with Different Scenarios. Applied Mathematical Modelling, 52, 306-319.
[32] Amirkhan, M., Didehkhani, H., Khalili-Damghani, K., & Hafezalkotob, A. (2018). Mixed Uncertainties in Data Envelopment Analysis: A Fuzzy-Robust Approach. Expert Systems with Applications, 103, 218-237.
[33] Peykani, P., Mohammadi, E., Seyed Esmaeili, F. S. (2019). Stock Evaluation under Mixed Uncertainties Using Robust DEA Model. Journal of Quality Engineering and Production Optimization, 4(1), 73-84.
[34] Peykani, P., Mohammadi, E., Jabbarzadeh, A., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Pishvaee, M. S. (2020). A Novel Two-Phase Robust Portfolio Selection and Optimization Approach under Uncertainty: A Case Study of Tehran Stock Exchange. Plos One, 15(10), e0239810.
[35] Salahi, M., Torabi, N., & Jamalian, A. (2014). A Robust Constant Return to Scale Data Envelopment Analysis Model. Journal of Operational Research in Its Applications, 11(3), 1-11. (in Persian).
[36] Peykani, P., & Roghanian, E. (2015). The Application of Data Envelopment Analysis and Robust Optimization in Portfolio Selection Problem. Journal of Operational Research in Its Applications, 12(1), 61-78. (in Persian).
[37] Salehi, M., & Nouri, M. (2017). Customer Portfolio Optimization in Marketing Budgets Allocation Using Data Envelopment Analysis and Robust Optimization. Journal of Operational Research in Its Applications, 13(4), 121-140. (in Persian).
[38] Arabmaldar, A., & Hosseinzadeh Saljooghi, F. (2017). Robustness of DEA models to identify worst-practice DMUs. Journal of Operational Research in Its Applications, 14(3), 35-53. (in Persian).
[39] Seyed Esmaeili, F. S., Rostamy-Malkhalifeh, M., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2019). Proposing a Robust Model of Interval Data Envelopment Analysis to Performance Measurement under Double Uncertainty Situations. Journal of Operational Research in Its Applications, 16(2), 59-75. (in Persian).
[40] Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 30(9), 1078-1092.
[41] Yu, C. S., & Li, H. L. (2000). A Robust Optimization Model for Stochastic Logistic Problems. International Journal of Production Economics, 64(1-3), 385-397.
[42] Kao, C. (2014). Network Data Envelopment Analysis: A Review. European Journal of Operational Research, 239(1), 1-16.
[43] Peykani, P., & Mohammadi, E. (2018). Fuzzy Network Data Envelopment Analysis: A Possibility Approach. The 3th International Conference on Intelligent Decision Science, Iran.
[44] Peykani, P., & Mohammadi, E. (2018). Interval Network Data Envelopment Analysis Model for Classification of Investment Companies in the Presence of Uncertain Data. Journal of Industrial and Systems Engineering, 11(Special Issue: 14th International Industrial Engineering Conference), 63-72.
[45] An, Q., Meng, F., Xiong, B., Wang, Z., & Chen, X. (2020). Assessing the Relative Efficiency of Chinese High-Tech Industries: A Dynamic Network Data Envelopment Analysis Approach. Annals of Operations Research, 290(1), 707-729.
[46] Peykani, P., & Mohammadi, E. (2020). Window Network Data Envelopment Analysis: An Application to Investment Companies. International Journal of Industrial Mathematics, 12(1), 89-99.
[47] Wang, Y., Pan, J. F., Pei, R. M., Yi, B. W., & Yang, G. L. (2020). Assessing the Technological Innovation Efficiency of China's High-Tech Industries with a Two-Stage Network DEA Approach. Socio-Economic Planning Sciences, 71, 100810.
[48] Jiang, B., Chen, H., Li, J., & Lio, W. (2021). The Uncertain Two-Stage Network DEA Models. Soft Computing, 25(1), 421-429.
[49] Peykani, P., Mohammadi, E., & Emrouznejad, A. (2021). An Adjustable Fuzzy Chance-Constrained Network DEA Approach with Application to Ranking Investment Firms. Expert Systems with Applications, 166, 113938.
[50] Xu, Y. W., Zhang, H. J., Cheng, K., Zhang, Z. X., & Chen, Y. T. (2021). Efficiency Measurement in Multi-Period Network DEA Model with Feedback. Expert Systems with Applications, 175, 114815.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-06-07]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2022.19.2.7.9]
[DOI: 10.52547/jamlu.19.2.23]