E-ISSN: 2676-6159 | P-ISSN: 2538-5079

Journal of Decisions and Operations Research

www.journal-dmor.ir

J. Decis. Oper. Res. Vol. 8, No. 1 (2023) 88–101.

Paper Type: Original Article

Sustainability Performance Analysis with Different Forms of Weak Disposability of Undesirable Outputs: A Case Study of Provincial Gas Companies

Somayye Karimi Omshi[1], Sohrab Kordrostami[1,*], Alireza Amirteimoori[2], Armin Ghane Kanafi[1]

[1] *Department of Mathematics, Lahijan Branch, Islamic Azad University, Lahijan, Iran; baranbena2014@gmail.com; sohrabkordrostami@gmail.com; arminghane@liau.ac.ir.*

[2] *Department of Mathematics, Rasht Branch, Islamic Azad University, Rasht, Iran; aamirteimoori@gmail.com.*

Citation:

Karimi Omshi, S., Kordrostami, S., Amirteimoori, A., & Ghane Kanafi, A. (2023). Sustainability performance analysis with different forms of weak disposability of undesirable outputs: a case study of provincial gas companies. *Journal of decisions and operations research, 8*(1), 88-101.

Received: 12/01/2021 Reviewed: 16/02/2021 Revised: 09/04/2021 Accepted: 20/05/2021

Abstract

Purpose: In the most investigations of sustainability, including environmental, social and economic issues, in addition to the desirable outputs, undesirable outputs are also presented, which is an obstacle to sustainable development. In this regard, the purpose of this paper is providing an approach based on Data Envelopment Analysis (DEA) with different forms of weak disposability of undesirable outputs to move towards sustainability.

Methodology: Presenting a DEA-based model, the sustainability and performance of each dimension of sustainability are calculated simultaneously, while undesirable outputs are present with different forms of weak disposability. The sustainability performance of provincial gas companies is examined using the proposed technique.

Findings: The results show that the proposed method in the performance analysis of sustainability and its dimensions is efficient when undesirable outputs are presented.

Originality/Value: DEA provides a variety of disposability to minimize undesirable outputs and moves to optimize. In this study, an integrated approach with different forms of weak disposability is presented to analyze sustainability.

Keywords: Data envelopment analysis, Sustainability, Undesirable output, Weak disposability.

Corresponding Author: sohrabkordrostami@gmail.com http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.1.5.7

Licensee. **Journal of Decisions and Operations Research**. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0).

Journal of Decisions and Operations Research

تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات

دوره ۸، شماره (۱)، (۱۴۰۲)، ۱۰۱-۸۸

www.journal-dmor.ir

نوع مقاله: پژوهشی

تحلیل عملکرد و پایداری با دسترسی پذیری‌های ضعیف خروجی‌های نامطلوب: مطالعه موردی شرکت‌های گاز استانی

سمیه کریمی امشی[۱]، سهراب کرد رستمی[۱،*]، علیرضا امیرتیموری[۲]، آرمین قانع کنفی[۱]

[۱]گروه ریاضی، واحد لاهیجان، دانشگاه آزاد اسلامی، لاهیجان، ایران.

[۲]گروه ریاضی، واحد رشت، دانشگاه آزاد اسلامی، رشت، ایران.

چکیده

هدف: در غالب بررسی‌های پایداری با دربرگیری مباحث محیطی، اجتماعی و اقتصادی، علاوه بر خروجی‌های مطلوب، خروجی‌های نامطلوبی هم ایجاد می‌شود که مانعی برای توسعه پایدار محسوب می‌شود. در این راستا هدف از این بررسی ارایه یک روش تحلیل پوششی داده‌ها با در نظر گرفتن صورت‌های متفاوتی از دسترسی‌پذیری ضعیف برای خروجی‌های نامطلوب به‌منظور حرکت در جهت پایداری می‌باشد.

روش‌شناسی پژوهش: با ارایه یک روش مبتنی بر تحلیل پوششی داده‌ها، عملکرد پایداری در سه بعد محیطی، اجتماعی، اقتصادی و همچنین عملکرد پایداری کل به‌طور هم‌زمان در حالی بررسی می‌شود که خروجی‌های نامطلوب با صورت‌های متفاوتی از دسترسی‌پذیری ضعیف حضور دارند. عملکرد پایداری شرکت‌های گاز استانی نیز با استفاده از تکنیک پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد روش مطرح‌شده در تحلیل عملکرد پایداری و ابعاد آن در حضور خروجی‌های نامطلوب کارا می‌باشد.

اصالت/ارزش‌افزوده علمی: تحلیل پوششی داده‌ها به ارایه انواع دسترسی‌پذیری برای به حداقل رساندن خروجی‌های نامطلوب و گام برداشتن به سمت بهینگی می‌پردازد. در این مطالعه به‌منظور تحلیل پایداری، مدل یکپارچه‌ای با صورت‌های متفاوتی از دسترسی‌پذیری ضعیف ارایه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: تحلیل پوششی داده‌ها، پایداری، خروجی نامطلوب، دسترسی‌پذیری ضعیف.

۱- مقدمه

در غالب فعالیت‌های تولیدی، علاوه بر خروجی‌های مطلوب، خروجی‌های نامطلوبی همچون آلاینده‌های زیست‌محیطی ظاهر می‌شوند [7] که مدل‌بندی، برای به حداقل رساندن این خروجی‌ها از اهمیت بسزایی در فعالیت‌های اقتصادی برخوردار است. تحلیل پوششی داده‌ها به‌عنوان علم کاربردی در راستای بهینه‌سازی و به حداکثر رساندن خروجی‌های مطلوب و کاهش خروجی‌های نامطلوب، با ساخت تکنولوژی‌های مناسب و مدل‌بندی‌های درست سعی در کمک به سازمان‌ها دارد. امروزه به علت گستردگی و درهم‌تنیده بودن کلیه علوم، ارتباط صحیح بین حیطه‌های دانش و علوم کاربردی از اهداف عمده تمامی محققان و نظریه‌پردازان می‌باشد. کمک به توسعه پایدار به‌عنوان چشم‌اندازی نو در مدیریت سازمان‌ها و جوامع، از معیارهای اصلی کاربردی بودن علوم در دنیای امروز است. به‌عنوان یک الگوی رشد در تکامل پایدار یک کشور، می‌توان از کارایی آن در سه حوزه اقتصادی، اجتماعی و محیطی استفاده نمود. سنجش پایداری، ابزار کارآمدی را برای حصول توسعه پایدار و بهبود فعالیت‌های اقتصادی، سیاسی و محیطی فراهم می‌کند.

* نویسنده مسئول

sohrabkordrostami@gmail.com

http://dorl.net/dor/20.1001.1.25385097.1402.8.1.5.7

در مطالعه حاضر، با استفاده از مفاهیم تحلیل پوششی داده‌ها و با حضور خروجی‌های نامطلوب، مدلی برای محاسبه پایداری در سه جنبه پایداری اقتصادی، اجتماعی و محیطی ارایه می‌شود. پایداری اقتصادی به مفهوم انتخاب گزینه‌ای است که بر اساس آن، بهترین دانش اقتصادی موجود منجر به رشد اقتصادی وسیع و پایه‌ای و توسعه بلندمدت می‌گردد. رشد اقتصادی به‌تنهایی مناسب نیست اما به‌عنوان وسیله‌ای برای پیشرفت زندگی انسانی ارزشمند است. بر این اساس، پایداری اقتصادی را باید در متن سیاست‌های مقدم دیگر مانند پایداری سیاسی و اجتماعی، مناسبت‌های فرهنگی و مدیریت صحیح منابع طبیعی جست‌وجو نمود. به‌طورکلی، محورهای اصلی پایداری اجتماعی عبارتاند از کاهش تنش‌های اجتماعی، شیوه سازمان‌دهی سازگار با شرایط اجتماعی، حقوق انسانی، برابری افراد ناتوان، زنان و گروه‌های نژادی و قومی، آموزش و آگاهی‌های زیست‌محیطی، بهداشت و درمان و سرپناه مناسب برای همه، ترویج نقش خانواده و اجتماعات، حقوق سیاسی و مشارکت و ترویج ارزش‌های اجتماعی. در پایداری اجتماعی انسان‌ها با توزیع عادلانه ثروت بین اغنیا و فقرا مواجه هستند و مسیر توسعه برای بهینه‌سازی رفاه نسل کنونی بدون صدمه به کاهش رفاه آیندگان فراهم می‌شود و این باعث ایجاد کیفیت بهتر در زندگی خواهد شد. یک سیستم محیطی پایدار درصدد حفظ منابع است و از تخریب و تهی سازی منابع طبیعی که درنتیجه بسط تکنولوژی ایجاد شده، خودداری می‌کند؛ بنابراین، پایداری محیط‌زیست در تلفیق با پایداری‌های دیگر صورت خواهد گرفت [4]. در پایداری محیطی باید از تنوع زیستی، ثبات پایداری جوی و سایر کارکردهای اکوسیستم که معمولا به‌عنوان منابع اقتصادی طبقه‌بندی نمی‌شوند نیز حمایت کرد. توسعه پایدار، فرایندی است در راستای استفاده منطقی و بهینه از منابع و هدایت سرمایه‌گذاری‌ها و جهت‌گیری‌های تکنولوژی در راستای تامین سازگار با نیازهای حال و آینده بشری که بر مبنای دیدگاه جامع‌نگر بوده و کلیه ابعاد اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و دیگر را در برمی‌گیرد [2]. درواقع، پایداری وضعیتی است که در آن مطلوبیت و امکانات موجود در طول زمان کاهش نمی‌یابد و در معنای گسترده به توانایی جامعه، اکوسیستم یا هر سیستم جاری برای تدوام کارکرد در آینده نامحدود اطلاق می‌شود، بدون آن‌که اجبارا درنتیجه تحلیل رفتن منابعی که سیستم به آن وابسته است، به دلیل تحمیل بار بیش‌ازحد روی آن‌ها به ضعف کشیده شود [4].

کمیسیون جهانی محیط‌زیست و توسعه که برای اولین بار اصطلاح توسعه پایدار را ارایه داد، آن را به‌عنوان توسعه‌ای تعریف کرد که نیازهای نسل فعلی را بدون ایجاد مشکل در توانایی نسل‌های آینده در برآوردن احتیاجات خود تامین می‌کند [4]. فارغ از تعاریف مختلف پایداری، صاحب‌نظران این مفهوم را دارای سه قلمرو عمده می‌دانند: اقتصادی، اجتماعی و محیطی. کسب‌وکارها همواره به این سه مفهوم به‌عنوان «سه خط قرمز» اشاره‌کرده‌اند. پایداری ضمن تاکید بر بهینگی در هریک از این سه بعد درنهایت، قصد دارد تا با بهینه نمودن هر سه آن‌ها، پایداری کل را نیز فراهم کند. تاریخچه کوتاهی از مفهوم توسعه پایدار را می‌توان با تصویب قانون سیاست ملی محیط‌زیست ایالات‌متحده ۱۹۶۹ (*NEPA*) آغاز کرد.

این اقدام عمدتا در واکنش به انفجار نفتی سال ۱۹۶۹ در سانتا باربارا[1] رخ داد که تاثیرات ویران‌کننده‌ای بر حیات‌وحش و محیط طبیعی منطقه داشت، این نیز محصول عدم توجه جامعه به عواقب آلودگی صنعتی بود که این موضوع توسط راشل کارسون [22] موردتوجه قرار گرفت. تقریبا در همان زمان و درنتیجه فشار مشابه به دلیل نگرانی جدی برای محیط‌زیست، نهاد ملی حفاظت از محیط‌زیست به وجود آمد. بلافاصله پس از تصویب قانون *NEPA*، آژانس حفاظت از محیط‌زیست (*EPA*) در سال ۱۹۷۰ برای حمایت از محیط‌زیست، شروع به تحقیق، تنظیم استاندارد و نظارت کرد. ازجمله اهداف *EPA*، حفاظت از سلامت انسان و منابع طبیعی است. گام بعدی در رشد توسعه پایدار به‌عنوان یک مفهوم و عملکرد اصلی، کنفرانس سازمان ملل متحد در سال ۱۹۷۲ در محیط‌زیست انسانی در استکهلم سوئد بود [14]. مفهوم توسعه پایدار در اصل به معنای پایداری تعریف‌شده است و اغلب در آن به کار می‌رود. در سال ۱۹۹۲ با اولین کنفرانس سازمان محیط‌زیست و توسعه سازمان ملل متحد در ریودوژانیرو، یک گام ابتدایی برداشته شد. در این کنفرانس، دستورالعملی به نام "دستور کار ۲۱" تصویب شد که هدفش، به رسمیت شناختن حق هر کشور برای پیگیری پیشرفت اجتماعی و اقتصادی و مسیولیت اتخاذ الگو توسعه پایدار توسط دولت‌ها است. ازآنجایی‌که در قرن اخیر ارتباط بین علوم مختلف کمک‌های شایانی به کیفیت‌بخشی زندگی نموده است، علوم ریاضی و مدیریت و ارتباط آن‌ها باهم نیز از این مقوله مستثنی نبوده‌اند. در بین شاخه‌های علوم ریاضی مبحث الگویابی[2] و ارایه الگویی جهت رسیدن به نقطه‌ای کارا برای حصول بهره‌وری همواره مورد توجه بوده و از بین شاخه‌های الگویابی، تحلیل پوششی داده‌ها با تعریف مرزی کارا برای ورودی‌های تعریف‌شده برای واحدهای تحت ارزیابی و رساندن نقاط به نقطه مطلوب و ایجاد

[1] Santabarbara

[2] Benchmarking

شرایط بهینه با توجه به اهداف تعریف‌شده یکی از موثرترین مباحث علوم ریاضی جهت کمک به علوم دیگر خصوصا اقتصاد و علوم اجتماعی می‌باشد. این علم ارزشمند با ساختن تکنولوژی بر اساس داده‌های ورودی و تحلیل شرایط مطلوب برای بهینگی منابع و درآمد و همچنین ارایه مدل‌هایی مفید در راستای افزایش خروجی‌های مطلوب گام برمی‌دارد. یکی از اساسی‌ترین مفاهیم در تحلیل پوششی داده‌ها، مفهوم دسترسی‌پذیری است؛ بنابراین مفهوم، اگر با سطحی از ورودی‌ها بتوان میزانی از خروجی‌ها را تولید نمود با میزان بیشتری از این ورودی‌ها نیز می‌توان آن میزان از خروجی را تولید کرد. این مفهوم در تحلیل پوششی داده‌ها با عنوان دسترسی‌پذیری آزاد معرفی گردید. ازآنجایی‌که در اصول تحلیل پوششی داده‌ها هدف بهینه‌ترین مدل بر پایه داده‌های موجود می‌باشد و در ارزیابی‌های محیطی ناگزیر از پذیرش خروجی‌های نامطلوب هستیم، هایلو و ویمن [15] در برخورد با خروجی‌های نامطلوب، آن‌ها را به‌عنوان ورودی در نظر گرفته و شرط دسترسی‌پذیری آزاد را بران تحمیل نمودند. آن‌ها معتقد بودند هم ورودی و هم خروجی نامطلوب برای یک واحد تولیدی هزینه دارد. آن‌ها در شرط دسترسی‌پذیری آزاد تساوی را جایگزین نامساوی نمودند، البته بعدها به علت‌هایی این شرط تساوی را در مقالات بعدی مناسب ندانستند زیرا معتقد بودند که مجموعه امکان تولید کوچک می‌شود و با کاهش تعداد واحدهای مرجع عدد کارایی بزرگ‌شده، تاثیر خروجی‌های نامطلوب بر کارایی مشخص نشده و قیمت‌های سایه مثبت و منفی هر دو در نظر گرفته می‌شوند [7]. آن‌ها نام دسترسی‌پذیری خود را دسترسی‌پذیری ضعیف گذاشته و در مقالات بعدی این مفهوم به اشکال گوناگون تغییراتی نمود که در ادامه اشاره خواهیم نمود. بر اساس دیدگاه شفارد خروجی‌ها دسترسی‌پذیری ضعیف دارند اگر کاهش یکنواخت خروجی‌های شدنی، کماکان شدنی باشد. در مقالات بعدی به این موضوع اشاره شد که می‌توان از ضرایب کاهشی یا افزایشی نیز در دسترسی‌پذیری ضعیف استفاده نمود و غالبا نیاز داریم شرط دسترسی‌پذیری آزاد را با دسترسی‌پذیری ضعیف جایگزین کنیم در ادامه در مقاله‌ای بیان شد سطح خروجی‌های بد مساوی صفر است اگر و فقط اگر سطح خروجی‌های خوب صفر باشد [10].

در مدل تحلیل پوششی داده‌ها به‌کاررفته در این مقاله ما از هر دو نوع، دسترسی‌پذیری آزاد و دسترسی‌پذیری ضعیف استفاده می‌کنیم. در دسترسی‌پذیری ضعیف به‌کاررفته در این مقاله برای ساخت تکنولوژی‌هایی که در آن خروجی‌های نامطلوب وجود دارد، ضریب کاهشی نیز، مورداستفاده قرار گرفته شده است.

در مقاله حاضر عملکرد پایداری و ابعاد پایداری یعنی بعدهای اقتصادی، اجتماعی و محیطی با استفاده از روش معرفی شده که بر مبنای تحلیل پوششی داده‌ها است ارزیابی و تعیین می‌شوند. درواقع مدلی مطرح خواهد شد که عملکرد پایداری و ابعاد آن را هم‌زمان ارزیابی می‌کند درحالی‌که خروجی‌های نامطلوب با دسترسی‌پذیری‌های ضعیف متفاوت در سیستم حضور دارند. به‌علاوه پایداری شرکت‌های گاز استانی با به‌کارگیری تکنیک مطرح‌شده ارزیابی می‌شود. در این مقاله ابتدا در بخش دوم به‌مرور ادبیات تحلیل پایداری و تعاریف مربوط به دسترسی‌پذیری و عوامل نامطلوب خواهیم پرداخت و پس‌ازآن برای ارزیابی پایداری با استفاده از دو نوع دسترسی‌پذیری ضعیف برای خروجی‌های نامطلوب در بخش سوم مدلی ارایه می‌نماییم. در بخش چهارم با استفاده از یک مثال کاربردی بر روی‌داده‌های گاز ۲۹ استان کشور ایران پایداری این واحدها را محاسبه می‌نماییم. در پایان، در بخش پنجم نتایج و پیشنهادهایی برای کارهای آتی ارایه می‌شوند.

۲- تحلیل پایداری با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها

کارایی در حوزه‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی، الگوی رشد تکامل پایداری است. این تکامل پایداری با استفاده از شاخص‌های مختلفی ارزیابی‌شده و برای بررسی عملکرد اصل پایداری از روش‌های مختلفی استفاده شده است. از بین آن‌ها مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها در راستای تبیین مفهوم کارایی نقش مهمی را بر عهده دارند. ازآنجایی‌که پایداری همواره به دنبال حصول بهترین نتیجه در شرایط اقتصادی، محیطی و اجتماعی است [1]، [6]، [8] و تحلیل پوششی داده‌ها نیز با استفاده از بهترین ترکیب مصرف ورودی‌ها با صرف کمترین هزینه برای تولید بیشترین خروجی‌های مطلوب به دنبال بالاترین درآمد و درمجموع بالاترین سود و کارایی است؛ بنابراین این دو مفهوم در یک‌سو گام برمی‌دارند. درواقع، پایداری همان بهینگی در این سه حوزه است که می‌تواند به‌عنوان شاخصی در استمرار یا انقطاع فعالیت‌های یک سازمان باشد و با استفاده از نتایج حاصله از پایداری، راهنمای خوبی برای فعالیت‌های سازمان در راستای حرکت به‌سوی بهره‌وری فراهم نماید. اولین بار در سال ۱۹۷۸ چارنز و همکاران [11] از تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی کارایی واحدها استفاده نمودند اما این مفهوم در آینده بسط بیشتری یافت و مفهوم واحدهای کارا و مرز کارایی به این مقالات افزوده شده و از این مفهوم در توسعه پایدار سه رویکرد در تحلیل پوششی داده‌ها استفاده گردید که عبارتند از مدل‌های سنتی *DEA* با استفاده ساده از مفاهیم آن، مدل‌های سنتی *DEA* که خروجی‌های نامطلوب را به‌عنوان ورودی در نظر گرفتند [15] و مدل‌هایی که از دسترسی‌پذیری ضعیف برای حصول نتیجه در پایداری

کریمی امشی و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه: ۱۰۱-۸۸

استفاده نمودند [13]. در این راستا از تحلیل پوششی داده‌ها برای موضوعات ملی مربوط به پایداری و زنجیره تامین بهره برده شد. اگرچه از تحلیل پوششی داده‌ها به‌طور گسترده در پایداری بهره‌برداری شد اما تحقیقات داکپو و همکاران [12] در سال ۲۰۱۶ به اثرگذاری این علم در پایداری کمک بیشتری نمود [17]. داکپو و همکاران [12]، بیشتر به فاکتورهای محیطی با حضور خروجی‌های نامطلوب اهمیت دادند و روی فاکتورهای اجتماعی و سایر فاکتورهای پایداری تاکید زیادی نداشتند، آن‌ها غالبا به‌جای تحلیل عینی از تحلیل کیفی استفاده کردند. در سال‌های بعد مقالات بیشتری در ارتباط بین این دو موضوع به رشته تحریر درآمد [18]-[20]. درواقع مفهوم کارایی، پیونددهنده اصلی بین تحلیل پوششی داده‌ها و پایداری است. در تحلیل پوششی داده‌ها واحدهای کارا از ناکارا تشخیص داده شده و هدف، رساندن این واحدهای ناکارا به کارا جهت کارآمدی فعالیت‌ها است. این علم در راستای توسعه پایدار از اصول خود استفاده نموده و با مدل‌سازی‌هایی در جهت بهینه نمودن فعالیت‌های خود در حیطه‌های مدنظر توسعه پایدار اقدام می‌نماید. سیاست‌های مربوط به انرژی‌های پایه یک کشور (گاز و نفت) یکی از سیاست‌گذاری‌های مهم هر کشوری است، صنایع گاز به‌عنوان جایگزین در دسترس نفت، یکی از ثروت‌سازترین صنایع جهان می‌باشند. در چشم‌انداز بلندمدت، صنایع گاز ایران، با تمرکز بر تولید گاز به‌عنوان هسته مرکزی کسب‌وکار و با گسترش صنایع پایین‌دستی و استحصال تمام مشتقات قابل‌استخراج از گاز در جهت شراکت جوامع محلی برای حفظ تعادل‌های زیست‌محیطی، در سطحی فراتر از تولید گاز گام بر خواهد داشت [5]. با توجه به اینکه ایران باوجود دارا بودن ذخایر گازی در حدود ۳۴ تریلیون مترمکعب در رتبه‌های اول دنیا قرار داشته و در سال‌های اخیر باوجود تحریم‌ها و مشکلات جهانی همچنان توانسته است تولیدات خود را افزایش دهد و نظربه اینکه صنعت گاز در عین ارزشمندی اقتصادی در هر جامعه‌ای برای حفظ توسعه پایدار در آن جامعه نیازمند تامین ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی است این صنعت در عملکرد اجتماعی به دنبال تامین کیفیت و آسایش برای زندگی و سلامتی مصرف‌کنندگان و کارکنان بوده که در این مقاله ما در بعد اجتماعی بر تاثیر ضریب نفوذ گازرسانی در شهرها و روستاها و تاثیر آن بر پایداری کل، پرداخته‌ایم. در بعد اقتصادی بر مطالبات وصول نشده به‌عنوان یک شاخص اقتصادی نگاه کرده و اثر آن بر پایداری را، مدنظر قرار داده‌ایم. البته گاهی تامین بعد پایداری اجتماعی و محیطی در تضاد با یکدیگر و حتی تضاد با بعد اقتصادی به‌عنوان شاخصی مهم در پایداری کل، است. در حال حاضر ۹۳% از ۲۵۰ شرکت بزرگ گاز در جهان گزارش‌های پایداری خود را در قالب *GRI*[1] ارایه می‌دهند، *GRI* یک سازمان پیشرو درزمینه پایداری است که با دریافت گزارش از شرکت‌ها و سازمان‌ها به دنبال استانداردی برای گام برداشتن به سمت توسعه پایدار است. بر مبنای استانداردهای راهنمای گزارش‌دهی مسئولیت اجتماعی شرکت/ سازمان بر اساس استانداردهای (۲۰۱۸) *GRI*، جهت تدوین گزارش‌های پایداری، شرکت‌ها و سازمان‌های فعال در صنعت نفت ایران *GRI*، چهار استاندارد کلان را در نظر می‌گیرند: ۱- استانداردهای عمومی (۱۰۰)*GRI*، ۲- استانداردهای اقتصادی (۲۰۰)*GRI*، ۳- استانداردهای محیط زیستی (۳۰۰)*GRI* و ٤- استانداردهای اجتماعی (٤۰۰)*GRI*. در چشم‌انداز آینده، این صنعت فراتر از گازرسانی و تولید داخلی را می‌نگرد. صنایع گاز در دنیا و کشور عزیزمان به دنبال سوخت فسیلی جایگزین و پاک در جهت تامین پایداری محیطی بوده و در بعد اقتصادی به دنبال کم کردن هزینه‌های حاصل از آلودگی‌های محیطی هستند که با کم‌کردن هزینه‌ها در جهت حجم گاز تولیدی، برای صنایع داخلی و صادرات جهت ارزآوری، از آن استفاده خواهد نمود [9]. شرکت‌های گاز در ایران در تمامی استان‌ها همسو با یکدیگر در راستای تامین این اهداف می‌کوشند و در این مقاله با در نظر گرفتن شاخص‌هایی در سه بعد، پایداری شرکت‌های گاز ۲۹ استان در هر بعد و پایداری کل آنان بررسی خواهد شد. در جهت آشنایی بیشتر با ارتباط این دو موضوع ابتدا به مفاهیمی از *DEA* با توجه رویکرد مقاله با حضور خروجی‌های نامطلوب و دسترسی ضعیف اشاره می‌نماییم تا ضمن معرفی این مفاهیم پایه، چگونگی حرکت این علم ارزشمند به سمت توسعه پایدار را شرح و بسط دهیم.

۱-۲- عوامل نامطلوب

اغلب فعالیت‌های تولیدی، علاوه بر خروجی‌های مطلوب، خروجی‌های نامطلوب نیز تولید می‌کنند، به‌عنوان‌مثال مواد مضر معلق در هوا، ضایعات و اثرات نامطلوبی مانند آلودگی صوتی [7]. ازاین‌رو ارایه مدل‌هایی باهدف کاهش خروجی‌های نامطلوب و افزایش خروجی‌های مطلوب، در تئوری اقتصاد و تولید از دیرباز در *DEA* موردتوجه بوده است. در تحلیل پوششی داده‌ها اولین قدم برای ساخت مدل‌ها، یعنی ساخت تکنولوژی با استفاده از اصول موضوعه، یکی از مهم‌ترین کارهاست. درروش‌های ناپارامتریک مدل‌بندی خروجی‌های نامطلوب، ابتدا هایلو و ویمن [15] در برخورد با این خروجی‌ها، آن‌ها را به‌عنوان ورودی در نظر گرفته و شرط

[1] Global Reporting Initiative (GRI)

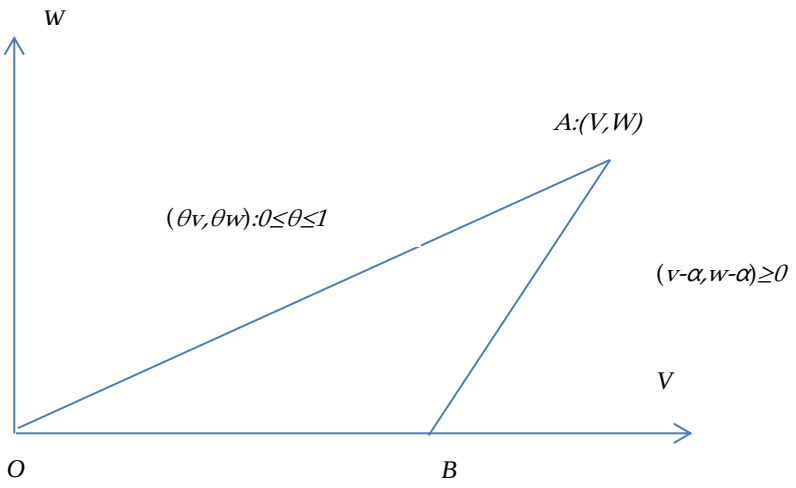
دسترسی‌پذیری آزاد را بر آن تحمیل کردند [7]. آن‌ها با جایگزین کردن شرط تساوی در خروجی‌های نامطلوب شرط دسترسی‌پذیری ضعیف را مطرح نمودند. پس از هایلو و ویمن [15]، فار و گراسکوف [13] به علت تضاد این شرط با قوانین فیزیکی، دسترسی‌پذیری ضعیف را بر اساس دیدگاه شفارد که در آن خروجی مطلوب و نامطلوب با یک ضریب یکنواخت کاهش می‌یافتند، استفاده نمودند؛ اما به علت مشکلاتی کاسمانن و پودینسکی [16] در ادامه از یک فاکتور کاهش غیریکنواخت استفاده نمودند و مدلی غیرخطی ارایه دادند و سپس مدل را خطی نمودند.

۲-۲- تعریف دسترسی‌پذیری ضعیف بر اساس چند دیدگاه در تحلیل پوششی داده‌ها

خروجی‌ها دسترسی‌پذیری ضعیف دارند اگر کاهش یکنواخت خروجی‌های شدنی کماکان شدنی باشد؛ یعنی اگر $(v,w)\in P(X)$ و $0\leq\theta\leq 1$ آنگاه $(\theta v,\theta w)\in P(X)$ [13]. در مدل بندی فار و گراسکوف [13]، در کنترل خروجی ها تنها یک فاکتور یکنواخت انقباض برای همه *DMUs* در نظر گرفته شد؛ اما در آینده کاسمانن [23] از فاکتور انقباضی غیریکنواخت در مدل خود استفاده نمود. مشکل مدل کاسمانن غیرخطی بودن آن بود که در ادامه با اعمال فرایند خطی سازی برطرف گردید. در دسترسی‌پذیری ضعیف می‌توان علاوه بر ضریب انقباضی از ضرایب کاهشی یا افزایشی استفاده نمود. پس‌ازآن در مقالات آینده محققان به این نتیجه رسیدند که غالبا نیاز داریم شرط دسترسی‌پذیری آزاد را با دسترسی‌پذیری ضعیف جایگزین کنیم و سطح خروجی‌های بد مساوی صفر است اگر و فقط اگر سطح خروجی‌های خوب صفر باشد [10]. مقاله مذکور با ارایه مدل جایگزینی می‌گوید اگر ما خروجی‌های نامطلوب را به‌عنوان خروجی مدل بندی کنیم (برخلاف هایلو و ویمن [15] که این خروجی‌ها را به‌عنوان ورودی مدل‌بندی نموده بودند)، منطقی‌تر است. دسترسی‌پذیری ضعیف به‌کاررفته در آن می‌گوید سطح خروجی نامطلوب مساوی صفر خواهد بود اگر و تنها اگر سطح خروجی مطلوب مساوی صفر شود. هرچند تجربیات واقعی نشان می‌دهد تا سطحی از تولید، ما می‌توانیم اصلا خروجی نامطلوب نداشته باشیم. به‌عنوان‌مثال در بانک وام به‌عنوان خروجی مطلوب و بدهی خروجی نامطلوب است. تعریف جایگزین دسترسی‌پذیری ضعیف مقاله عبارت است از [10]:

$$\left\{\begin{array}{c}(v,w)\in P(x)\Rightarrow 0\leq\left(v-\alpha_M,w-\alpha_J\right)\in P(x)\\ \alpha_M=(\alpha,\alpha,\ldots,\alpha)\in R_+^M\\ \alpha_J=(\alpha,\alpha,\ldots,\alpha)\in R_+^J\\ \alpha\geq 0\end{array}\right\}. \qquad (۱)$$

شکل زیر دسترسی‌پذیری ضعیف در شفارد [21] و دسترسی‌پذیری ضعیف جایگزین امیرتیموری و همکاران [10] را در مقایسه باهم نشان می‌دهد.



شکل ۱- دو تعریف از دسترسی‌پذیری ضعیف [10]، [21].
Figure 1- Two definitions of weak disposability [10], [21].

در شکل بالا دو تعریف از دسترسی‌پذیری ضعیف نشان داده شده است. نقطه *A* با خروجی مطلوب *v* و خروجی نامطلوب *w* می باشد که بر اساس تکنولوژی شفارد [21] تمام نقاط خط *OA* به تکنولوژی تولید شفارد تعلق دارد و می‌توانیم ببینیم که $v=0$ اگر و تنها اگر $w=0$. با تعریف جایگزین امیرتیموری و همکاران [10] خط *AB* به تکنولوژی آنان تعلق دارد و می‌توان مشاهده نمود که ما می‌توانیم بدون تولید هیچ خروجی نامطلوبی، خروجی مطلوب مثبت تولید کنیم.

کریمی امشی و همکاران / تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه: ۱۰۱-۸۸

۳- پیشنهاد جدید بر پایه تحلیل عملکرد پایداری

در این بخش با استفاده از فرض دسترسی‌پذیری ضعیف سعی در مینیمم کردن خروجی‌های نامطلوب داریم، درواقع مدل ارایه‌شده فرض دسترسی‌پذیری ضعیف را به‌طور هم‌زمان با دو نوع ضریب α و θ (به ترتیب انقباضی و کاهشی) مشابه موارد معرفی‌شده در قسمت قبل، بر خروجی‌های نامطلوب اعمال می‌کند. فرض کنید در یک فعالیت تولیدی، N ورودی و R خروجی مطلوب و K خروجی نامطلوب داشته باشیم که در آن خروجی مطلوب و نامطلوب قسمتی با فاکتور انقباضی و قسمتی با فاکتور جمعی قابل کنترل است. در ادامه با معرفی عناصر و ساخت مجموعه امکان تولید با استفاده از اصول موضوعه در نظر گرفته‌شده به‌سوی ساخت مدل پایداری گام برمی‌داریم.

۳-۱- معرفی عناصر و اصول موضوعه

اگر N ورودی به‌صورت $X_{ij}\Rightarrow(x^j_1,x^j_2,\dots x^j_i)$ و R خروجی مطلوب با ضریب کاهشی α به‌صورت $v1_{rj}\Rightarrow(v1^j_1,v1^j_2,\dots v1^j_r)$ و $\acute{R}$ خروجی مطلوب با ضریب انقباضی θ به‌صورت $v2_{rj}\Rightarrow(v2^j_1,v2^j_2,\dots,v2^j_r)$ و همچنین K خروجی نامطلوب با ضریب کاهشی α به‌صورت $w1_{kj}\Rightarrow(w1^j_1,w1^j_2,\dots w1^j_k)$ و $\acute{K}$ خروجی نامطلوب با ضریب انقباضی θ به‌صورت $w2_{kj}\Rightarrow(w2^j_1,w2^j_2,\dots,w2^j_k)$ داشته باشیم، خروجی‌ها دسترسی‌پذیری ضعیف دارند اگر برای $\alpha_i\geq 0, 0\leq\theta_i\leq 1$ و $(v1_i,v2_i,w1_i,w2_i)\in P(x)$ داشته باشیم:

$$(v1_i-\alpha,\theta v2_i,w1_i-\alpha,\theta w2_i)\in P(x)\quad i\in I=\{1=\text{اقتصادی},\ 2=\text{محیطی},\ 3=\text{اجتماعی}\}. \tag{۲}$$

توجه شود که ما در این مقاله به دنبال محاسبه پایداری در سه بعد و در ادامه پایداری کل می‌باشیم بنابراین از سه نوع داده استفاده خواهیم

$$I=\{1=\text{اقتصادی},\ 2=\text{محیطی},\ 3=\text{اجتماعی}\}. \tag{۳}$$

نمود: داده‌های اقتصادی، اجتماعی و محیطی. به همین دلیل مجموعه I را به این شکل تعریف کردیم:

قدم دوم در ساخت مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها ساختن تکنولوژی‌هایی است که با استفاده از اصول موضوعه آن، بتوان مدل‌ها را در ادامه ساخت. ما در این مقاله تکنولوژی را با اصول موضوعه زیر خواهیم ساخت:

۱. شمول مشاهدات برای هر $i\in I$ داریم:

$$(x_{1i},v_{1i},v_{2i},w_{1i},w_{2i})\in T. \tag{۴}$$
$$I=\{1=\text{اقتصادی},\ 2=\text{محیطی},\ 3=\text{اجتماعی}\},\ i\in I.$$

۲. محدب و بسته بودن مجموعه.

۳. شرط دسترسی‌پذیری آزاد:

برای هر $(x_{1i},v_{1i},v_{2i},w_{1i},w_{2i})\in T$ داریم:

$$\acute{x}_{1i}\geq x_{1i},\acute{v}_{1i}\leq v_{1i},\acute{v}_{2i}\leq v_{2i},\acute{w}_{1i}=w_{1i},\acute{w}_{2i}=w_{2i}\rightarrow(x_{1i},v_{1i},v_{2i},w_{1i},w_{2i})\in T, \tag{۵}$$
$$I=\{1=\text{اقتصادی},\ 2=\text{محیطی},\ 3=\text{اجتماعی}\},\ i\in I.$$

۴. شرط دسترسی‌پذیری ضعیف:

برای هر $(x_{1i},v_{1i},v_{2i},w_{1i},w_{2i})\in T$ داریم $0\leq(x_{1i},v_{1i}-\alpha,\theta v_{2i},w_{1i}-\alpha,\theta w_{2i})\in T$ که در آن

$$I=\{1=\text{اقتصادی},\ 2=\text{محیطی},\ 3=\text{اجتماعی}\},\ i\in I,$$
$$0\leq\alpha,\ 0\leq\theta\leq 1.$$

۵. کمینه برون‌یابی: T کوچک‌ترین مجموعه‌ای است که با این اصول ساخته می‌شود.

۲-۳- مجموعه امکان تولید و مدل غیرخطی

در تحلیل پوششی داده‌ها مجموعه امکان تولید T به شکل زیر است:

$$T=\{(x,v)/\text{ورودی } x \text{ خروجی } v \text{ راتولید کند}\}. \qquad (۶)$$

مرز مجموعه فوق به‌عنوان تقریبی از تابع تولید در نظر گرفته می‌شود. مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها بر اساس مجموعه امکان تولید ایجادشده و تفاوت آن‌ها بر اساس اصول موضوعه‌ای است که برای ساخت مجموعه امکان تولید در آن‌ها فرض می‌شود [3]. حال بر اساس اصول موضوعه بالا، مجموعه امکان تولید به‌صورت زیر ارایه می‌گردد:

$$T=\left\{\begin{array}{lll}
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}\le x_i, & & i=1,2,....N,\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\left(v1_{rj}-\alpha_j\right)\ge v1_r, & & r=1,2,....R,\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\theta_j v2_{\acute{r}j}\ge v2_{\acute{r}}, & & \acute{r}=1,2,....\acute{R},\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\left(w1_{kj}-\alpha_j\right)=w1_k, & & k=1,2,....K,\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\theta_j w2_{\acute{k}j}=w2_{\acute{k}}, & & \acute{k}=1,2,....\acute{K},\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1, & & \\
\lambda_j v1_{rj}\ge\alpha_j, & r=1,2,....R, & j=1,2,....n,\\
\lambda_j w1_{kj}\ge\alpha_j, & k=1,2,....K, & j=1,2,....n,\\
\lambda_j\ge 0, & & j=1,2,....n.
\end{array}\right\} \qquad (۷)$$

پس از ساختن مجموعه امکان تولید ما به سمت ساخت مدل گام برمی‌داریم. در تمامی مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها هدف محاسبه کارایی می‌باشد در مجموعه امکان تولید بالا فرض دسترسی‌پذیری ضعیف بر خروجی‌های نامطلوب اعمال‌شده و خروجی‌های مطلوب دارای دسترسی‌پذیری آزاد می‌باشند. با به‌کارگیری این اصول و مجموعه امکان تولید می‌توان در جهت ساخت مدل تلاش نمود. با استفاده از مدل پوششی در DEA مدل کارایی در حضور خروجی‌های نامطلوب و دسترسی‌پذیری ضعیف به‌صورت زیر ارایه می‌شود:

$$\begin{array}{lll}
\min z=\theta, & & \\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}\le\theta x_i, & & i=1,2,....N,\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\left(v1_{rj}-\alpha_j\right)\ge v1_r, & & r=1,2,....R,\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\theta_j v2_{\acute{r}j}\ge v2_{\acute{r}}, & & \acute{r}=1,2,....\acute{R},\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\left(w1_{kj}-\alpha_j\right)=\theta w1_k, & & k=1,2,....K,\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j\theta_j w2_{\acute{k}j}=\theta w2_{\acute{k}}, & & \acute{k}=1,2,....\acute{K},\\
\sum_{j=1}^{n}\lambda_j=1, & & \\
\lambda_j v1_{rj}\ge\alpha_j, & r=1,2,....R, & j=1,2,....n,\\
\lambda_j w1_{kj}\ge\alpha_j, & k=1,2,....K, & j=1,2,....n,\\
\lambda_j\ge 0, & 0\le\theta_j\le 1, \quad \alpha_j\ge 0, & j=1,2,....n.
\end{array} \qquad (۸)$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید این مدل غیرخطی است و ما با استفاده از اصول خطی سازی کاسمانن، آن را خطی خواهیم نمود [7].

برای خطی سازی آن فرض کنید وزن‌های DMU_j به دو قسمت به‌صورت $\lambda_j=\eta_j+\mu_j$ و $\lambda_j=\delta_j+\varepsilon_j$ تجزیه شود. مولفه دوم μ_j و ε_j نشان‌دهنده‌ی قسمتی از خروجی هستند که سطح فعالیت را کاهش می‌دهند یعنی به‌عنوان‌مثال $\mu_j=(1-\theta_j)\lambda_j$. درحالی‌که مولفه اول یعنی، η_j، نشان‌دهنده‌ی قسمتی از خروجی jth است که فعال باقی می‌ماند، یعنی $\eta_j=\theta_j\lambda_j$. توجه شود متغیر انقباض اصلی از رابطه $\theta_j=\frac{\eta_j}{\eta_j+\mu_j}$ به دست می‌آید. از جمع دو رابطه $\lambda_j=\eta_j+\mu_j$ و $\lambda_j=\delta_j+\varepsilon_j$ داریم: $2\lambda_j=\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\Rightarrow\lambda_j=\left(1/2\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)\right)$ که در آن‌ها این دو رابطه هم وجود دارد $\lambda_j=\eta_j+\mu_j=\theta_j\lambda_j+(1-\theta_j)\lambda_j\lambda_j=\delta_j+\varepsilon_j=\alpha_j\lambda_j+(1-\alpha_j)\lambda_j$ و همچنین، $\eta_j=\theta_j\lambda_j$ و $\varepsilon_j=\theta_j\lambda_j$. حال تغییرات را اعمال خواهیم نمود و برای ورودی‌ها داریم:

$$\sum_{j=1}^{n}\lambda_j x_{ij}\le x_{io}\Rightarrow\sum_{j=1}^{n}\left(1/2\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)\right)\le x_{io},$$

و در قسمت خروجی‌های مطلوب پس از ساده نمودن عبارت خواهیم داشت:

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j\left(v_{r1j}-\alpha_j\right)\geq v_{r1} \Rightarrow \sum_{j=1}^{n} \lambda_j vr1_j - \sum_{j=1}^{n} \lambda_j\alpha_j \geq vr1_j \ ,$$

و با تغییرات بر خروجی‌های مطلوب و نامطلوب داریم:

$$\sum_{j=1}^{n} 1/2\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right) vr1_j - \sum_{j=1}^{n} \delta_j \geq vr1_j \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j\theta_j v_{r2j}\geq v_{r2o} \Rightarrow \sum_{j=1}^{n} \eta_j v_{r2j} \geq v_{r2o} \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j\left(w_{1kj}-\alpha_j\right) = w_{1kj} \Rightarrow \sum_{j=1}^{n} \lambda_j w_{1kj} - \sum_{j}^{n} \lambda_j\alpha_j = w_{1ko} \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} 1/2\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right) w_{1kj} - \sum_{j=1}^{n} \delta_j = w_{1ko} \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} 1/2\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right) vr1_j - \sum_{j=1}^{n} \delta_j \geq vr1_j \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j\theta_j v_{r2j}\geq v_{r2o} \Rightarrow \sum_{j=1}^{n} \eta_j v_{r2j} \geq v_{r2o} \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j\left(w_{1kj}-\alpha_j\right) = w_{1kj} \Rightarrow \sum_{j=1}^{n} \lambda_j w_{1kj} - \sum_{j}^{n} \lambda_j\alpha_j = w_{1ko} \ ,$$

$$\sum_{j=1}^{n} 1/2\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right) w_{1kj} - \sum_{j=1}^{n} \delta_j = w_{1ko} \ .$$

به همین شکل سایر عبارات هم‌تغییر خواهد نمود، بنابراین تکنولوژی خطی به‌صورت زیر است:

$$T=\left\{\begin{array}{lll}
\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)x_{ij}\leq x_i, & & i=1,2,....N, \\
\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)v1_{rj}-\sum_{j=1}^{n}\delta_j\geq v1_r, & & r=1,2,....R, \\
\sum_{j=1}^{n}\left(\eta_j\right)v2_{\acute{r}j}\geq v2_{\acute{r}}, & & \acute{r}=1,2,....\acute{R}, \\
\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)w1_{kj}-\sum_{j=1}^{n}\delta_j = w1_k, & & k=1,2,....K, \\
\sum_{j=1}^{n}\left(\eta_j\right)w2_{\acute{k}j} = w2_{\acute{k}}, & & \acute{k}=1,2,....\acute{K}, \\
\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)=1, & & j=1,2,....n, \\
\sum_{j=1}^{n}\left(\delta_j+\mu_j\right)=1, & & j=1,2,....n, \\
\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)v1_{rj}\geq\delta_j, & r=1,2,....R, & j=1,2,....n, \\
\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)w1_{kj}\geq\delta_j, & k=1,2,....K, & j=1,2,....n, \\
\eta_j,\mu_j,\delta_j\geq 0, & & j=1,2,....n.
\end{array}\right\}. \qquad (۹)$$

۳-۳- مدل خطی

$$\begin{array}{ll}
\min z=\theta, & \\
\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)x_{ij}\leq\theta x_{io}, & i=1,2,....N, \\
\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)v1_{rj}-\sum_{j=1}^{n}\delta_j\geq v1_{ro}, & r=1,2,....R, \\
\sum_{j=1}^{n}\left(\eta_j\right)v2_{\acute{r}j}\geq v2_{\acute{r}o}, & \acute{r}=1,2,....\acute{R}, \\
\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)w1_{kj}-\sum_{j=1}^{n}\delta_j=\theta\, w1_{ko}, & k=1,2,....K, \\
\sum_{j=1}^{n}\left(\eta_j\right)w2_{\acute{k}j}=\theta w2_{\acute{k}o}, & \acute{k}=1,2,....\acute{K}, \\
\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)=1, &
\end{array} \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\left(\delta_j+\mu_j\right)=1,$$

$$\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)v1_{rj}\geq\delta_j, \qquad r=1,2,....R, \qquad j=1,2,....n,$$

$$\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)w1_{kj}\geq\delta_j, \qquad k=1,2,....K, \qquad j=1,2,....n,$$

$$\eta_j,\mu_j,\delta_j\geq 0, \qquad j=1,2,....n.$$

با توجه به تکنولوژی خطی ساخته‌شده در قسمت قبل خواهیم داشت:

مدل فوق به تخمین کارایی واحدها با در نظر گرفتن خروجی‌های نامطلوب با دسترسی‌پذیری‌های ضعیف متفاوت می‌پردازدT اما هدف تخمین عملکرد پایداری واحدها و ابعاد آن در حضور خروجی‌های نامطلوب با دسترسی‌پذیری‌های ضعیف متفاوت است؛ بنابراین در ادامه مدلی را ارایه می‌کنیم که به دنبال محاسبه پایداری سازمان‌ها و ابعاد آن به‌طور هم‌زمان و با حضور خروجی‌هایی است که هم مطلوب و هم نامطلوب می‌باشند که البته دسترسی‌پذیری ضعیف به‌کاررفته خود دو حالت متفاوت (دسترسی‌پذیری کاسمانن و پودینسکی [16] و امیرتیموری و همکاران [10]) را شامل می‌شود.

۴-۳- مدل پایداری

ازآنجایی‌که در این مقاله به دنبال پیوند زدن مفهوم پایداری و تحلیل پوششی داده‌ها هستیم با استفاده از مدل‌بالا درصورتی‌که از انواع داده‌ها اعم از اقتصادی، اجتماعی و محیطی در مدل ارایه‌شده، استفاده و کارایی را محاسبه نماییم چنانچه مقدار θ_0^{pi} در این مدل یک باشد پایداری از همان نوع را نشان خواهد داد. به‌عنوان‌مثال اگر θ_0^{p1} برابر یک باشد ما پایداری اقتصادی، θ_0^{p2} θ_0^{p2} برابر یک، پایداری محیطی θ_0^{p3}، برابر یک، پایداری اجتماعی خواهیم داشت اما ازآنجاکه در توسعه پایدار ما به دنبال بهینگی در هر سه سطح، اقتصادی، اجتماعی و محیطی هستیم، بنابراین مدلی را ارایه می‌دهیم که به‌صورت هم‌زمان هر سه بعد را بهینه کرده و کارا بوده و پایداری کل را محاسبه کند.t_m در مدل نشان‌دهنده وزن (اهمیت) ابعاد پایداری است. با در نظر گرفتن سه بعد اقتصادی، اجتماعی و محیطی مدل زیر به‌منظور تخمین عملکرد پایداری با در نظر گرفتن دو نوع خروجی نامطلوب ارایه می‌شود:

$$min\left(\left(\sum_{m=1}^{3} t_m \quad \theta_0^{pm}\right)\right)\Big/\left(\sum_{m=1}^{3} t_m\right), \qquad (۱۱)$$

$$s.t\ (economic)$$

$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)x_{ij}^{ec}\leq\theta_0^{p1}x_{io}^{ec}, \qquad i=1,2,....N,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)v1_{rj}^{ec}-\sum_{j=1}^{n}\delta_j\geq v1x_{ro}^{ec}, \qquad r=1,2,...,R,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\left(\eta_j\right)v2_{\acute{r}j}^{ec}\geq v2x_{\acute{r}o}^{ec}, \qquad \acute{r}=1,2,....\acute{R},$$

$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)w1_{kj}^{ec}-\sum_{j=1}^{n}\delta_j=\theta_0^{p1}w1_{ko}^{ec}, \qquad k=1,2,....K,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\left(\eta_j\right)w2_{\acute{k}j}^{ec}=\theta_0^{p1}w2_{\acute{k}o}^{ec}, \qquad \acute{k}=1,2,....\acute{K},$$

$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)=1,$$

$$\sum_{j=1}^{n}\left(\delta_j+\mu_j\right)=1,$$

$$\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)v1_{rj}^{ec}\geq\delta_j, \qquad r=1,2,....R, \qquad j=1,2,....n,$$

$$\frac{1}{2}\left(\eta_j+\mu_j+\delta_j+\varepsilon_j\right)w1_{kj}^{ec}\geq\delta_j, \qquad k=1,2,....K, \qquad j=1,2,....n,$$

$$\eta_j,\mu_j,\delta_j\geq 0, \qquad j=1,2,....n,$$

$$(environmental)$$

کریمی امشی و همکاران / تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه: ۱۰۱-۸۸

$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\iota_j+\tau_j+\gamma_j+\psi_j\right)x_{ij}^{en}\le\theta_0^{p2}x_{io}^{en},\qquad i=1,2,\dots,N,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\iota_j+\tau_j+\gamma_j+\psi_j\right)v1_{rj}^{en}-\sum_{j=1}^{n}\gamma_j\ge v1_{ro}^{en},\qquad r=1,2,\dots,R,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\left(\iota_j\right)v2_{rj}^{en}\ge v2x_{ro}^{en},\qquad r=1,2,\dots,R,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\iota_j+\tau_j+\gamma_j+\psi_j\right)w1_{kj}^{en}-\sum_{j=1}^{n}\gamma_j=\theta_0^{p2}w1_{ko}^{en},\qquad k=1,2,\dots,K,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\left(\iota_j\right)w2_{kj}^{en}=\theta_0^{p2}w2_{ko}^{en},\qquad k=1,2,\dots,K,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\iota_j+\tau_j+\gamma_j+\psi_j\right)=1,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\left(\tau_j+\gamma_j\right)=1,$$
$$\frac{1}{2}\left(\iota_j+\tau_j+\gamma_j+\psi_j\right)v1_{rj}^{en}\ge\gamma_j,\qquad r=1,2,\dots,R,\quad j=1,2,\dots,n,$$
$$\frac{1}{2}\left(\iota_j+\tau_j+\gamma_j+\psi_j\right)w1_{kj}^{en}\ge\gamma_j,\qquad k=1,2,\dots,K,\quad j=1,2,\dots,n,$$
$$\iota_j,\tau_j,\gamma_j\ge0,\qquad j=1,2,\dots,n,$$

(social)

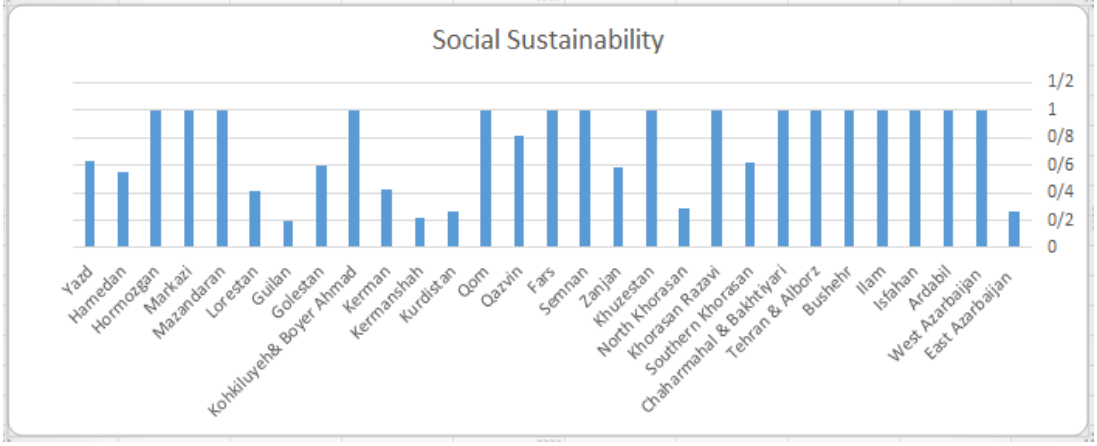
$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\kappa_j+\zeta_j+\beta_j+\varphi_j\right)x_{ij}^{so}\le\theta_0^{p3}x_{io}^{so},\qquad i=1,2,\dots,N,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\kappa_j+\zeta_j+\beta_j+\varphi_j\right)v1_{rj}^{so}-\sum_{j=1}^{n}\beta_j\ge v1x_{ro}^{so},\qquad r=1,2,\dots,R,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\left(\kappa_j\right)v2_{rj}^{so}\ge v2x_{ro}^{so},\qquad r=1,2,\dots,R,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\kappa_j+\zeta_j+\beta_j+\varphi_j\right)w1_{kj}^{so}-\sum_{j=1}^{n}\beta_j=\theta_0^{p3}w1_{ko}^{so},\qquad k=1,2,\dots,K,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\left(\kappa_j\right)w2_{kj}^{so}=\theta_0^{p3}w2_{ko}^{so},\qquad k=1,2,\dots,K,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\frac{1}{2}\left(\kappa_j+\zeta_j+\beta_j+\varphi_j\right)=1,$$
$$\sum_{j=1}^{n}\left(\zeta_j+\beta_j\right)=1,$$
$$\frac{1}{2}\left(\kappa_j+\zeta_j+\beta_j+\varphi_j\right)v1_{rj}^{so}\ge\beta_j,\qquad r=1,2,\dots,R,\quad j=1,2,\dots,n,$$
$$\frac{1}{2}\left(\kappa_j+\zeta_j+\beta_j+\varphi_j\right)w1_{kj}^{so}\ge\beta_j,\qquad k=1,2,\dots,K,\quad j=1,2,\dots,n,$$
$$\kappa_j,\zeta_j,\beta_j\ge0,\qquad j=1,2,\dots,n.$$

در مدل بالا چنانچه در بعد اجتماعی مقدار تتا آن یک باشد واحد پایدار اجتماعی است، پس اگر واحدی به‌طور هم‌زمان پایداری اقتصادی، محیطی و اجتماعی را فراهم کند، چنین واحدی به‌عنوان واحد پایدار در نظر گرفته می‌شود.

۴- مطالعه کاربردی

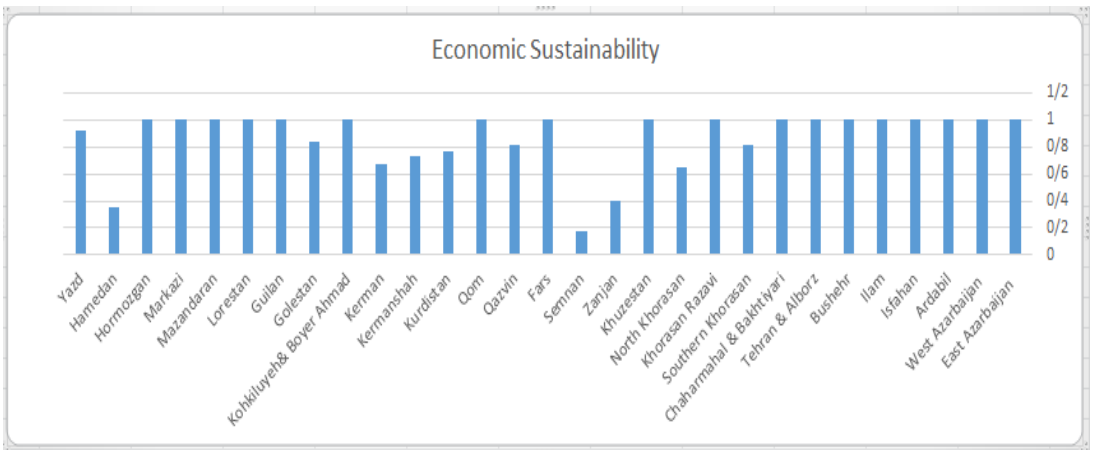
در این بخش از داده‌های شرکت گاز ۲۹ استان در طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۳ استفاده کرده و به محاسبه انواع پایداری و درنهایت به محاسبه پایداری کل خواهیم پرداخت. اطلاعات آماری شاخص‌ها و داده‌های اجتماعی، محیطی و اقتصادی، در **جدول‌های ۱، ۲** و **۳** آمده است. میزان هزینه‌های جاری به‌عنوان ورودی اقتصادی، حجم گاز فروخته‌شده به‌عنوان خروجی اقتصادی مطلوب، مطالبات وصول نشده به‌عنوان خروجی اقتصادی نامطلوب، میزان شبکه‌گذاری به‌عنوان ورودی اجتماعی، ضریب نفوذ گازرسانی در شهر و روستاها به‌عنوان خروجی اجتماعی مطلوب، حجم گاز تحویلی به‌عنوان ورودی محیطی، سوخت پاک جایگزین در حمل‌ونقل به‌عنوان خروجی محیطی مطلوب، آلودگی محیطی ناشی از نشست گاز به‌عنوان خروجی محیطی نامطلوب در نظر گرفته شده است. با قرار دادن داده‌ها در **مدل (۱۱)** می‌توان عملکرد پایداری را محاسبه نمود. این نتایج در **جدول ۴** نمایش داده شده است. همان‌طور که در این جدول مشاهده می‌کنید با حل **مدل (۱۱)** بعضی از استان‌ها پایدار اقتصادی و بعضی پایدار اجتماعی و تعدادی پایدار محیطی هستند، عدد یک در جدول نشان‌دهنده پایداری در همان نوع داده‌ها است. در **مدل (۱۱)**، t_1، t_2، t_3، یعنی وزن ابعاد پایداری به درخواست

مدیر برابر هم و مقدار آن‌ها یک در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در **جدول ۴** می‌توان دید شرکت گاز استان‌های آذربایجان غربی، اردبیل، اصفهان، ایلام، بوشهر، تهران و البرز، چهارمحال و بختیاری، خراسان رضوی، خوزستان، فارس، قم، کهکیلویه و بویراحمد، مازندران، مرکزی و هرمزگان در سه حیطه، اقتصادی، محیطی و اجتماعی پایدار هستند، و با توجه به مقدار تابع هدف **مدل (۱۱)** که میانگین این اندازه پایداری‌ها است بنابراین پایدار کل می‌باشند (در مفهوم پایداری بیان شد چنانچه یک واحد تحت ارزیابی با حل **مدل (۱۱)** دارای کارایی یک باشد نیز، پایدار کل است). آذربایجان شرقی، گیلان و لرستان نیز ازنظر اقتصادی پایدار بوده و شرکت گاز استان سمنان هم پایدار اجتماعی است. ما این پایداری‌ها را در **شکل‌های ۲، ۳و ۴** نشان می‌دهیم.



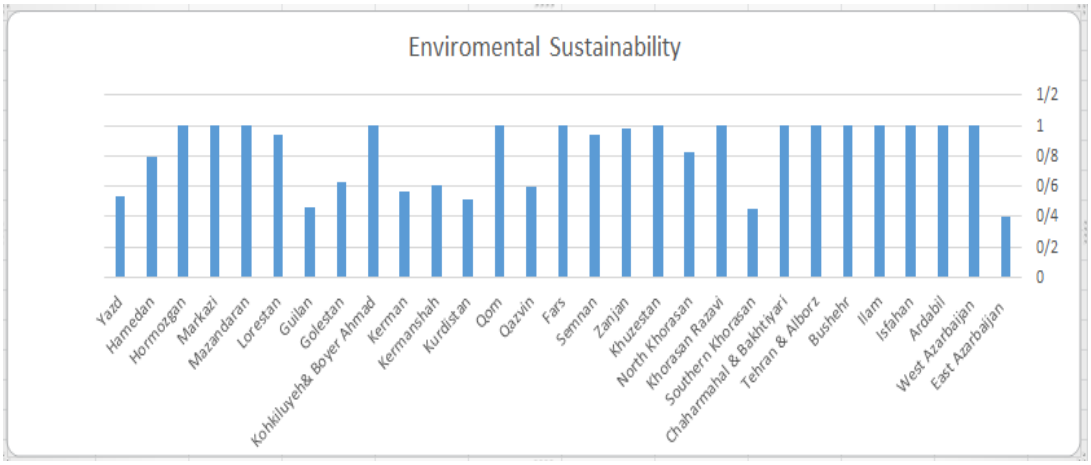
شکل ۲- پایداری اجتماعی.

Figure 2- Social sustainability.



شکل ۳- پایداری اقتصادی.

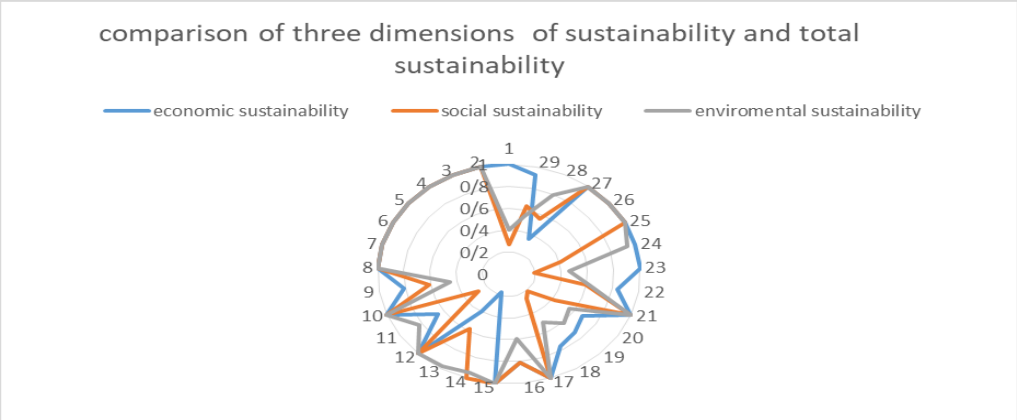
Figure 3- Economic sustainability.



شکل ۴- پایداری محیطی.

Figure 4- Environmental sustainability.

کریمی امشی و همکاران/ تصمیم‌گیری و تحقیق در عملیات، دوره ۸، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲، صفحه: ۱۰۱-۸۸



شکل ۵- مقایسه سه بعد پایداری و پایداری کل.

Figure 5- Comparison of three dimensions of sustainability and total sustainability.

در **شکل ۵** ما ابعاد پایداری را با پایداری کل مقایسه نموده‌ایم. همان‌طور که در **جدول ۴** و **شکل ۱** تا **شکل ۴** مشاهده می‌کنیم هرقدر که عدد کارایی در ابعاد مختلف به یک نزدیک‌تر باشد این شرکت به پایداری کل نزدیک‌تر است. در بعد اقتصادی شرکت گاز سمنان دارای پایین‌ترین عملکرد است و باوجوداینکه در بعد اجتماعی پایدار است، با احتساب عدد پایداری خود در بعد سوم نتوانست پایدار کل باشد. در بعد اجتماعی شرکت گاز گیلان پایین‌ترین عملکرد و در بعد اقتصادی خراسان جنوبی پایین‌ترین عملکرد را دارا است.

در مثال کاربردی موردنظر، برای ساخت مدل و تحلیل داده‌ها در بعد محیطی با معرفی آلودگی محیطی به‌عنوان یک خروجی نامطلوب در این بعد، از دسترسی‌پذیری ضعیف پیشنهادی کاسمانن و پودینسکی [16] و در بعد اقتصادی، با معرفی مطالبات وصول نشده، به‌عنوان خروجی نامطلوب، برای تحلیل اشاره‌شده از دسترسی‌پذیری ضعیف بر اساس تکنولوژی پیشنهادی امیر تیموری و همکاران [10] استفاده گردیده است. این شاخص‌ها و نوع فرض دسترسی‌پذیری ضعیف با توجه به ارتباط بین خروجی‌های مطلوب و نامطلوب هر بعد در نظر گرفته‌شده‌اند. در جدول‌های آماری بالا مشاهده می‌کنید هراندازه عدد کارایی در ابعاد پایداری به یک میل کند آن واحد تحت ارزیابی در کل به پایداری نزدیک‌تر خواهد بود و عدد کارایی آن به یک نیز نزدیک‌تر خواهد بود. به نظر می‌رسد که پایداری در چند حیطه شرط لازم برای پایدار بودن است درحالی‌که شرط کافی را تامین نمی‌کند و با توجه به مدل باید در هر سه حیطه پایداری رخ دهد تا پایداری کل حاصل گردد.

جدول ۱- شاخص‌ها و داده‌های اجتماعی.

Table 1- Indicator and social data.

سال	شاخص	میزان شبکه‌گذاری (کیلومتر) ورودی اجتماعی	ضریب نفوذ گازرسانی در شهر و روستاها خروجی مطلوب اجتماعی
1392	انحراف معیار	362.1842	0.245257117
1392	میانگین	521.1034	0.577344483
1392	مینیمم	114.4	0.21
1392	ماکزیمم	1553.3	1

جدول ۲- شاخص‌ها و داده‌های محیطی.

Table 2- Indicator and environmental data.

سال	شاخص	حجم گاز تحویلی (ورودی محیطی)	سوخت پاک جایگزین در حمل‌ونقل (میلیون مترمکعب) خروجی مطلوب محیطی	آلودگی محیطی ناشی از نشت گاز (خروجی نامطلوب محیطی)
1392	انحراف معیار	5656.466479	231.602564	20472353.5
1392	میانگین	5321.324138	253.6689655	21018573.9
1392	مینیمم	409	30.9	3526542.403
1392	ماکزیمم	27797	1003	99314971.07

جدول ۳- شاخص‌ها و داده‌های اقتصادی.

Table 1- Indicator and economic data.

سال	شاخص	میزان هزینه‌های جاری (میلیون مترمکعب) ورودی اقتصادی	حجم گاز فروخته‌شده خروجی مطلوب اقتصادی	مطالبات وصول نشده خروجی نامطلوب اقتصادی
1392	انحراف معیار	853240.5888	5115.130642	0.169058446
1392	میانگین	30259.23849	5017.052414	0.198062069
1392	مینیمم	178444	463	0.0001
1392	ماکزیمم	4035879	23748	0.65

جدول ۴- استان‌ها و پایداری.

Table 4- Sustainability and provinces.

نام شرکت	پایداری اقتصادی	پایداری اجتماعی	پایداری محیطی	پایداری کل
شرکت گاز آذربایجان شرقی	1.000	0.2668	0.4030	0.5566
شرکت گاز آذربایجان غربی	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز اردبیل	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز اصفهان	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز ایلام	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز بوشهر	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز تهران و البرز	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز چهارمحال و بختیاری	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز خراسان جنوبی	0.8119	0.6177	0.4529	0.6275
شرکت گاز خراسان رضوی	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز خراسان شمالی	0.6482	0.2822	0.8285	0.5863
شرکت گاز خوزستان	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز زنجان	0.3994	0.5805	0.9820	0.6540
شرکت گاز سمنان	0.1757	1.000	0.9431	0.7062
شرکت گاز فارس	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز قزوین	0.8096	0.8096	0.5941	0.6877
شرکت گاز قم	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز کردستان	0.7640	0.2600	0.5119	0.512
شرکت گاز کرمانشاه	0.7335	0.2123	0.6105	0.5187
شرکت گاز کرمان	0.6786	0.4256	0.5597	0.5546
شرکت گاز کهکیلویه و بویراحمد	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز گلستان	0.8360	0.5948	0.6220	0.6843
شرکت گاز گیلان	1.000	0.1931	0.4608	0.4608
شرکت گاز لرستان	1.000	0.4091	0.9407	0.7833
شرکت گاز مازندران	1.000	0.2668	0.4030	0.5566
شرکت گاز مرکزی	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز هرمزگان	1.000	1.000	1.000	1.000
شرکت گاز همدان	0.3552	0.5551	0.7927	0.5677
شرکت گاز یزد	0.9236	0.6347	0.5374	0.6986

۵- نتیجه گیری

با توجه به حضور عوامل نامطلوب در بسیاری از سیستم‌های تحت ارزیابی و نوع دسترسی‌پذیری آن‌ها، مدل‌های متفاوتی در تحلیل پوششی داده‌ها به‌منظور سنجش کارایی در حضور عوامل نامطلوب ارایه شده است. در مقاله حاضر با توجه به اهمیت سنجش عملکرد پایداری با

ابعاد متفاوت روشی بر پایه تحلیل پوششی داده‌ها به‌منظور تحلیل عملکرد پایداری سازمان‌ها در حضور خروجی‌های نامطلوب با صورت‌های دسترسی‌پذیری ضعیف متفاوت ارایه شده است. در این مقاله با ضرایبی که بر هر دو نوع خروجی مطلوب و نامطلوب اعمال‌شده مدلی ارایه گردید که با حضور انواع متفاوتی از داده‌های اقتصادی، محیطی و اجتماعی و دو نوع دسترسی‌پذیری اشاره‌شده، پایداری واحد تحت ارزیابی نشان داده شود. علاوه بر آن در این مقاله با استفاده از مطالعه کاربردی از صنعت گاز دریافتیم که هرچند پایداری در سه نوع محیطی، اقتصادی و اجتماعی شرط لازم جهت پایداری کل یا همان توسعه پایدار واحد تحت ارزیابی است اما نمی‌تواند شرط کافی برای حصول این نتیجه باشد و تنها درصورتی‌که مدل پیشنهادی کارایی هم‌زمان این انواع متفاوت از داده‌ها را به‌طور هم‌زمان تامین کند پایداری کل یا همان توسعه پایدار فراهم شده است. در پژوهش‌های آتی می‌توان پایداری را با حضور داده‌های خاصی همچون داده‌های صحیح و ناصحیح و یا فازی محاسبه نمود.

منابع

[1] Momeni, E. Hosseinzadeh Lotfi, F., & Farzipoor Saen, R. (2020). Fuzzy centralized DEA approach for reallocation of emission permits under cap and trade regulation. *Journal of decisions and operations research*, *5*(1), 99-123. (**In Persian**). https://www.magiran.com/paper/2188579

[2] Habibzadeh Shojaei, S., & Jankchi Kashani, S. (2015). Investigating the economic, social and environmental sustainability factors of corn seed farms in Qazvin province. *Rural economy research*, *3*(6), 48-33. (**In Persian**). http://ruraleconomics.kiau.ac.ir/article_532977.html

[3] Hosseinzadeh Saljooghi, F., & Elahi Moghaddam, Z. (2013). A new model for determining anchor points in data envelopment analysis. *Journal of advanced mathematical modeling*, *3*(2), 61-79. (**In Persian**) https://jamm.scu.ac.ir/article_10774.html

[4] Maheshwari, S.H. (1994). Sustainable development: agenda for public administration in India. *Journal of management and development process*, *7*(4), 45-55. (**In Persian**). DOI: 20.1001.1.17350719.1372.7.4.5.0

[5] Jalali Doghozlo, A., Zolfagharzadeh, M. M., Pourezzat, A. A., & Bahrami-Kia, G. (2020). Visioning the sustainable development of the Iranian gas refining industry based on the GRI. *Organizational resource management research*, *10*(3), 67-86. (**In Persian**). http://ormr.modares.ac.ir/article-28-40807-fa.html

[6] Afarin Mohammadzadeh, A., & Hasanzadeh, R. (2018). Identification and ranking of effective factors on the implementation of green supply chain management by fuzzy TOPSIS and fuzzy AHP in electricity industry. *Journal of decisions and operations research*, *3*(3), 281-301. (**In Persian**). DOI: 10.22105/DMOR.2018.69514

[7] Kazemi Matin, R, (2011). A review on weak disposability axiom in modern undesirable output in non-parametric activity analysis. *Operations research in its applications*, *8*(3), 53-69. (**In Persian**). https://www.sid.ir/Fa/Journal/ViewPaper.aspx?id=164789

[8] Mousakhani, M., Saghafi, F., Hasanzade, M., & Sadeghi, M. E. (2020). Presenting a policy framework for high technologies, using identification of factors affecting the development of a technological innovation system with meta-synthesis. *Journal of decisions and operations*, *5*(1), 13-27. (**In Persian**). DOI: 10.22105/DMOR.2020.221888

[9] Fazli, H., & Ansari, M. (2017). *Guide for reporting corporate / organizational social responsibility based on 2018 standards: GRI*. (**In Persian**). https://csrrasaneh.ir/wp-content/uploads/2020/11

[10] Amirteimoori, A., Fouladvand, M., & Kordrostami, S. (2017). Efficiency measurement using nonparametric production analysis in the presence of undesirable outputs, application to power plants. *Operations research and decisions*, *27*(3), 5-20.

[11] Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European journal of operational research*, *2*(6), 429-444.

[12] Dakpo, K. H., Jeanneaux, P., & Latruffe, L. (2016). Modelling pollution-generating technologies in performance benchmarking: Recent developments, limits and future prospects in the nonparametric framework. *European journal of operational research*, *250*(2), 347-359.

[13] Färe, R., & Grosskopf, S. (2003). Nonparametric productivity analysis with undesirable outputs: comment. *American journal of agricultural economics*, *85*(4), 1070-1074.

[14] Knipling, E. F. (1972). Entomology and the management of man's environment. *Australian journal of entomology*, *11*(3), 153-167.

[15] Hailu, A., & Veeman, T. S. (2001). Non-parametric productivity analysis with undesirable outputs: an application to the Canadian pulp and paper industry. *American journal of agricultural economics*, *83*(3), 605-616.

[16] Kuosmanen, T., & Podinovski, V. (2009). Weak disposability in nonparametric production analysis: reply to Färe and Grosskopf. *American journal of agricultural economics*, *91*(2), 539-545.

[17] Zhou, H., Yang, Y., Chen, Y., & Zhu, J. (2018). Data envelopment analysis application in sustainability: the origins, development and future directions. *European journal of operational research*, *264*(1), 1-16.

[18] Amirteimoori, H., Amirteimoori, A., & Amirteimoori, A. (2020). Sustainability assessment in the presence of undesirable factors over time: a case on gas companies. *Expert systems*, *37*, e12316. https://doi.org/10.1111/exsy.12316

[19] Noveiri, M. J. S., & Kordrostami, S. (2019). Multi-period sustainability performance in the presence of discrete and bounded measures. *International journal of industiral engineering & producion research*, *30*(4), 507-528.

[20] Noveiri, M. J. S., & Kordrostami, S. (2020). Trade-offs analysis of sustainability dimensions using integer-valued DEA. *Croatian operational research review*, *11*(2), 275-289.

[21] Shephard R.W. (1970). *Theory of cost and production functions*. Princeton University Press, Princeton.

[22] Carson, R. (1962). *Silent spring* (1st Ed). Houghton Mifflin. https://www.abebooks.com

[23] Kuosmanen, T. (2005). Weak disposability in nonparametric productivity analysis with undesirable outputs. *American journal of agricultural economics*, *87*, 1077-1082.