Journal of
Improvement Management
Vol. 10 No. 2, Summer 2016 (Serial 32)

Performance Evaluation of Iranian Ports Using Data Envelopment Analysis with Uncertain Data

Amir Hossein Sadeqian[1], Mir Saman Pishvaee[2]☎

1- MSc student of Socioeconomic System, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.
2- Assistant Professor, Faculty of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Abstract:

Data envelopment analysis is a set of mathematical programming models based on linear programming which are able to measure the relative efficiency of DMUs. This technique investigates strengths and weaknesses of any DMUs and offers suggestions to improve their efficiency. Most of DEA models require the exact information of inputs and outputs. However, in many real world applications this simple assumption does not hold. Robust optimization is one of recent methods which could handle uncertainty in data. In this paper, a branch of robust optimization whcih is called robust optimization based on convex sets is applied to develop robust DEA model which is capable to handle uncertainty in input data. We present a new method which incorporates the robust counterpart of super-efficiency DEA. The perturbation and uncertainty in data is assumed as polyhedral set and the robust super-efficiency DEA model is extended. The proposed model is used to evaluate the performance and ranking of Iranian ports. The results indicate that the robust DEA approach can be a relatively more reliable method for efficiency estimating and ranking strategies in compare to traditional DEA models.

***Keywords**: Port Evaluation, Logistics Management, Data Envelopment Analysis, Robust Optimization, Ranking.*

1. sadeqian@pgre.iust.ac.ir
2. ☎*Corresponding author:* pishvaee@iust.ac.ir

نشریه علمی – پژوهشی بهبود مدیریت
سال دهم، شماره ۲، پیاپی ۳۲، تابستان ۱۳۹۵
صفحات ۱۳۴ - ۱۰۹

ارزیابی کارایی بنادر ایران با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها در وضعیت عدم‌قطعیت

(تاریخ دریافت: ۹۴/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۲۹)

امیرحسین صادقیان‌بافقی[۱]، میرسامان پیشوایی[۲*]

چکیده

تحلیل پوششی داده‌ها، مجموعه‌ای از الگوهای ریاضی مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی است که با اندازه‌گیری کارایی نسبی سازمان‌ها، آنها را رده‌بندی و نقاط ضعف و قوت هرکدام را مشخص می‌کند؛ همچنین پیشنهادهایی برای بهبود کارایی هر سازمان ارائه می‌دهد. غالب الگوهای تحلیل پوششی داده‌ها، به داده‌ها و اطلاعات دقیق نیازمند هستند؛ درحالی‌که در دنیای واقعی، وجود داده‌های دقیق در اغلب اوقات ممکن نیست و با عدم‌قطعیت در داده‌ها مواجه هستیم. بهینه‌سازی استوار، یکی از متأخرترین رویکردهای مواجهه با عدم‌قطعیت داده‌هاست که به‌دلیل توانمندی‌های چشمگیر، مورد اقبال محققان واقع شده است. در این مقاله با استفاده از یکی از رویکردهای بهینه‌سازی استوار که «بهینه‌سازی استوار مبتنی بر مجموعه‌های محدّب» نامیده می‌شود، الگوی تحلیل پوششی استوار برای مواجهه با عدم‌قطعیت، پیشنهاد شده است. الگوی تحلیل پوششی داده‌هایی که برای توسعه به سمت استوارسازی انتخاب شده است، الگوی تحلیل پوششی داده‌های خروجی‌محور فراکاراست. الگوی توسعه داده شده برای ارزیابی بنادر به‌عنوان موجودیتی مهم در سامانه‌های حمل‌ونقل استفاده شده است. لازم به ذکر است که امروزه بالغ بر نوددرصد از تجارت جهانی، از طریق حمل‌ونقل دریایی انجام می‌شود. بنادر به عنوان محوری مهم، نقشی اساسی در ساماندهی جریان کالا ایفا می‌کنند؛ لذا پژوهش حاضر، پژوهشی توسعه‌ای-کاربردی است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که درنظرگرفتن اختلال و عدم‌قطعیت در داده‌ها و به‌کارگیری الگوی تحلیل پوششی از داده‌های خروجی‌محور فراکارای استوار، برای ارزیابی کارایی نهادهای تصمیم‌گیر و رتبه‌بندی آنها، دارای قابلیت اطمینان بیشتری است.

واژگان کلیدی:
ارزیابی بنادر، مدیریت لجستیک، تحلیل پوششی داده‌ها، بهینه‌سازی استوار، رتبه‌بندی.

۱- دانشجوی کارشناسی‌ارشد مهندسی سیستم‌های اقتصادی‌اجتماعی دانشگاه علم و صنعت ایران: Sadeqian@pgre.iust.ac.ir
۲*- استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران (نویسنده مسئول): Pishvaee@iust.ac.ir

۱- مقدمه

هم‌زمان با حرکت کشورها و صنایع به سمت جهانی شدن، تقاضا و فشار برای رقابت افزایش چشمگیری یافت؛ زیرا محصولات و خدمات تولید شده کشورها باید در سطح بین‌المللی عرضه شده و این مسأله مستلزم رقابت شدید بین‌المللی است. حمل‌ونقل دریایی، بخش عمده‌ای از جابجایی بار در سطح بین‌المللی را به خود اختصاص داده است (تا رقم ۹۲،۷ درصد). به همین علّت از محورهای اصلی در توسعه زیرساخت‌ها به شمار می‌رود. در چرخه اقتصاد یک کشور، حمل‌ونقل عاملی است که تمامی ارکان اقتصادی از ابتدای امر تولید تا رساندن کالا به بازارهای مصرف نهایی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اگر حمل‌ونقل را در ابعاد و تعاریف کلان آن در نظر بگیریم، هیچ فعلی در اقتصاد جامعه بدون استفاده از این صنعت انجام نمی‌شود. به همین علّت داشتن یک صنعت حمل‌ونقل فعال و کارا، شاید بیشترین تأثیر را در افزایش یا کاهش بهره‌وری از دیگر عوامل تولید و مصرف، داشته باشد [۱].

از سوی دیگر بر اساس ادعای نهادهای بین‌المللی، به علّت رشد حمل‌ونقل‌های بین‌المللی و تجارت بین کشورها طی دو دهه اخیر، شاهد همبستگی هرچه‌بیشتر اقتصاد کشورها به یکدیگر در عرصه جهانی‌شدن بوده‌ایم. قطعاً حمل‌ونقل محموله‌های تجاری و بارهای کانتینری از راه آب و دریا که بیش از نوددرصد جابه‌جایی کالا در عرصه بین‌المللی و بیش از هشتاددرصد از کل جابه‌جایی کالا شامل جابه‌جایی‌های داخل کشوری را شامل می‌شود، نقشی بی‌بدیل در نظام تجارت جهانی و شکوفایی اقتصادی دنیا داشته است. اهمیت این نوع از جابه‌جایی بار که آن را با نام لجستیک دریایی می‌شناسیم، به‌ویژه برای کشورهایی که در کنار آب‌های آزاد واقع شده‌اند، از جمله ایران، صد چندان است. به‌عنوان نمونه، کشور ژاپن تقریباً همه تجارت خارجی خود (تقریباً ۷،۹۹ درصد) و هنگ‌کنگ بیش از هشتاددرصد تجارت خارجی خود را از طریق دریا و آب‌های آزاد انجام می‌دهد؛ ضمن اینکه سهم حمل‌ونقل دریایی در تجارت خارجی ایران بیش از نوددرصد است [۲].

لجستیک دریایی شامل دو بخش عمده حمل‌ونقل دریایی و مدیریت بنادر است. در حوزه مدیریت بنادر، توسعه بنادر تجاری به‌عنوان یک کاتالیزور مؤثر در تحریک فعالیت‌های اقتصادی و تجاری و همچنین ایجاد موقعیت‌های شغلی شناخته شده است. به‌عنوان نمونه در انگستان (که مدت‌هاست دیگر یک مرکز عمده تجاری در جابه‌جایی کالا محسوب نمی‌شود) در سال ۲۰۱۱، حدود ۲۶۳ هزار شغل مستقیم (معادل ده‌درصد از کل مشاغل این کشور) و درآمدی بالغ بر ۵،۲۱ میلیارد دلار از طریق فعالیت‌های بندری حاصل شده است. بنادر بسته به اینکه محموله‌ها را به چه صورتی بارگیری یا بارانداز می‌کنند، به دو گروه اصلی بنادر کانتینری و بنادر غیرکانتینری دسته‌بندی می‌شوند. بنادر کانتینری گرچه حدود ۱۶ درصد از بنادر دنیا به لحاظ ظرفیت بار را تشکیل می‌دهند؛ اما به لحاظ ارزش بار سهمی بیش از پنجاه‌درصد از کل تجارت بین‌المللی دریایی را دارند. درحال‌حاضر، از میان بیست بندر کانتینری برتر دنیا که ۴۷ درصد از همه جابه‌جایی‌های بنادر کانتینری دنیا را انجام می‌دهند، ۱۶ بندر متعلق به کشورهای درحال‌توسعه آسیایی است. از چهار بندر غیرآسیایی، سه بندر در اروپا و یک بندر در آمریکای شمالی واقع است. درحالی‌که حجم جابه‌جایی بنادر کانتینری دنیا در سال

۲۰۱۲ بالغ بر ۶۰۱ میلیون TEU بوده است. اندکی بیش از ۱۵۵میلیون آن متعلق به بنادر کشور چین، ۴۲۲،۳۲ در سنگاپور و ۱۰۰،۳۲ در هنگ‌کنگ بوده است. سهم بنادر ایران ۸۵۰،۲ کانتینر بوده است؛ درحالی‌که کشورهای رقیب ایران در منطقه، یعنی امارات و ترکیه، به‌ترتیب ۲۱۲،۱۷ و ۲۳۰،۶ جابه‌جایی بار در سال ۲۰۱۲ داشته‌اند. بندرهای شانگ‌های، سنگاپور و هنگ‌کنگ رتبه‌های اول تا سوم بزرگترین بنادر کانتینری دنیا درسال ۲۰۱۲ را دارا بوده‌اند. ضمن این که تنها بندر جبل‌علی از منطقه خلیج‌فارس در بین بیست بندر برتر کانتینری دنیا قرار دارد. بدیهی است با توجه به موقعیت استثنایی ایران و بنادر آن، در صورت توجه ویژه ایران به توسعه بنادر کانتینری، قطعاً ظرفیت زیادی برای رشد و ارتقای سهم ایران در تجارت دریایی وجود دارد [۲].

برای رشد و ارتقای سهم ایران در تجارت دریایی باید به کارایی و مدیریت بنادر توجه ویژه‌ای کرد. بنادر در صورتی که به درستی اداره شوند و از ظرفیت‌های خود به نحو مطلوبی استفاده کنند، چرخ محرک اقتصاد کشورها به شمار می‌روند. صنعت بندر، به‌خصوص بنادر کانتینری روزبه‌روز در حال رقابتی‌تر شدن است و این مسأله، اهمیت موضوع کارایی بنادر و استفاده بهینه از منابع محدود را دوچندان می‌کند. به‌همین‌منظور، امروزه بنادر برای اینکه بتوانند در محیط رقابتی موفق باشند، باید به مسئله کارایی در عملکردشان توجه کنند. کارایی بنادر عامل مهمی برای کشورها برای رسیدن به مزیت رقابتی بین‌المللی است. بنادری موفق خواهند بود که از منابع محدود خود حداکثر بهره را ببرند. به‌همین‌منظور، محاسبه کارایی بنادر می‌تواند به آنها در جهت بهبود کارایی‌شان کمک کند. تکنیک‌های مختلفی برای محاسبه کارایی بنادر وجود دارد. یکی از کاربردی‌ترین و بهترین آنها تحلیل پوششی داده‌ها[1] است. تحلیل پوششی داده‌ها، تکنیکی است که به کمک آن می‌توان واحدهایی که کارهای مشابه انجام می‌دهند و منابع (ورودی) و مصارف (خروجی) مشابهی دارند را از لحاظ کارایی مقایسه کرده و ضریب کارایی هر واحد را به صورت کمی به دست آورد. خصیصه‌ها و قابلیت‌های ویژه و منحصربه‌فرد روش تحلیل پوششی داده‌ها در چند سال اخیر منجر به توسعه سریع این تکنیک در حوزه‌ها و سازمان‌های مختلف شده است.

این مقاله قصد دارد ۱۱ بندر عمده ایران را با به‌کارگیری الگوی تحلیل پوششی داده‌ها از جنبه ارزیابی کند. غالب استفاده‌های از این تکنیک برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیری با داده‌های دقیق انجام شده است و وضعیت عدم‌قطعیت داده‌ها در نظر گرفته نشده است، ازاین‌رو سعی شده است الگویی استوار ارائه شود که بتواند با اطمینان بیشتری در وضعیت عدم‌قطعیت به ارزیابی و رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری بپردازد. در ضمن با توجه به اینکه الگوی تحلیل پوششی داده‌ها علاوه بر توانایی محاسبه کارایی نسبی واحدها و رتبه‌بندی آنها، می‌تواند واحدهایی را به عنوان واحدهای مرجع برای هر یک از واحدهای ناکارا معرفی کند، سعی شده است با توجه به عملکرد واحدهای مرجع، پیشنهادهایی برای بهبود کارایی بنادر ناکارا ارائه شود.

این مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است: ابتدا در بخش ۲ به مروری بر ادبیات موضوع محوری این پژوهش می‌پردازیم که «ارزیابی کارایی بنادر» است. در بخش ۳ به تعریف مسئله می‌پردازیم و سعی می‌شود

1. Data Envelopment Analysis(DEA)

الگوی ریاضی تحلیل پوششی داده‌ها تدوین شود که برای ارزیابی کارایی بنادر در وضعیت عدم‌قطعیت استفاده می‌شود. بخش ۴ به بررسی و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از الگوی تحلیل پوششی داده‌های استوار می‌پردازد. سرانجام در بخش نتیجه‌گیری بیان می‌شود که با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، درنظرگرفتن اختلال و عدم‌قطعیت در داده‌ها و به‌کارگیری الگوی تحلیل پوششی از داده‌های خروجی‌محور فراکارای استوار برای ارزیابی کارایی نهادهای تصمیم‌گیر و رتبه‌بندی آنها، دارای قابلیت اطمینان بیشتری است.

۲- پیشینه تحقیق

برآورد کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیر[۱] مختلف، از موضوع‌های دارای اهمیت است که مورد توجه محققان و پژوهشگران حوزه بهره‌وری قرار دارد. در واقع روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی در حوزه ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیر وجود دارد که می‌توان به روش‌های قطعی، احتمالی، پارامتری و غیرپارامتری اشاره کرد که برای مطالعه بهره‌وری نسبی توسعه داده شده‌اند. در روش پارامتری، تابع هزینه یا تابع تولید تخمین زده می‌شود؛ درحالی‌که در روش غیرپارامتری، برآورد هزینه یا تابع تولید، لازم نیست. حداقل مربعات اصلاح عادی (COLS)[۲] و تجزیه و تحلیل مرزی تصادفی (SFA)[۳] تکنیک‌های پارامتری هستند و DEA و تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)[۴] به‌عنوان روش غیرپارامتری در نظر گرفته می‌شود. همچنین، COLS، DEA و PCA به‌طورمعمول به‌عنوان روش قطعی و SFA به عنوان روش تصادفی طبقه‌بندی شده است.

روش تحلیل پوششی داده‌ها مبتنی بر یک تکنیک بهینه‌سازی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی برای ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده است که چند ورودی و خروجی دارند. این روش را چارنز در سال ۱۹۷۸ مطرح کرده است. فارل در سال ۱۹۵۷، با استفاده از روشی همانند اندازه‌گیری کارایی در مباحث مهندسی، به اندازه‌گیری کارایی برای واحد تولیدی اقدام کرد. چارنز ،کوپر و رودز دیدگاه فارل را توسعه دادند و الگویی را ارائه کردند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چند ورودی و خروجی را داشت. این الگو، زیر عنوان تحلیل پوششی داده‌ها نام گرفت [۳]. در این روش منحنی مرزی کارا از یک سری نقاط ایجاد می‌شود که به‌وسیله برنامه‌ریزی خطی تعیین می‌شوند. روش برنامه‌ریزی خطی پس از یک سری بهینه‌سازی مشخص می‌کند که آیا واحد تصمیم‌گیرنده مورد نظر روی مرز کارایی قرار گرفته است یا خارج آن قرار دارد. بدین‌وسیله واحدهای کارا و ناکارا از یکدیگر تفکیک می‌شوند. تکنیک DEA تمام داده‌ها را زیر پوشش قرار داده و به همین دلیل تحلیل پوششی داده‌ها نامیده شده است.

با توجه به قابلیت‌هایی که تحلیل پوششی داده‌ها در ارزیابی کارایی دارد، تاکنون پژوهش‌هایی با استفاده از این رویکرد در زمینه ارزیابی کارایی بیمارستان‌ها [۴]، بانک‌ها و خدمات مالی [۵]، کتابخانه‌ها [۶] و صنایع

---

1. Decision Making Unit (DMU)
2. Corrected Ordinary Least Squares
3. Stochastic Frontier Analysis
4. Principal Component Analysis

دیگر صورت گرفته است. ارزیابی کارایی بنادر در حوزه حمل‌ونقل دریایی و کشتیرانی کاربرد ویژه‌ای دارد؛ به‌طوری‌که تحقیقات بسیاری در دنیا در رابطه با محاسبه و مقایسه کارایی بنادر انجام شده است.

از الگوی تحلیل پوششی داده‌ها در بنادر کشورهای مختلفی به منظور محاسبه کارایی نسبی استفاده شده‌است. Roll (۱۹۹۳) و Hayuth از تکنیک تحلیل پوشش داده‌ها برای ارزیابی و تعیین کارایی بیست بندر فرضی استفاده کردند و به مقایسه کارایی آنها پرداختند. آنها نشان دادند که مدیران بنادر می‌توانند با استفاده از این ابزار به رتبه‌بندی کارایی بنادر بپردازند. این رویکرد به دلیل ارائه بینشی عمیق‌تر نسبت به کارایی، می‌تواند با شناسایی نقاط ضعف، منجر به ارائه راه‌حل‌هایی برای بهبود شود [۷]. در پژوهشی با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی چهار بندر استرالیا و بیست بندر بین‌المللی دیگر پرداخته شده است. در این مقاله نشان داده می‌شود که چهار بندر ملبورن، روتردام، یوکوهاما و اوزاکا در نمونه مورد بررسی و با توجه به فرضیات بازده نسبت به مقیاس ثابت و متغیر، به شدت ناکارا هستند. این ناکارایی به دلیل ضعف در سه ورودی مساحت ترمینال، نیروی کار و اسکله بندر است. این پژوهش به طراحی و ارائه سیاست‌هایی برای بهبود کارایی می‌پردازد و پیشنهادهای مشخصی برای بهبود در آینده ارائه می‌دهد [۸].

Itoh (۲۰۰۲) نیز با استفاده از الگوهای تحلیل پوششی داده‌های بازده نسبت به مقیاس ثابت و متغیر، هشت بندر بین‌المللی ژاپن را در سال‌های بین ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹ ارزیابی کرد. برای تحلیل کارایی بنادر مورد مطالعه در این پژوهش از تحلیل پنجره‌ای تحلیل پوششی داده‌ها استفاده شده است. نتایج، نشان می‌دهد که بندر توکیو در طول دوره مورد مطالعه به صورت مداوم امتیاز زیاد کارایی را کسب کرده است. ناگویا در نیمه اول دوره مورد بررسی به دلیل افزایش اندازه کشتی‌ها مورد استفاده و افزایش تقاضا که ناشی از افزایش واردات بوده، کارایی مناسبی داشته است. بندرهای یوکوهاما، اوزاکا و کوبه اما نمرات پایینی در کارایی کسب کردند. در ادامه به بررسی دلایل پایین بودن کارایی این بنادر می‌پردازد و عللی چون بلایای طبیعی مانند زلزله در برخی بنادر، بحران پولی شرق آسیا و کاهش تقاضای ناشی از آن و کمبود منابع شهری برای توسعه بندر را بررسی می‌کند [۹].

اقتصاد تولید بخش مهم و گسترده‌ای از نظریه‌های اقتصادی را تشکیل می‌دهد. تولید بنادر نیز از این قاعده مستثنا نیست. در پژوهشی به ارائه روشی برای اندازه‌گیری عملکرد و کاربرد تحلیل پوششی داده‌ها برای اندازه‌گیری کارایی بندر کانتینری پرداخته شده است. دو مفهوم مشابه اما متفاوت کارایی و بهره‌وری و همچنین کاربرد این مفاهیم در صنعت بندر، در این مقاله بررسی شده است. نتایج این مقاله نشان می‌دهد که تحلیل پوششی داده‌ها رویکردی قدرتمند برای ارزیابی عملکرد بندر است [۱۰]. در تحقیق دیگری با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها سی بندر کانتینری برتر دنیا بر اساس رتبه‌بندی سال ۲۰۰۱ برمبنای کارایی نسبی مقایسه شدند و از این تعداد پنج بندر کارا به کمک این تکنیک شناخته شد. این پژوهش با استفاده از دو روش تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل مرزی تصادفی به ارزیابی کارایی بنادر می‌پردازد و با مقایسه نتایج به‌دست آمده از هر یک از روش‌ها، درجه بالایی از همبستگی بین نتایج به‌دست آمده را نشان می‌دهد [۱۱]. در تحقیقی دیگر برای رتبه‌بندی و مقایسه مهم‌ترین بنادر کانتینری آسیا–اقیانوسیه که با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها، به عنوان بنادر کارا انتخاب شده‌اند، از الگوی DEA-AP استفاده شده است. این

مطالعه با استفاده از پنج الگوی تحلیل پوششی داده‌ها، سعی در جمع‌آوری تحلیل‌های مختلف در مورد کارایی عملیاتی بنادر مورد بررسی دارد. در ادامه با شناسایی روند کارایی بنادر، اطلاعات ارزشمندی برای مدیریت آنها فراهم و تلاش شده با این اطلاعات راهبردهای رقابتی مؤثر برای مدیریت آینده بنادر و تخصیص مناسب منابع برای دستیابی به بهبودهای مؤثر تدوین شود [۱۲]. در سال ۲۰۰۸ کارایی نسبی ۲۲ بندر کارگو در خاورمیانه و آفریقا با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها تعیین شد. این ارزیابی و تعیین کارایی با استفاده از دو تجزیه و تحلیل جداگانه بر اساس داده‌های جمع‌آوری شده برای شش سال (از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵) انجام شد. در گام اول تجزیه و تحلیل، روش تحلیل استاندارد پوششی داده‌ها و در گام دوم تحلیل پنجره‌ای استفاده شده است. با استفاده از نتایج و تحلیل‌های هر دو روش، بینش بهتری نسبت به کارایی و بهره‌وری بنادر ارائه و مزایا و معایب هر یک از روش‌ها برجسته شده است [۱۳].

Wu (۲۰۰۸) و Lin به‌منظور مقایسه بنادر لجستیکی بین‌المللی با تمرکز بر بنادر کانتینری هند به ارزیابی کارایی این بنادر پرداخته‌اند. آنها با استفاده از داده‌های حوزه حمل‌ونقل و خدمات دریایی در طول سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵ ابتدا با به‌کارگیری تحلیل مزیت رقابتی، مزایای رقابتی صنعت بندر هند را شناسایی کرده‌اند. سپس با پیاده‌سازی الگوی تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی بنادر کانتیری را مورد ارزیابی قرار دادند. یافته‌های این مقاله نشان می‌دهد که صنعت کشتیرانی به نسبت صنعت حمل‌ونقل کشور هند رقابتی‌تر است؛ اگرچه تحلیل‌ها نشان می‌دهد که بندر جواهرنهرو به عنوان بزرگترین بندر هند به‌نسبت، کارا نیست [۱۴]. پژوهشی دیگر با مروری بر مطالعات انجام شده در این حوزه به بررسی نتایج حاصل از این مطالعات پرداخته و سعی دارد دلایلی برای واگرایی نتایج به‌دست آمده، ارائه دهد. این پژوهش از تحلیل پوششی داده‌ها و داده‌های اصلی پایانه‌های کانتینری بزرگ استفاده کرده است. نتایج به‌دست آمده با نتایج به‌دست‌آمده در ادبیات متفاوت است. دلایلی چون دقیق نبودن داده‌ها، مقایسه انواع ترمینال‌های مختلف، مقایسه پایانه‌ها با مقیاس‌های مختلف و تمایز قائل نشدن بین پایانه‌ها و بنادر، به عنوان دلایل واگرایی نتایج ذکر شده است [۱۵]. در تحقیقی دیگر استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی تولید بندر کانتینری تا حد زیادی به الگوهای استاندارد DEA و استفاده از داده‌های مقطعی محدود شده است و ازاین‌رو ممکن است نتایج به دست آمده درباره ارزیابی کارایی، دارای سوگیری باشد؛ با توجه به این مسأله، سعی شده است استفاده از داده‌های پانل برای ارزیابی کارایی بلندمدت و میان‌مدت بنادر کانتینری به عنوان راه‌حل غلبه بر این مشکل معرفی و تبیین شود. این مقاله با استفاده از داده‌های پانل در دسترس به ارزیابی ۲۵ بندر می‌پردازد. نتایج به‌دست‌آمده، ضرورت استفاده از داده‌های پانل را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که نقاط ضعف قابل‌توجهی در تولید بندر کانتینری وجود دارد؛ ازاین‌رو با معرفی بنادر با بهترین عملکرد، الگویی برای بهبودبخشی بنادر ناکارا ارائه می‌کند [۱۶].

در تحلیل پوششی داده‌های مرسوم، پس از مشخص شدن مرز کارا، هرکدام از نهادهای تصمیم‌گیر با مقایسه با این مرز در دو دسته کارآمد یا ناکارآمد دسته‌بندی می‌شوند. در پژوهشی سعی شده رویکرد جدیدی برای تعریف مرزهای کارایی ارائه شود. این مقاله ابتدا به معرفی مرز به شدت کارآمد و مرز به شدت ناکارآمد می‌پردازد و پس از آن چند الگو برای محاسبه فاصله بین نهادهای تصمیم‌گیر مختلف و هر یک از مرزهای

تعریف شده، پیشنهاد می‌دهد. سپس بر اساس این فاصله‌ها، هشت شاخص کارایی برای رتبه‌بندی نهادهای تصمیم‌گیر ارائه می‌دهد. با توجه به این شاخص‌ها، ضمن محاسبه کارایی هر یک از نهادهای تصمیم‌گیر، از منظرهای گوناگون می‌توان به رتبه‌بندی کامل تمام واحدهای مورد بررسی پرداخت. با استفاده از این الگوها کارایی ۲۴ بندر عمده آسیایی تعیین، نقاط قوت و ضعف هر یک از این بنادر نشان و بینش‌های جدیدی درباره کارایی ارائه می‌شود [۱۷].

تعدد مطالعات انجام شده در حوزه محاسبه کارایی بنادر با استفاده از الگوهای مختلف تحلیل پوششی داده‌ها، بیانگر جامعیت و دقت رویکرد تحلیل پوششی داده‌ها در محاسبه کارایی نسبی است. جمع‌بندی و خلاصه مقالات مروری در این حوزه در جدول ۱، ارائه شده است. با بررسی تحقیقات و پژوهش‌هایی که در حوزه محاسبه کارایی بنادر با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها انجام شده، نکات، گسست‌ها و شکاف‌های زیر مشخص می‌شود:

- غالب کارهای انجام شده که با استفاده از تکنیک DEA به ارزیابی کارایی بنادر پرداخته‌اند با استفاده از داده‌های عمومی (Public Data) انجام شده‌اند. دلیل این استفاده از داده‌ها را می‌توان نبود دسترسی به داده‌های مطمئن به علّت انحصار و نبود همکاری شرکت‌های مورد بررسی دانست.
- تحلیل پوششی داده‌ها به شدت به خطای داده‌ها حساس است و چون غالب داده‌ها دارای اعتبار و دقت کافی نیستند، نتایج به‌دست آمده، قابلیت اطمینان بالایی ندارند.
- به صورت معمول فرض می‌شود که داده‌های ورودی و خروجی در DEA دقیق و مشخص هستند و اختلال و عدم‌قطعیت درنظر گرفته نمی‌شود. در غالب الگوها و تحقیقات انجام شده از داده‌های قطعی استفاده شده است و عدم قطعیت در هیچ یک از پژوهش‌ها در نظر گرفته نشده است.
- از سوی دیگر غالب محققان، بی‌توجه به تفاوت‌هایی هستند که بین بنادر و ترمینال‌های مختلف از نظر بزرگی و نوع (Transshipment, importExport) وجود دارد.
- الگوسازی‌های انجام شده در غالب کارهای انجام شده، الگوهای پایه‌ای و سنتی هستند و کارهایی کمی هستند که به نوآوری در حوزه تعریف الگو بپردازند. غالب الگوهایی که برای ارزیابی کارایی بنادر استفاده شده‌اند، الگوهای رایج و مرسوم تحلیل پوششی داده‌ها هستند. از سویی دیگر الگوسازی انجام شده برای ارزیابی کارایی بنادر و انتخاب ورودی‌ها و خروجی‌ها نیز در اغلب مطالعات انجام شده شباهت بسیاری با یکدیگر دارند.

با توجه به شکاف‌ها و گسست‌هایی که بیان شد، در این پژوهش سعی شده است با استفاده از یکی از رویکردهای بهینه‌سازی استوار که «بهینه‌سازی استوار مبتنی بر مجموعه‌های محدّب» نامیده می‌شود، یک الگوی تحلیل پوششی داده‌های استوار برای مواجهه با عدم‌قطعیت پیشنهاد شود. در غالب مواردی که از این تکنیک برای ارزیابی کارایی بنادر استفاده شده، از داده‌های دقیق استفاده شده است و وضعیت عدم‌قطعیت داده‌ها در نظر گرفته نشده است؛ ازاین‌رو سعی شده است الگویی استوار ارائه شود که بتواند با اطمینان بیشتری در وضعیت عدم‌قطعیت به ارزیابی و رتبه‌بندی بنادر بپردازد. در ضمن با توجه به اینکه الگوی تحلیل

پوششی داده‌ها علاوه بر توانایی محاسبه کارایی نسبی واحدها و رتبه‌بندی آنها، می‌تواند واحدهایی را به عنوان واحدهای مرجع برای هر یک از واحدهای ناکارا معرفی کند، سعی شده است با توجه به عملکرد واحدهای مرجع پیشنهادهایی برای بهبود کارایی بنادر ناکارا ارائه شود.

جدول ۱- دسته‌بندی مقالات مرتبط با ارزیابی کارایی بنادر با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

مرجع	هدف	داده‌ها	الگو	ورودی‌ها	خروجی‌ها
Roll and Hayuth (1993)	رتبه‌بندی کارایی بنادر	بیست بندر فرضی	CRS	نیروی کار، سرمایه، بار	ظرفیت حمل بار، سطح خدمات، سطح رضایت مشتریان، فرخوانی کشتی
Martinez-Budria et al (1999)	بررسی کارایی نسبی بنادر و توسعه کارایی آنها	۲۶ بندر اسپانیا در بازه ۱۹۹۳ تا ۱۹۹۷	VRS	هزینه نیروی کار، هزینه استهلاک، هزینه‌های دیگر	ظرفیت کل حمل بار، درآمد بندر
Hidekazu Itoh (2002)	بررسی تغییرات کارایی	هشت بندر کانتینری بین‌المللی در بازه ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۹	CRS VRS	مساحت ترمینال، تعداد اسکله، تعداد جرثقیل، نیروی کار عملیاتی و اداری	ورود و خروج کانتینرها در سال برحسب TEU
Tongzon (2001)	بررسی عوامل اثرگذار بر کارایی و عملکرد بنادر	چهار بندر استرالیا و ۱۲ بندر دیگر در سال ۱۹۹۶	CRS	تعداد جرثقیل‌ها، تعداد اسکله، مساحت ترمینال، زمان تأخیر، نیروی کار	ظرفیت حمل بار، نرخ فعالیت کشتی
Wang et al. (2003) and Cullinane et al (2005)	رتبه‌بندی کارایی بنادر کانتینری	۵۷ ترمینال کانتینتری در ۲۸ بندر کانتینری بین‌المللی	CRS VRS FDH	طول اسکله، مساحت ترمینال، تعداد جرثقیل‌ها	ظرفیت حمل بار
Cullinane et al (2004)	ارزیابی کارایی	۲۵ بندر کانتینتری بین‌المللی در بازه ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۹	CRS VRS	طول اسکله، مساحت ترمینال، تعداد جرثقیل‌ها	ظرفیت حمل بار
Barros and Athanassiou (2004)	مقایسه کارایی بنادر و یافتن بهترین الگو	شش بندر بین‌المللی در یونان و پرتغال در بازه ۱۹۹۸	CRS VRS	نیروی کار، سرمایه	ظرفیت حمل کشتی، ظرفیت حمل کانتینر، تخلیه بار

مرجع	هدف	داده‌ها	الگو	ورودی‌ها	خروجی‌ها
		تا ۲۰۰۰			
Park and De (2004)	اندازه‌گیری کارایی بندر چهار مرحله‌ای	۱۱ بندر کره	Multi-stage CRS VRS	ظرفیت بارانداز، ظرفیت تخلیه بار، ظرفیت کشتی، درآمد، رضایت مشتری	
Lin and Tseng (2005)	مقایسه رتبه‌بندی DEA و SFA	۲۷ بندر کانتینری در بازه ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۲	CRS VRS	تعداد جرثقیل، طول اسکله، تجهیزات بارگیری	ظرفیت حمل بار
and Wang Cullinane (2006)	رتبه‌بندی ترمینال‌های بندری با توجه به مکان و مقیاس	۱۰۴ ترمینال اروپا	CRS VRS	طول اسکله، مساحت ترمینال، هزینه تجهیزات	ظرفیت حمل بار
Cullinane et al (2006)	مقایسه رتبه‌بندی DEA و SFA	۵۷ ترمینال کانتینری در ۲۸ بندر کانتینری بین‌المللی در سال ۲۰۰۱	CRS VRS	طول اسکله، مساحت ترمینال، هزینه تجهیزات	ظرفیت حمل بار
Kaisar, Pathomsiri, Haghani (2006)	اندازه‌گیری کارایی	۲۵ بندر آمریکا	VRS	طول کل اسکله و ترمینال، تعداد جرثقیل	ظرفیت حمل بار
L. C. LIN and C.C. TSENG (2007)	شناسایی روند کارایی بنادر	۱۰ بندر بزرگ در منطقه آسیا– اقیانوسیه	VRS،CRS، SCE A&P،D&G	مساحت انبار کانتینرها، تعداد جرثقیل‌ها، طول ترمینال	تعداد کشتی‌های به خدمت گرفته از بندر، حجم بارگزاری و بارانداری کانتینرها
Al-Eraqi et al (2008)	اندازه‌گیری کارایی نسبی	۲۲ بندر در خاورمیانه و آفریقای شرقی در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵	VRS،CRS Window DEA	طول بارانداز، مساحت انبار، تجهیزات بارگیری	تعداد فرخوانی کشتی‌ها، ظرفیت حمل بار
Bing-Lian Liu، Wei-Lin Cheng-Ping ،Liu Cheng (2008)	استفاده از الگوهای DEA و Malmquist برای اندازه‌گیری کارایی TFP	۴۵ ترمینال چین در بازه ۲۰۰۴ تا ۲۰۰۶	VRS	تعداد جرثقیل‌ها، طول ترمینال	تعداد کانتینرهای بارگیری شده
Kevin Cullinane, Tengfei Wang	ارزیابی کارایی با استفاده از رویکرد	سی بندر مهم در سال ۲۰۰۱	DEA Panel Data	تعداد جرثقیل‌ها، تجهیزات اتصال‌دهنده،	ظرفیت حمل بار، طول ترمینال،

مرجع	هدف	داده‌ها	الگو	ورودی‌ها	خروجی‌ها
(2010)	DEA panel data				مساحت ترمینال
منصورکیانی‌مقدم، مهدی جعفرزاده، علیرضا بخشی‌زاده ۱۳۹۱	رتبه‌بندی بنادر	۱۱ بندر مهم ایران	CRS	مساحت بندر و محوطه انبارداری، تعداد کارکنان تعداد جرثقیل تعداد تجهیزات دریایی تعداد تراکتور سایر تجهیزات خشکی	تخلیه و بارگیری محموله‌های نفتی، تخلیه و بارگیری محموله‌های کانتینری، تخلیه و بارگیری محموله‌های غیرنفتی
پیشوایی، صادقیان ۱۳۹۴	رتبه‌بندی بنادر در وضعیت عدم‌قطعیت داده‌ها	۱۱ بندر مهم ایران	Robust CRS	مساحت بندر و محوطه انبارداری، تعداد کارکنان، تعداد جرثقیل، تعداد تجهیزات دریایی، تعداد تراکتور، سایر تجهیزات خشکی	تخلیه و بارگیری محموله‌های نفتی، تخلیه و بارگیری محموله‌های کانتینری، تخلیه و بارگیری محموله‌های غیرنفتی

۳- تعریف مسئله و الگوسازی

حمل‌ونقل دریایی به‌عنوان یکی از ارزانترین و سریع‌ترین شیوه‌های حمل‌ونقل کالا در جهان شناخته می‌شود. صنعت حمل‌ونقل دریایی جهان بزرگترین صنعت بین‌المللی در جهان است و بیش از ۲.۵ میلیون نفر در این صنعت مشغول به کار هستند. حدود ۹۵ تا ۹۰ درصد تجارت خارجی کشور از طریق دریا انجام می‌شود و ایران با بیش از ۱۵۰ فروند کشتی اقیانوس‌پیما (کالابر و نفتکش) به عنوان یکی از بزرگترین ناوگان‌های دریایی خاورمیانه و مهم‌ترین کشور دریایی در منطقه، از ظرفیت‌های زیادی در حمل‌ونقل دریایی برخوردار است [۲].

درحال‌حاضر ۹۰ درصد کالاهای کشور با کمک حمل‌ونقل دریایی جابه‌جا می‌شود. سند چشم‌انداز بیست ساله نیز نشان می‌دهد که ایران تا پایان سال ۱۴۰۰ باید به بخشی از اهداف مشخص شده، دست پیدا کند. درحال‌حاضر ۱۱ بندر بازرگانی با ظرفیت ۱۸۶ میلیون تُن کالا در کشور فعالیت می‌کنند و این ناوگان با ظرفیت ۶.۱۲ میلیون تن، توان جابه‌جایی حجم عظیمی از حمل ونقل دریایی را دارد [۲].

هم‌اکنون شاغلان فعال در حمل ونقل دریایی به بیش از ۱۳۰هزار نفر رسیده اند که با ۱۲۱هزار نفر در بخش صیادی به بیش از ۲۵۱هزار نفر می‌رسد؛ ضمن اینکه در صنایع دریایی کشور نیز تعداد چشمگیری در حال فعالیت هستند. در طول سواحل و کرانه‌های دریایی کشور ۱۱ بندر اصلی بازرگانی در کنار بنادر متعدد شیلاتی و مسافری با ظرفیت تخلیه و بارگیری بیش از ۱۸۶میلیون تُن کالا و جابه‌جایی ۱۴میلیون نفر

مسافر، وجود دارد. این مسأله، جایگاه سیاسی، اقتصادی و جغرافیایی جمهوری اسلامی ایران را در منطقه و جهان به‌ویژه در ارتباط با کشورهای همسایه متمایز کرده است [۲].

ایران درحال‌حاضر در دسته ۱۵ کشور فعال در سازمان جهانی دریانوردی شناخته می‌شود [۲]. بنادر ایران به عنوان مبادی ورودی کالا، نقش تعیین‌کننده‌ای در حوزه واردات و صادرات کالا و صنعت حمل‌ونقل ایفا می‌کنند. بنادر معمولاً به‌عنوان یکی از حلقه‌های زنجیره حمل‌ونقل دریایی نقش اتصال‌دهنده جریان کالا را از حوزه ترابری زمینی به ترابری دریایی دارند.

حمل‌ونقل کانتینری که اغلب از سوی بنادر انجام می‌شود، دارای یک بازار دوره‌ای است. این بازار دوره‌ای چرخه اقتصادی متناسب با خود را دارد. این چرخه، تأثیر قابل‌توجهی در رقابت بین بازیگران این صنعت داراست. همه بازیگران و شرکت‌های موجود در این بازار برای شناسایی رفتار این چرخه و پیش‌بینی تقاضا در آینده این بازار تلاش می‌کنند؛ چراکه سود سرشاری در نقطه اوج این چرخه قرار دارد و هر بازیگری که نتواند از این سود استفاده مناسب را ببرد با مشکلات جدی برای حضور در این بازار مواجه خواهد شد. با توجه به هزینه‌ها و زمان طولانی ساخت کشتی‌ها و تأسیسات بندری، در این چرخه زمانی که تقاضا و قیمت‌ها زیاد هستند، بیشتر سرمایه‌گذاری انجام می‌شود. اگرچه زمانی طول خواهد کشید تا اثرات ناشی از این سرمایه‌گذاری آشکار شود. در زمانی که بازار اشباع می‌شود، این اشباع، کاهش قیمت را به دنبال دارد. با کاهش قیمت، ظرفیت کاهش می‌یابد؛ اما باید به اثرات زمان نیز توجه کرد؛ چراکه این زمان منجر به افزایش تقاضا و دوباره افزایش قیمت خواهد شد. این فرآیند به صورت مدوام تکرار می‌شود. این چرخه نشان می‌دهد که بنادر به عنوان حلقه‌ای از حمل‌ونقل دریایی که به عنوان مبادی ورود و خروج کالا محسوب می‌شوند، باید برای دستیابی به کارایی مناسب در هر مرحله از این چرخه به مدیریت مناسب ورودی‌ها و خروجی‌های خود بپردازند [۱۸].

امروزه بنادر به عنوان یکی از ارکان اصلی حمل‌ونقل دریایی محسوب می‌شوند. برای دستیابی به یک حمل‌ونقل دریایی پایدار و کارا، نیازمند آن هستیم که بتوانیم بنادر را به‌عنوان یکی از ارکان این صنعت، کارا کنیم. امروزه معیارهای مختلفی برای ارزیابی کارایی رقابت‌پذیری بنادر مطرح هستند.

در این تحقیق به‌دنبال ارزیابی کارایی بنادر ایران با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها هستیم و سعی خواهیم کرد علاوه بر ارزیابی کارایی بنادر در حالت قطعی بودن داده‌ها، اثرات عدم‌قطعیت ناشی از داده‌ها را نیز بر کارایی بنادر بررسی کنیم.

همان‌طورکه می‌دانیم، منطق روش تحلیل پوششی داده‌ها برمبنای ورودی‌ها (داده‌ها) و خروجی‌های (ستاده‌ها) واحدهای تصمیم‌گیری مورد مقایسه، شکل گرفته است. انتخاب بهترین مجموعه از ورودی‌ها و خروجی‌ها، یکی از مهم‌ترین مراحل محاسبه کارایی به روش تحلیل پوششی داده‌هاست؛ به‌این‌منظور در این پژوهش با مرور مقالاتی که با استفاده از تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی کارایی بنادر پرداخته‌اند، سعی شده جمع‌بندی مناسبی درباره الگوهای مورد ارزیابی این بنادر، ارائه شود. برای این کار ضمن توجه به الگوی استفاده شده در ارزیابی کارایی بندر، به مواردی مثل هدف از کارایی و ورودی‌ها و خروجی‌هایی که در هر الگو استفاده شده نیز، توجه شده است. خلاصه و جمع‌بندی حاصل از این کار در قسمت مرور بر ادبیات

ارائه شده است. با توجه به نتایج جدول، الگوی کیانی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۲) انتخاب شده است که در مجموع شش متغیر ورودی و سه متغیر خروجی دارد. فهرست ورودی‌ها و خروجی‌ها در جدول زیر نشان داده شده است.

جدول ۲- متغیرهای ورودی و خروجی الگوی کیانی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۲)

ورودی‌ها	**مساحت بندر و محوطه انبارداری**
	تعداد کارکنان
	تعداد جرثقیل (شامل ترانسیتر، ساحلی، محوطه، گنتری کرین)
	تعداد تجهیزات دریایی (شامل بارج، لایروب و یدک‌کش)
	تعداد تراکتور
	سایر تجهیزات خشکی (شامل تاپ لیفتراک، لیفتراک، ریچ استاکر و مکنده)
خروجی‌ها	تخلیه و بارگیری محموله‌های نفتی
	تخلیه و بارگیری محموله‌های غیرنفتی
	تخلیه و بارگیری محموله‌های کانتینری

واحدهای تصمیم‌گیری در این پژوهش و جامعه آماری این تحقیق، بنادر عمده کشتیرانی ایران هستند؛ اما ازآنجاکه داده‌های مربوط به بعضی از بنادر کوچک در دسترس نبود، ۱۱ بندر اصلی ایران به‌عنوان نمونه در نظر گرفته شده‌اند. این بنادر عبارت‌اند از: امام‌خمینی(ره)، چابهار، خرمشهر، آبادان، شهید رجایی، شهید باهنر، امیرآباد، انزلی، نوشهر، لنگه و بوشهر.

در این تحقیق، شاخص مساحت بندر برمبنای کیلومتر مربع، شاخص‌های تخلیه بارگیری نفتی و غیرنفتی برمبنای تُن، شاخص تخلیه و بارگیری کانتینری برمبنای TEU و سایر شاخص‌ها برمبنای تعداد است. داده‌های مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های بنادر در سال ۱۳۸۹ با استخراج از سایت بنادر و دریانوردی، احصاء شده است. در جدول ۳، داده‌های ورودی‌ها و خروجی‌های بنادر ایران در سال ۱۳۸۹ نمایش داده شده است.

جدول ۳- مقادیر ورودی و خروجی بنادر ایران در سال ۱۳۸۹

بندر DMU	ورودی‌ها							خروجی‌ها		
	مساحت بندر (Km^2)	تعداد کارکنان	تعداد جرثقیل	تعداد تجهیزات دریایی	تعداد تراکتور	تعداد سایر تجهیزات خشکی	تخلیه و بارگیری غیرنفتی (تن)	تخلیه و بارگیری نفتی (تن)	تخلیه و بارگیری کانتینری (TEU)
چابهار	۲۴۶.۲	۹۵	۴	۶	۱۴	۱۲	۱۲۴۹۷۷۶	۳۸۸۹۰۱	۱۸۴۲۸
امام‌خمینی	۲۶۲۲	۴۷۷	۷۸	۱۹	۲	۱۳۴	۱۵۳۳۲۹۰	۲۵۱۸۰۸۲۸	۱۵۶۶۸۶
خرمشهر	۴۸۰	۱۱۱	۲۲	۵	۲۱	۴۷	۴۷۳۲۳	۱۲۳۱۰۱۲	۹۳۹۱۹
آبادان	۲۸.۵	۲۹	۶	۱	۹	۷	۲۳۵۶	۷۳۴۶۴	۰
رجایی	۴۱۹۳	۲۸۹	۷۸	۱۴	۱	۳۲	۲۶۱۲۲۷۰۹	۴۷۶۲۰۱۲۹	۲۵۱۱۶۹۵
باهنر	۵۰	۹۳	۱۰	۰	۳	۱۰	۳۳۹۶۸۰	۱۲۴۲۴۹۱	۱۰۵۰
انزلی	۵۷۲.۵	۲۳۱	۲۰	۹	۷۱	۹۰	۳۱۳۸۲۷	۶۵۵۴۶۳۰	۷۶۲۱
امیرآباد	۱۰۴۳	۵۹	۵	۵	۱۵	۲۰	۴۴۸۷۸	۲۱۰۶۷۷۵	۲۱۹
نوشهر	۱۳۴.۵	۱۸۵	۲	۶	۲۷	۴۸	۶۴۱۹۴	۱۰۷۲۹۷۹	۸۸۰
لنگه	۱۰۸.۷	۱۱۰	۱۵	۱	۴	۹	۰	۱۱۰۷۱۸۷	۰
بوشهر	۲۶۶	۲۱۲	۷	۱۸	۹	۷۳	۱۷۱۴۳۵۸	۲۶۴۵۶۱۳	۲۰۳۰۸۹

۳- ۱- روش‌شناسی

انواع الگوهای تحلیل پوششی داده‌ها در حال افزایش است و جنبه تخصصی‌تری پیدا می‌کند. الگوی تحلیل پوششی داده‌ها را از لحاظ ورودی‌محور یا خروجی‌محور بودن می‌توان تقسیم‌بندی کرد. در الگوی DEA با دیدگاه ورودی‌محور، به دنبال به دست آوردن ناکارایی فنی به‌عنوان نسبتی هستیم که باید در ورودی‌ها کاهش داده شود؛ درنتیجه خروجی بدون تغییر بماند و واحد در مرز کارایی قرار گیرد. در دیدگاه خروجی‌محور، به دنبال نسبتی هستیم که باید در خروجی‌ها افزایش یابد، بدون اینکه تغییری در ورودی‌ها به وجود آید تا واحد مورد نظر به مرز کارایی برسد. علّت انتخاب دیدگاه برای یک الگوی DEA، در ارزیابی نسبی عملکرد واحدهایی است که در بعضی موارد، مدیریت واحد هیچ کنترلی بر میزان خروجی‌شان ندارد و مقدار آن از قبل مشخص و ثابت است؛ برعکس، در بعضی از موارد میزان ورودی ثابت و مشخص است و میزان تولید (خروجی) متغیر تصمیم است. در چنین وضعیتی، دیدگاه خروجی مناسب است. درنهایت انتخاب ماهیت ورودی و خروجی بر اساس میزان کنترل مدیر، بر هر یک از ورودی‌ها و خروجی‌ها تعیین می‌شود.

با توجه به اینکه در این تحقیق برای ارزیابی از الگوی بازدهی متغیر خروجی‌محور استفاده شده است، فقط این الگو تشریح می‌شود. نام این الگو از حروف اول سه محقق به وجودآورنده آن یعنی چارنز، کوپر و رودز اقتباس شده است. این الگو دارای بازدهی نسبت به مقیاس ثابت است. الگوهای خروجی‌محور به دنبال افزایش یا حداکثر کردن خروجی‌ها به شرط عدم افزایش بدون تغییر یا کاهش در میزان ورودی‌ها هستند. در

واقع، هدف این الگو حداکثر کردن میزان خروجی است، بدون اینکه در میزان ورودی‌ها یا منابع، افزایشی حاصل شود. الگوهای خروجی‌محور در یک تقسیم‌بندی کلی به دو گروه الگوهای مضربی و پوششی تقسیم می‌شوند. الگوی مضربی خروجی‌محور به شکل زیر است:

$$\mathbf{Z}^{*} = \mathbf{Min} \sum_{\mathbf{i=1}}^{\mathbf{m}} \mathbf{v_i}\,\bar{\mathbf{x}}_{\mathbf{o}} \qquad (۱)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r \bar{y}_{ro} = 1 \qquad (۲)$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r \bar{y}_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i\,\bar{x}_{ij} \le 0 \qquad j = 1، \dots ،n \qquad (۳)$$

$$u_r، v_i \ge 0. \qquad (۴)$$

الگوی پوششی خروجی‌محور به شکل زیر است:

$$\theta^{*} = \mathrm{Max}\ \theta_o \qquad (۵)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \bar{x}_{ij} \le \bar{x}_{io} \qquad i = 1، \dots ،m \qquad (۶)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \bar{y}_{rj} \ge \theta_o\,\bar{y}_{ro} \qquad r = 1، \dots ،s \qquad (۷)$$

$$\lambda_j \ge 0 \quad ، \quad \theta_o \text{ free} ، \quad j = 1، \dots ،n. \qquad (۸)$$

الگوی بالا، کارایی نسبی n واحد تصمیم‌گیر با m ورودی و s خروجی که به ترتیب $\bar{x}_{1j}، \dots ،\bar{x}_{mj}$ ورودی‌ها و $\bar{y}_{1j}، \dots ،\bar{y}_{sj}$ خروجی‌ها هستند، را محاسبه می‌کند.

یکی از مشکلات در DEA متعارف رتبه‌بندی واحدهای مختلف تصمیم‌گیری با نمرات واحد است؛ چراکه در الگوهای متعارف DEA این امکان وجود دارد که چند واحد تصمیم‌گیر دارای امتیاز یک شوند و در نتیجه واحدهای تصمیم‌گیر نمی‌توانند به صورت دقیقی رتبه‌بندی شوند. برای حل این مشکل، اندرسون و پترسون رویکردی جدید ارائه کرده‌اند که «الگوی فراکارا» نامیده می‌شود. در روش پیشنهادی آنها، با حذف واحد فراکارا از مجموعه مرجع، این امکان را به واحد فراکارا می‌دهد که به نمره کارایی بیشتر از یک دست یابد [۱۹]. الگوی فراکارای اندرسون پترسون به شکل زیر است:

$$\theta_S^{*} = \mathrm{Max}\ \theta_o^{S} \qquad (۹)$$

$$\text{s. t.}$$

$$\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o}}^{n} \lambda_j \bar{x}_{ij} \leq \bar{x}_{io} \qquad i = 1, \dots, m \tag{۱۰}$$

$$\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o}}^{n} \lambda_j \bar{y}_{rj} \geq \theta_o^S \, \bar{y}_{ro} \qquad r = 1, \dots, s \tag{۱۱}$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad , \quad \theta_o^S \text{ free} , \quad j = 1, \dots, n. \tag{۱۲}$$

الگوی فراکارای بالا، نمره کارایی واحد تصمیم‌گیر موردنظر را با حذف آن از محدودیت‌ها محاسبه می‌کند. الگوی بالا برای رتبه‌بندی واحدهای کارا معرفی شده است که دارای نمره کارایی یک هستند، ولی این الگو می‌تواند برای رتبه‌بندی تمام واحدها نیز استفاده شود.

در اغلب الگوهای DEA رایج، فرض اصلی این است که بردارهای ورودی و خروجی با دقت کامل اندازه‌گیری می‌شوند؛ درحالی‌که در غالب موارد، داده‌ها همیشه با اختلال‌هایی همراه هستند. در دنیای واقعی با مواردی روبه‌رو هستیم که داده‌های مورد بررسی با اختلال و عدم‌قطعیت همراه هستند و تدوین الگویی که بتواند این عدم‌قطعیت را حل کند، اجتناب‌ناپذیر است. برای رفع این مشکل، رویکردهای مختلفی برای مواجهه با عدم‌قطعیت در داده‌های ورودی و خروجی ارائه شده است. امروزه رویکرد بهینه‌سازی استوار یکی از محبوب‌ترین رویکردها برای مواجهه با عدم‌قطعیت محسوب می‌شود.

بهینه‌سازی استوار، رویکردی جدید است که به‌تازگی برای الگوسازی عدم‌قطعیت در داده‌ها مورد توجه قرار گرفته است. Ben-Tal (۲۰۰۰) و Nemirovski با بررسی تعدادی از مسائل حوزه بهینه‌سازی نشان دادند که حتی یک اختلال کوچک بر روی داده‌ها باعث نقض‌شدنی بودن حل بهینه مسائل مورد بررسی شده است [۲۰]. بهینه‌سازی استوار برای پایه مطالعات Ben-Tal و Nemirovski [۲۰]–[۲۲]، El-Ghaoui و Lebert [۲۳]، [۲۲] و Bertsimas و Sim [۲۵]، [۲۴] توسعه داده شده است. این تکنیک به صورت کلی به الگوسازی مسائل بهینه‌سازی در وضعیت عدم‌قطعیت می‌پردازد؛ به‌صورتی‌که حل به‌دست آمده برای همه یا اکثر مقادیر ممکن پارامترهای دارای عدم‌قطعیت، شدنی بودن یا بهینگی آن تضمین شده باشد.

به‌عنوان پیشتاز این عرصه، Soyster (۱۹۷۳) یک روش برنامه‌ریزی استوار بدبینانه برای برخورد با مسائل برنامه‌ریزی خطی غیردقیق توسعه داد. Ben-Tal و Nemirovski [۲۷]، [۲۲]–[۲۰]، El-Ghaoui [۲۳] و Lebert، ایده‌های جدید برای الگوسازی داده‌های دارای عدم‌قطعیت بر اساس مجموعه عدم‌قطعیت بیضوی ارائه کرده‌اند. به‌تازگی، Bertsimas [۲۴]، [۲۵] و Sim و Bertsimas [۲۸] و همکاران یک رویکرد بهینه‌سازی استوار بر اساس مجموعه عدم‌قطعیت چندوجهی برای حل مسائل تحت بررسی ارائه کرده‌اند. سجادی و عمرانی [۲۹]، [۲۸] بر اساس رویکرد بهینه‌سازی استوار، به توسعه یک الگوی DEA استوار پرداخته‌اند و فرمول جدیدی از DEA ارائه کرده‌اند که قابلیت اطمینان بیشتری برای برآورد کارایی و

رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری دارد. الگوی DEA استوار ارائه شده برای الگوهای مضربی و پوششی ارائه شده است.

در این مقاله، یک همزاد استوار برای الگوی پوششی DEA فراکارای خروجی‌محور، توسعه داده شده است. در این الگو فرض شده است که بردارهای ورودی و خروجی در مجموعه عدم‌قطعیت چندوجهی حرکت می‌کنند. الگوی DEA فراکارا بر اساس بهینه‌سازی استوار توسعه داده شده است و برای رتبه‌بندی بنادر ایران به کار گرفته می‌شود.

برمبنای مطالعات Ben-Tal و Nemirovski [۲۰] فرض می‌شود که بردارهای خروجی و ورودی از مقادیر اسمی $\bar{x}_{ij}$ و $\bar{y}_{ij}$ و جز اختلال تصادفی تشکیل شده‌اند:

$$x_{ij} = \bar{x}_{ij} + \varepsilon\, \xi_{ij}\, \bar{x}_{ij} = \bar{x}_{ij}\left(1 + \varepsilon\, \xi_{ij}\right), \quad (۱۳)$$

$$y_{ij} = \bar{y}_{ij} + \varepsilon\, \xi_{ij}\, \bar{y}_{ij} = \bar{y}_{ij}\left(1 + \varepsilon\, \xi_{ij}\right), \quad (۱۴)$$

به‌طوری‌که $\varepsilon > 0$ نشان‌دهنده سطح عدم‌قطعیت و اختلال ξ_{ij}، متغیری تصادفی است که دارای توزیع یک‌نواخت در بازه $[-1,1]$ است، با جای‌گذاری روابط بالا در الگوی فراکارا، الگوی DEA فراکارای استوار به‌صورت زیر خواهد شد:

$$\theta^{*}_{RS} = \text{Max}\ \theta^{RS}_{o} \quad (۱۵)$$

$$s.t.$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq o}}^{n} \lambda_j \bar{x}_{ij}\left(1 + \varepsilon\, \xi_{ij}\right) - \bar{x}_{io}(1 + \varepsilon\, \xi_{io}) \leq 0 \qquad i = 1, \ldots, m \quad (۱۶)$$

$$\theta^{S}_{o}\, \bar{y}_{ro}\, (1 + \varepsilon\, \xi_{ro}) - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq o}}^{n} \lambda_j \bar{y}_{rj}\, \left(1 + \varepsilon\, \xi_{rj}\right) \leq 0 \qquad r = 1, \ldots, s \quad (۱۷)$$

$$\lambda_j \geq 0 \quad , \quad \theta^{RS}_{o}\ \text{free} , \quad j = 1, \ldots, n. \quad (۱۸)$$

در الگوی بالا، مجموعه ضرایب در سطر i که دارای عدم‌قطعیت هستند، با نماد J_j نمایش داده می‌شود و ازاین‌رو $\forall j \notin J_j, \xi_{ij} = 0$. بنابراین الگو به صورت زیر خواهد شد:

$$\theta^{*}_{RS} = \text{Max}\ \theta^{RS}_{o} \quad (۱۹)$$

$$\text{s. t.}$$

$$\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o}}^{n}\lambda_j\bar{x}_{ij}-\bar{x}_{jo}+\varepsilon\left(\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o\\ j\in J_j}}^{n}\lambda_j\bar{x}_{ij}\xi_{ij}-\bar{x}_{io}\xi_{io}\right)\leq 0 \qquad i=1,\dots,m \qquad (۲۰)$$

$$\theta_o^S\,\bar{y}_{ro}-\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o}}^{n}\lambda_j\bar{y}_{rj}+\varepsilon\left(\theta_o^S\,\bar{y}_{ro}\,\xi_{ro}-\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o\\ j\in J_j}}^{n}\lambda_j\bar{y}_{rj}\xi_{rj}\right)\leq 0 \qquad r=1,\dots,s \qquad (۲۱)$$

$$\lambda_j\geq 0\ ,\quad \theta_o^{RS}\ \text{free}\ ,\quad j=1,\dots,n. \qquad (۲۲)$$

فرض می‌شود که داده‌ها در فضای عدم‌قطعیت چندوجهی U تغییر می‌کنند.

$$U=\{\,\xi\mid\ \|\xi\|_1\leq\Gamma\,\}=\left\{\xi\ \middle|\ \sum_{j\in J_j}|\xi_j|\ \leq\ \Gamma\right\} \qquad (۲۳)$$

در الگوی فراکارای استوار بالا، محدودیت‌هایی که شامل پارامترهای دارای عدم‌قطعیت هستند، نباید نقض شوند؛ ازاین‌رو الگو به صورت زیر اصلاح می‌شود:

$$\theta_{RS}^{*}=\text{Max}\ \theta_o^{RS} \qquad (۲۴)$$

$$\text{s.t.}$$

$$\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o}}^{n}\lambda_j\bar{x}_{ij}-\bar{x}_{io}+\underset{\text{s.t: }\|\xi\|_1\leq\Gamma}{\text{Max}}\left\{\varepsilon\left(\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o\\ j\in J_j}}^{n}\lambda_j\bar{x}_{ij}\xi_{ij}-\bar{x}_{io}\xi_{io}\right)\right\} \qquad (۲۵)$$

$$\leq 0 \qquad i=1,\dots,m$$

$$\theta_o^S\,\bar{y}_{ro}-\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o}}^{n}\lambda_j\bar{y}_{rj}+\underset{\text{s.t: }\|\xi\|_1\leq\Gamma}{\text{Max}}\left\{\varepsilon\left(\theta_o^S\,\bar{y}_{ro}\,\xi_{ro}-\sum_{\substack{j=1\\ j\neq o\\ j\in J_j}}^{n}\lambda_j\bar{y}_{rj}\xi_{rj}\right)\right\} \qquad (۲۶)$$

$$\leq 0 \qquad r=1,\dots,s$$

$$\lambda_j\geq 0\ ,\quad \theta_o^{RS}\ \text{free}\ ,\quad j=1,\dots,n. \qquad (۲۷)$$

برمبنای مطالعات Ben-Tal و Nemirovski با استفاده از همزاد استوار چندوجهی، الگوی بالا به صورت زیر خواهد شد:

$$\theta^{*}_{RS} = \text{Max } \theta^{RS}_{o} \qquad (۲۸)$$

$$\text{s. t.}$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j\neq o}}^{n} \lambda_j \bar{x}_{ij} - \bar{x}_{io} + \varepsilon\, \Gamma\, (P_i + P_i^{*}) \leq 0 \qquad i = 1, \dots, m \qquad (۲۹)$$

$$\theta^{S}_{o}\, \bar{y}_{ro} - \sum_{\substack{j=1 \\ j\neq o}}^{n} \lambda_j \bar{y}_{rj} + \varepsilon\, \Gamma(Q_r + Q_r^{*}) \leq 0 \qquad r = 1, \dots, s \qquad (۳۰)$$

$$P_i \geq \bar{x}_{ij} \left|\lambda_j\right| \qquad \forall i, j \neq o \qquad (۳۱)$$

$$P_i^{*} \geq \bar{x}_{io} \qquad \forall i \qquad (۳۲)$$

$$Q_r \geq \bar{y}_{rj} \left|\lambda_j\right| \qquad \forall r, j \neq o \qquad (۳۳)$$

$$Q_r^{*} \geq \bar{y}_{ro}\, |\theta^{S}_{o}| \qquad \forall r \qquad (۳۴)$$

$$\lambda_j \geq 0 \;\; , \;\; \theta^{RS}_{o} \text{ free} , \;\; j = 1, \dots, n. \qquad (۳۵)$$

در الگوی بالا احتمال اینکه محدودیت i در k درصد حالت نقض شود، به صورت رابطه $k = \exp(-\Gamma_i^2/2)$ است، بنابراین با تغییر مقدار Γ می‌توان سطح اطمینان الگو را تغییر داد و اثر آن را بر عملکرد الگو بررسی کرد.

۴- تجزیه و تحلیل نتایج و بحث

برای اینکه نشان دهیم الگوی ارائه شده دارای عملکرد مناسبی است، این الگو با استفاده از داده‌های ۱۱ بندر عمده ایران در سال ۱۳۸۹ اجرا شد. ابتدا بدون در نظر گرفتن هر گونه عدم‌قطعیت در داده‌ها با استفاده از الگوی DEA مضربی و پوششی خروجی‌محور، بنادر، ارزیابی و رتبه‌بندی شدند. برای رتبه‌بندی تمام واحدها از الگوی DEA فراکارا استفاده شد؛ البته بهتر است که رتبه‌بندی برمبنای نتایج این الگو، مبنای مقایسه بنادر قرار گیرد، زیرا در این روش واحدهای کارا را نیز می‌توان با هم مقایسه کرد. با استفاده از نرم‌افزار GAMS ویرایش ۲۴.۱.۲ الگوهای تدوین شده محاسبه شدند و کارایی هر یک از بنادر به صورت جدول به دست آمد. رتبه هر یک از بنادر برمبنای الگوی تحلیل پوششی داده‌های فراکارا به‌دست آمده است.

جدول ۴- رتبه‌بندی بنادر ایران با استفاده از دو الگوی تحلیل پوششی داده‌ها و تحلیل پوششی داده‌های فراکارا

ردیف	نام بندر	الگوی تحلیل پوششی داده‌ها		الگوی تحلیل پوششی داده‌های فراکارا	
		کارایی	رتبه	کارایی	رتبه
۱	چابهار	۰،۹۳۳	۵	۰،۹۳۳	۶
۲	امام‌خمینی	۰،۸۳۶	۴	۰،۸۳۶	۷
۳	خرمشهر	۰،۳۱۷	۸	۰،۳۱۷	۱۰
۴	آبادان	۰،۱۳۶	۹	۰،۱۳۶	۱۱
۵	رجایی	۱	۱	۵۹،۸	۲
۶	باهنر	۱	۱	۶۶،۶۶	۱
۷	انزلی	۰،۹۱۰	۲	۰،۹۱۰	۴
۸	امیرآباد	۰،۶۹۰	۶	۰،۶۹۰	۸
۹	نوشهر	۰،۸۷۹	۳	۰،۸۷۹	۵
۱۰	لنگه	۰،۶۱۲	۷	۰،۶۱۲	۹
۱۱	بوشهر	۱	۱	۱،۲۸۲	۳
کمترین		۰،۱۳۶	–	۰،۱۳۶	–
بیشترین		۱	–	۶۶،۶۶	–

همان‌طورکه در جدول ۴، مشاهده می‌شود در سال ۱۳۸۹ سه بندر رجایی، باهنر و بوشهر جزء بنادر کارا بودند؛ بدین‌معنی که نسبت به بقیه بنادر به‌طورنسبی استفاده بهتری از منابع خود کرده و نتایج بهتری کسب کرده‌اند. سایر بنادر که کارایی نسبی کمتر از یک دارند، ناکارا هستند. علاوه بر اینکه الگوی تحلیل پوششی داده‌ها، توانایی محاسبه کارایی نسبی واحدها و در نهایت رتبه‌بندی آنها را دارد، این الگو می‌تواند واحدهایی را به‌عنوان واحدهای مرجع برای هر یک از واحدهای ناکارا معرفی کند. در واقع واحدهای مرجع، الگوهایی برای واحدهای ناکارا جهت کارا شدن هستند و واحدهای ناکارا می‌توانند برای کارا شدن، واحدهای مرجع را

به‌عنوان الگو انتخاب کرده و سعی کنند تا ورودی‌ها یا خروجی‌های خود را به آنها نزدیک کنند. بنادر مرجع تمام بنادر ناکارا برای سال ۱۳۸۹ به‌دست آمده است که در جدول ۵، نشان داده شده است. با توجه به اینکه دو بندر شهید رجایی و شهید باهنر از کارایی نسبی بهتری نسبت به سایر بنادر برخوردار بودند، بندر مرجع بسیاری از بنادر ناکارا قرار گرفتند.

در جدول ۵، قیمت‌های سایه مربوط به بنادر مرجع هر بندر ناکارا، در جلوی آن نوشته شده است. به کمک این قیمت‌های سایه می‌توان بنادر مرکب مجازی هر یک از بنادر ناکارا را به‌دست آورد. بنادر مرکب مجازی مختصات ورودی‌ها و خروجی‌های بنادر ناکارا را جهت کارا شدن نشان می‌دهد. یعنی نشان می‌دهد که یک بندر ناکارا مثلاً بندر امام‌خمینی (ره) برای کارا شدن باید وضعیت ورودی‌ها و خروجی‌هایش را به چه مقدار برساند، تا به مرز کارایی برسد. برای به‌دست آوردن بنادر مجازی بنادر ناکارا، باید قیمت‌های سایه بنادر مرجع آنها را در مختصات ورودی‌ها و خروجی‌های بنادر مرجع متناظر ضرب کرده و سپس ورودی‌ها و خروجی‌های وزین حاصله را با هم جمع کرد.

جدول ۵- بنادر مرجع واحدهای ناکارا

بنادر ناکارا	بنادر مرجع واحدهای ناکارا			
	نام بندر مرجع	قیمت سایه	نام بندر مرجع	قیمت سایه
چابهار	شهید رجایی	۰،۰۵۱		
امام‌خمینی	شهید رجایی	۰،۶۱۹	شهید باهنر	۰،۴۶۰
خرمشهر	شهید رجایی	۰،۱۰۱	بوشهر	۰،۱۹۸
آبادان	شهید رجایی	۰،۰۰۳	شهید باهنر	۰،۳۰۱
انزلی	شهید رجایی	۰،۱۲۴	شهید باهنر	۱،۰۳۰
امیرآباد	شهید رجایی	۰،۰۶۴		
نوشهر	شهید رجایی	۰،۰۲۶		
لنگه	شهید رجایی	۰،۰۱۶	شهید باهنر	۰،۸۴۹

مختصات ورودی‌ها و خروجی‌های بنادر مرکب مجازی مربوط به هر یک از بنادر ناکارا برای سال ۱۳۸۹ در جدول ۶ آورده شده است. در این جدول، بنادر مجازی، بنادر ناکارا و اختلاف ورودی‌ها و خروجی‌های واقعی آنها با بنادر مجازی مربوط در سال ۱۳۸۹ نشان داده شده است. بنادر ناکارا برای اینکه کارا شوند باید یا از ورودی‌هایشان بکاهند یا به خروجی‌هایشان بیافزایند یا اینکه هم‌زمان هم از ورودی‌ها کاسته و هم به خروجی‌ها بیفزایند.

برای مثال بندر امام‌خمینی (ره) برای این که کارا شود، باید مقدار ورودی‌ها و خروجی‌هایش را به بندر مجازی امام‌خمینی (ره) برساند. برای این منظور این بندر باید ۲۲۵ نفر از تعداد کارکنان، ۲۵ چرثقیل، ۱۰ مورد از تجهیزات دریایی و ۱۱۰ مورد از تجهیزات خشکی را که همگی جزء ورودی‌هایش هستند، بکاهد؛

همچنین ۴،۸۶۷،۵۷۸ تُن بر تخلیه و بارگیری نفتی، ۱۴،۷۹۲،۹۲۰ تُن بر تخلیه و بارگیری غیرنفتی و ۱،۳۹۸،۵۳۶ (TEU) تُن بر تخلیه و بارگیری کانتینری خود که همگی جزء خروجی‌هایش هستند، بیافزاید، تا به مرز کارایی رسیده و کارا شود. این نتیجه‌گیری را برای سایر بنادر نیز می‌توان به کار بست. میزان بهبود در ورودی‌ها و خروجی‌های هر بندر ناکارا برای کارا شدن در سطر سوم هر بندر در جدول ۶، مشخص شده است.

نکته شایان‌توجه اینکه ممکن است در بسیاری از بنادر، امکان کاهش ورودی‌ها وجود نداشته باشد؛ ازاین‌رو، در این مطالعه چون تسلط بنادر بر ورودی‌ها کمتر است و نمی‌توانند برخی از ورودی‌های خود را که تا به حال هزینه شده، برای رسیدن به کارایی بکاهند، از روش خروجی‌محور استفاده شده است. در این روش بیشتر تغییرات (افزایش) برای رسیدن به کارایی در خروجی‌ها اعمال می‌شود. ورودی‌ها نیز ممکن تغییر (کاهش) کنند. برخی از تغییرات در ورودی‌ها برای بنادر عملی نیست؛ مثلاً بنادر نمی‌توانند از محوطه خود بکاهند یا نمی‌توانند برخی از تجهیزات یا نیروی انسانی خود را کاهش دهند؛ به‌همین‌منظور بهتر است که بنادر برای رسیدن به کارایی بیشتر بر افزایش خروجی تمرکز کنند.

جدول ۶- سطح تغییرات و بهبودهای لازم (مختصات ورودی‌ها و خروجی‌ها) برای بنادر ناکارا

بندر DMU		ورودی‌ها						خروجی‌ها		
		مساحت بندر (Km^2)	تعداد کارکنان	تعداد جرثقیل	تعداد تجهیزات دریایی	تعداد تراکتور	تعداد سایر تجهیزات خشکی	تخلیه و بارگیری غیرنفتی (تن)	تخلیه و بارگیری نفتی (تن)	تخلیه و بارگیری کانتینری (TEU)
چابهار	واقعی	۲۴۶،۲	۹۵	۴	۶	۱۴	۱۲	۱۲۴۹۷۷۶	۳۸۸۹۰۱	۱۸۴۲۸
	مجازی	۲۱۴،۶۸	۱۵	۴	۲	۱	۲	۱۳۳۷۴۸۳	۲۴۳۸۱۵۰	۱۲۸۵۹۹
	بهبود	-۳۱،۵۲	-۸۰	۰	-۴	-۱۳	-۱۰	۸۷۷۰۶	۲۰۴۹۲۴۹	۱۱۰۱۷۱
امام خمینی	واقعی	۲۶۲۲	۴۷۷	۷۸	۱۹	۲	۱۳۴	۱۵۳۳۲۹۰	۲۵۱۸۰۸۲۸	۱۵۶۶۸۶
	مجازی	۲۶۲۲	۲۲۲	۵۳	۹	۲	۲۴	۱۶۳۲۶۲۱۰	۳۰۰۴۸۴۰۶	۱۵۵۵۲۲۲
	بهبود	۰	-۲۲۵	-۲۵	-۱۰	۰	-۱۱۰	۱۴۷۹۲۹۲۰	۴۸۶۷۵۷۸	۱۳۹۸۵۳۶
خرمشهر	واقعی	۴۸۰	۱۱۱	۲۲	۵	۲۱	۴۷	۴۷۳۲۳	۱۲۳۱۰۱۲	۹۳۹۱۹
	مجازی	۴۸۰	۷۲	۱۰	۵	۲	۱۸	۲۹۷۷۸۳۶	۵۳۳۳۴۶۴	۲۹۳۸۹۳
	بهبود	۰	-۳۹	-۱۲	۰	-۱۹	-۲۹	۲۹۳۰۵۱۳	۴۱۰۲۴۵۲	۱۹۹۹۷۴
آبادان	واقعی	۲۸،۵	۲۹	۶	۱	۹	۷	۲۳۵۶	۷۳۴۶۴	۰
	مجازی	۲۸،۵	۲۹	۴	۱	۱	۴	۱۸۳۲۲۴	۵۲۱۶۱۲	۸۱۰۲
	بهبود	۰	۰	-۲	۰	-۸	-۳	۱۸۰۸۶۸	۴۴۸۱۴۸	۸۱۰۲
انزلی	واقعی	۵۷۲،۵	۲۳۱	۲۰	۹	۷۱	۹۰	۳۱۳۸۲۷	۶۵۵۴۶۳۰	۷۶۲۱
	مجازی	۵۷۲،۵	۱۳۲	۲۰	۲	۵	۱۵	۳۵۸۹۰۸۶	۷۱۸۴۶۶۲	۳۱۲۵۳۱
	بهبود	۰	-۹۹	۰	-۷	-۶۶	-۷۵	۳۲۷۵۲۵۹	۶۳۰۰۳۲	۳۰۴۹۱۰
امیرآباد	واقعی	۱۰۴۳	۵۹	۵	۵	۱۵	۲۰	۴۴۸۷۸	۲۱۰۶۷۷۵	۲۱۹

	مجازی	۲۷۰	۱۹	۵	۱	۱	۳	۱۶۷۱۸۵۳	۳۰۴۷۶۸۸	۱۶۰۱۴۸
	بهبود	-۷۷۳	-۴۰	۰	-۴	-۱۴	-۱۷	۱۶۲۶۹۷۵	۹۴۰۹۱۳	۱۵۹۰۲۹
نوشهر	واقعی	۱۳۴.۵	۱۸۵	۲	۶	۲۷	۴۸	۶۴۱۹۴	۱۰۷۲۹۷۹	۸۸۰
	مجازی	۱۰۸	۹	۲	۱	۱	۲	۶۶۸۷۴۱	۱۲۱۹۰۷۵	۶۴۲۹۹
	بهبود	-۲۶.۵	-۱۷۶	۰	-۵	-۲۶	-۴۶	۶۰۴۵۴۷	۱۴۶۰۹۶	۶۳۴۱۹
لنگه	واقعی	۱۰۸.۷	۱۱۰	۱۵	۱	۴	۹	۰	۱۱۰۷۱۸۷	۰
	مجازی	۱۰۸.۷	۸۴	۱۰	۱	۳	۹	۶۹۸۵۱۵	۱۸۰۲۵۱۱	۴۰۳۲۵
	بهبود	۰	-۲۶	-۵	۰	-۱	۰	۶۹۸۵۱۵	۶۹۵۳۲۴	۴۰۳۲۵

مدیران و دست‌اندرکاران بنادر کشور می‌توانند با استفاده از نتایج حاصل از این تحقیق، الگو قرار دادن واحدهای مرجع و رساندن وضعیت خود به بنادر مرکب مجازی متناظر با بندر متبوع خود، گام‌های خوبی در جهت کاراتر شدن بنادر بردارند. با توجه به اینکه بنادر دنیا روزبه‌روز به سمت کاراتر شدن پیش می‌روند، بنادر ایران که سابقه طولانی در امر حمل‌ونقل دریایی دارند نیز باید در جهت ارتقای سطح کارایی تلاش کنند. با توجه به اهمیت بسیار زیاد بنادر در توسعه اقتصادی کشور، فرایند ارزیابی کارایی بنادر، مسأله‌ای کاملاً ضروری به شمار می‌رود. استفاده از الگوی تحلیل پوششی داده‌ها جهت ارزیابی کارایی بنادر ایران با ارائه اطلاعات کامل‌تری اعم از مقایسه، رتبه‌بندی، الگوگیری و... نسبت به سایر روش‌های اندازه‌گیری کارایی، می‌تواند گامی نو و مناسب برای بهبود مستمر عملکرد بنادر کشور باشد.

در ادامه برای بررسی اثرهای عدم‌قطعیت داده‌ها بر نتایج، از الگوی استوار تحلیل پوششی داده‌ها استفاده می‌شود که با استفاده از یکی از رویکردهای بهینه‌سازی استوار با عنوان «بهینه‌سازی استوار مبتنی بر مجموعه‌های محدّب» تدوین شده است. برای به‌کارگیری الگوی استوار DEA فراکارا، سطح اطمینان برای هر محدودیت، مقادیر ۰.۹، ۰.۹۵ و ۰.۹۹ تعریف می‌شوند. بنابراین Γ متناظر هر مقدار تعریف شده، به‌ترتیب مقادیر ۰.۴۵۲، ۰.۳۲۰ و ۰.۱۴۲ خواهند بود. برای مثال مقدار $\Gamma = ۰.۴۵۲$ نشان‌دهنده آن است که محدودیت‌ها در نوددرصد مواقع، نقض می‌شوند. از طرف دیگر مقدار اختلال و عدم‌قطعیت در داده‌های ورودی و خروجی الگو ۰.۰۵ در نظر گرفته می‌شود؛ این بدین‌معنی است که مقادیر ورودی و خروجی در بازه درونی $[a - 0.05 \times a, a + 0.05 \times a]$ تغییر می‌کنند و پارامتر a نشان‌دهنده مقدار ورودی و خروجی است. نتایج ناشی از به‌کارگیری الگوی استوار در جدول ۷، نشان داده شده است.

جدول ۷- مقایسه نتایج الگوهای تحلیل پوششی داده‌های فراکارا و فراکارای استوار

ردیف	نام بندر	الگوی تحلیل پوششی داده‌های فراکارا		الگوی تحلیل پوششی داده‌های فراکارای استوار			
		کارایی	رتبه	کارایی $\Gamma = ۰.۴۵۲$	کارایی $\Gamma = ۰.۳۲۰$	کارایی $\Gamma = ۰.۱۴۲$	رتبه
۱	چابهار	۰.۹۳۳	۶	۱.۰۵۴	۱.۰۰۸	۰.۹۷۰	۶
۲	امام‌خمینی	۰.۸۳۶	۷	۰.۹۴۵	۰.۹۰۳	۰.۸۶۹	۷
۳	خرمشهر	۰.۳۱۷	۱۰	۰.۳۵۸	۰.۳۴۲	۰.۳۳۰	۱۰
۴	آبادان	۰.۱۳۶	۱۱	۰.۱۵۴	۰.۱۴۷	۰.۱۴۱	۱۱
۵	رجایی	۵۹.۸	۲	۶۷.۵۷۴	۶۴.۵۸۴	۶۲.۱۹۲	۲
۶	باهنر	۶۶.۶۶	۱	۷۵.۳۲۶	۷۱.۹۹۳	۶۹.۳۲۶	۱
۷	انزلی	۰.۹۱۰	۴	۱.۰۲۸	۰.۹۸۳	۰.۹۴۶	۴
۸	امیرآباد	۰.۶۹۰	۸	۰.۷۸۰	۰.۷۴۵	۰.۷۱۸	۸
۹	نوشهر	۰.۸۷۹	۵	۰.۹۹۳	۰.۹۴۹	۰.۹۱۴	۵
۱۰	لنگه	۰.۶۱۲	۹	۰.۶۹۲	۰.۶۶۱	۰.۶۳۶	۹
۱۱	بوشهر	۱.۲۸۲	۳	۱.۴۴۹	۱.۳۸۵	۱.۳۳۳	۳
کمترین		۰.۳۱۷	۱	۰.۱۵۴	۰.۱۴۷	۰.۱۴۱	۱
بیشترین		۱	۱۱	۷۵.۳۲۶	۷۱.۹۹۳	۶۹.۳۲۶	۱۱

با مرور نتایج به‌دست آمده این نکته مشخص می‌شود که با افزایش سطح اطمینان، امتیاز کارایی برای هر بندر کاهش می‌یابد، ولی رتبه‌بندی تفاوتی نمی‌کند. شاید بتوان این تحلیل را ارائه داد که به دلیل اینکه کارایی نهادها نسبت به یکدیگر متمایز و دارای تفاوت محسوسی هستند، اختلال در داده‌ها در سطح تعریف شده، اثر چندانی بر رتبه‌های هر نهاد نخواهد گذاشت.

الگوی استوار، تغییری در رتبه‌بندی بنادر نشان نمی‌دهد و رتبه بنادر در الگوی تحلیل پوششی داده‌های فراکارا و الگوی استوار تحلیل پوششی داده‌های فراکارا یکسان هستند؛ با توجه به این مسأله، سعی می‌شود با انجام تحلیل حساسیت برای پارامترهای مختلف، رتبه‌بندی بنادر در حالت‌های مختلف نشان داده شود. این حالت‌ها با توجه به مقدار سطح تغییرات داده‌ها و سطح اطمینان محدودیت‌ها تعریف می‌شوند. مقادیر در نظر گرفته شده برای سطح تغییرات داده‌ها با توجه به تغییرات ورودی‌ها و خروجی‌ها انتخاب شده است. همچنین مقدار سطح اطمینان محدودیت‌ها نیز با توجه به سطح اطمینان الگو انتخاب شده است. همان‌طورکه نتایج حاصل از تحلیل حساسیت در جدول ۸، نشان می‌دهد به دلیل اینکه مقدار ورودی‌ها و خروجی‌ها برای بنادر مختلف تفاوت محسوسی با هم دارند و مقادیر زیاد به هم نزدیک نیستند، رتبه‌بندی در این حالت‌ها هم با الگوی قطعی یکسان است.

جدول ۸- تحلیل حساسیت الگوی استوار تحلیل پوششی داده‌های فراکارا

ردیف	نام بندر	$\varepsilon = 0.03$			$\varepsilon = 0.10$			رتبه
		$\Gamma = ۰.۴۵۲$	$\Gamma = ۰.۳۲۰$	$\Gamma = ۰.۱۴۲$	$\Gamma = ۰.۴۵۲$	$\Gamma = ۰.۳۲۰$	$\Gamma = ۰.۱۴۲$	
۱	چابهار	۰.۹۹۸	۰.۹۸۰	۰.۹۵۲	۱.۱۲۰	۱.۰۶۴	۰.۹۸۹	۶
۲	امام‌خمینی	۰.۸۹۵	۰.۸۷۸	۰.۸۵۳	۱.۰۰۳	۰.۹۵۳	۰.۸۸۶	۷
۳	خرمشهر	۰.۳۳۹	۰.۳۳۳	۰.۳۲۳	۰.۳۸۰	۰.۳۶۱	۰.۳۳۶	۱۰
۴	آبادان	۰.۱۴۶	۰.۱۴۳	۰.۱۳۹	۰.۱۶۳	۰.۱۵۵	۰.۱۴۴	۱۱
۵	رجایی	۶۳.۹۸۶	۶۲.۷۹۰	۶۰.۹۹۶	۷۱.۷۶۰	۶۸.۱۷۲	۶۳.۳۸۸	۲
۶	باهنر	۷۱.۳۲۹	۶۹.۹۹۳	۶۷.۹۹۳	۷۹.۹۹۲	۷۵.۹۹۲	۷۰.۶۶۰	۱
۷	انزلی	۰.۹۷۴	۰.۹۵۶	۰.۹۲۸	۱.۰۹۲	۱.۰۳۷	۰.۹۶۵	۴
۸	امیرآباد	۰.۷۳۸	۰.۷۲۵	۰.۷۰۴	۰.۸۲۸	۰.۷۸۷	۰.۷۳۱	۸
۹	نوشهر	۰.۹۴۱	۰.۹۲۳	۰.۸۹۷	۱.۰۵۵	۱.۰۰۲	۰.۹۳۲	۵
۱۰	لنگه	۰.۶۵۵	۰.۶۴۳	۰.۶۲۴	۰.۷۳۴	۰.۶۹۸	۰.۶۴۹	۹
۱۱	بوشهر	۱.۳۷۲	۱.۳۴۶	۱.۳۰۸	۱.۵۳۸	۱.۴۶۱	۱.۳۵۹	۳

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، بنادر ایران ارزیابی شدند. در این ارزیابی علاوه بر به‌دست آوردن امتیاز کارایی هر بندر، سعی شد با استفاده از الگوی تحلیل پوششی داده‌های فراکارا که برمبنای الگوی اندرسون پترسون است، رتبه‌بندی بنادر ایران انجام شود. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این سال، سه بندر شهید رجایی، باهنر و بوشهر کارا بودند. ازآنجاکه دو بندر شهید رجایی و شهید باهنر از کارایی نسبی بهتری نسبت به سایر بنادر برخوردار بودند، بندر مرجع بسیاری از بنادر ناکارا قرار گرفتند. در ادامه مقاله با استفاده از یکی از رویکردهای بهینه‌سازی استوار که «بهینه‌سازی استوار مبتنی بر مجموعه‌های محدّب» نامیده می‌شود، یک الگوی تحلیل پوششی داده‌های استوار برای مواجهه با عدم‌قطعیت پیشنهاد شد. در غالب مواردی که از این تکنیک برای ارزیابی کارایی بنادر استفاده شده، از داده‌های دقیق استفاده شده و وضعیت عدم‌قطعیت داده‌ها در نظر گرفته نشده است؛ ازاین‌رو سعی شده است، الگویی استوار ارائه شود که بتواند با اطمینان بیشتری در وضعیت عدم‌قطعیت به ارزیابی و رتبه‌بندی بنادر بپردازد. الگوی پیشنهادی می‌تواند عدم‌قطعیت در بردارهای ورودی و خروجی را بدون نیاز به تشخیص توزیع داده‌های دارای عدم‌قطعیت الگوسازی کند. اختلال داده‌های ورودی و خروجی به صورت فضای عدم‌قطعیت چندوجهی در نظر گرفته و عملکرد الگو با به‌کارگیری در رتبه‌بندی بنادر ایران در سال ۱۳۸۹ نشان داده شد. نتایج، نشان می‌دهد، توجه به عدم‌قطعیت در داده‌های ورودی و خروجی و استفاده از الگوی پیشنهادی برای رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری، دارای قابلیت اطمینان بیشتری برای تخمین کارایی و رتبه‌بندی واحدهاست. در این زمینه می‌توان پیشنهادهایی برای زمینه‌های پژوهشی آتی ارائه کرد، از جمله: استفاده از رویکردهای دیگر بهینه‌سازی استوار مانند بهینه‌سازی استوار مبتنی بر سناریو و بهینه‌سازی استوار فازی برای ارزیابی عملکرد و رتبه‌بندی نهادهای تصمیم‌گیر مختلف با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های فراکارا.

منابع : **References:**

۱- کیانی‌مقدم, م. و دیگران، (۱۳۹۲)، «ارزیابی کارایی نسبی بنادر ایران با تکنیک تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)»، اقیانوس‌شناسی, شماره ۱۳، ۷۸-۷۳.

۲- سلیمانی‌سدهی، م.، (۱۳۹۳)، «نقش لجستیک دریایی در تجارت»، ماهنامه علمی-تخصصی لجستیک و زنجیره تأمین، شماره ۲۶، ۳-۶

۳- مهرگان، م.، (۱۳۹۱)، «تحلیل پوششی داده‌ها»، چ۲، ایران: نشر کتاب دانشگاهی.

4- M. Staat, (2006). “Efficiency of hospitals in Germany: a DEA-bootstrap approach” Appl. Econ., vol. 38, no. February 2013, pp. 2255-2263.

5- C. Schaffnit, D. Rosen, and J. C. Paradi, (1997). “Best practice analysis of bank branches: An application of DEA in a large Canadian bank” Eur. J. Oper. Res., vol. 98, pp. 269-289.

6- G. Reichmann and M. Sommersguter-Reichmann, (2006). “University library benchmarking: An international comparison using DEA” Int. J. Prod. Econ., vol. 100, pp. 131-147.

7- Y. Roll and Y. Hayuth, (1993). “Port performance comparison applying data envelopment analysis (DEA)” Marit. Policy Manag., vol. 20, no. 2, pp. 153-161.

8- J. Tongzon, (2001). “Effciency measurement of selected Australian and other international ports using data envelopment analysis q” vol. 35.

9- H. Itoh, (2002). “Efficiency Changes At Major Container Ports in Japan: a Window Application of Data Envelopment Analysis” Rev. Urban Reg. Dev. Stud., vol. 14, no. 2, pp. 133-152.

10-T. Wang, D. Song, and K. Cullinane, (2002). “The applicability of data envelopment analysis to efficiency measurement of container ports” Proceedings of the international.

11-K. Cullinane, T.-F. Wang, D.-W. Song, and P. Ji, (2006). “The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis” Transp. Res. Part A Policy Pract., vol. 40, no. 4, pp. 354-374.

12-L. C. Lin and C. C. Tseng, (2007). “Operational performance evaluation of major container ports in the Asia-Pacific region” Marit. Policy Manag., vol. 34, no. January 2015, pp. 535-551.

13-A. S. Al-eraqi, (2008). “Efficiency of Middle Eastern and East African Seaports : Application of DEA Using Window Analysis” Eur. J. Sci. Res., vol. 23, no. 4, pp. 597-612.

14-Y.-C. J. Wu and C.-W. Lin, (2008). “National port competitiveness: implications for India” Manag. Decis., vol. 46, pp. 1482-1507.

15-M. B. M. de Koster, B. M. Balk, and W. T. I. van Nus, (2009). “On using DEA for benchmarking container terminals” Int. J. Oper. Prod. Manag., vol. 29, no. 11, pp. 1140-1155.

16-K. Cullinane and T. Wang, (2010). “The efficiency analysis of container port production using DEA panel data approaches” OR Spectr., vol. 32, no. 3, pp. 717-738.

17-J. L. Jiang, E. P. Chew, L. H. Lee, and Z. Sun, (2012). “DEA based on strongly efficient and inefficient frontiers and its application on port efficiency measurement” OR Spectr., vol. 34, pp. 943-969.

18-K. Cullinane, T.-F. Wang, D.-W. Song, and P. Ji, (2006). “The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis” Transp. Res. Part A Policy Pract., vol. 40, no. 4, pp. 354-374.

19-P. Andersen and N. C. Petersen, (1993). “A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis” Manage. Sci., vol. 39, no. 10, pp. 1261–1264.

20-A. Ben-Tal and A. Nemirovski, (2000). “Robust solutions of Linear Programming problems contaminated with uncertain data” Mathematical Programming, vol. 88. pp. 411-424.

21-A. Ben-Tal and A. Nemirovski, (1998). “Robust Convex Optimization” Mathematics of Operations Research, vol. 23, no. 4. pp. 769-805.

22-A. Ben-Tal and A. Nemirovski, (1999). “Robust solutions of uncertain linear programs” Oper. Res. Lett., vol. 25, pp. 1-13.
23-L. El Ghaoui and H. Lebret, (1997). “Robust Solutions to least-squares problems with uncertain data” SIAM J. Optim., vol. 18, no. 4, pp. 1035-1064.
24-L. El Ghaoui, F. Oustry, and H. Lebret, (1998). “Robust Solutions to Uncertain Semidefinite Programs” SIAM J. Optim., vol. 9, no. 1, pp. 33-52.
25-D. Bertsimas and M. Sim, (2004). “The Price of Robustness” Operations Research, vol. 52, no. 1. pp. 35-53.
26-D. Bertsimas and M. Sim, (2006). “Tractable approximations to robust conic optimization problems” Math. Program., vol. 107, pp. 5-36.
27-A. L. Soyster, (1973). “Technical Note--Convex Programming with Set-Inclusive Constraints and Applications to Inexact Linear Programming” Operations Research, vol. 21, no. 5. pp. 1154-1157.
28-D. Bertsimas, D. Pachamanova, and M. Sim, (2004). “Robust linear optimization under general norms” Oper. Res. Lett., vol. 32, pp. 510-516.
29-S. J. Sadjadi and H. Omrani, (2010). “A bootstrapped robust data envelopment analysis model for efficiency estimating of telecommunication companies in Iran” Telecomm. Policy, vol. 34, no. 4, pp. 221-232.
30-S. J. Sadjadi and H. Omrani, (2008). “Data envelopment analysis with uncertain data: An application for Iranian electricity distribution companies” Energy Policy, vol. 36, pp. 4247–4254.