




Research in Production and Operations Management
University of Isfahan E-ISSN: 2423-6950
Vol. 14, Issue 3, No. 34, Autumn 2023

 <https://doi.org/10.22108/POM.2023.137034.1504>

(Research paper)

Evaluating the Health Systems Efficiency of Countries Infected by COVID-19 Using Window Data Envelopment Analysis, Malmquist Productivity Index, and Data Envelopment Analysis with Non-Controllable Input Variables

Nooshin Mohammadnaghi

Industrial Engineering, Faculty of engineering, University of Kashan, Kashan, Iran,
nooshin.mohammadnaghi@gmail.com

Mohammad Taghi Rezvan *

Assistant Professor of Industrial Engineering, Faculty of engineering, University of Kashan, Kashan, Iran, rezvan@kashanu.ac.ir

Purpose: This paper aims to evaluate the response of different countries against Covid-19 for three consecutive periods from January 2020 to October 2022. 16 countries have been chosen based on their differences in various demographic, cultural, and geographical characteristics.

Design/methodology/approach: Window Data Envelopment Analysis (DEA) model, Malmquist Productivity Index and DEA with non-controllable input variables have been used over three periods of 345 days to evaluate the efficiency of health systems of the countries. By the Window DEA and DEA with non-controllable input variables, the efficiency of the countries in several different periods has been compared. Also, the scores for the progress of countries' performance during successive periods have been computed by the Malmquist Productivity Index.

Findings: The performance scores calculated with the window DEA indicated that there is a difference in the countries' responses. Based on the obtained results, China had the most efficiency and Italy had the worst efficiency during the three periods. Based on the model of uncontrollable variables, Egypt had the best performance, although the model did not distinguish among most countries. The results of the Malmquist Productivity Index method also indicated that countries had different efficiencies and progress. Based on its results, Malaysia had the most progress, while Singapore had the least progress during the three periods. China despite its high-performance score from the window DEA, had not received a good score from the Malmquist Productivity Index and non-controllable input variables model, which implies the low growth and even retrogression of this

* Corresponding author, Orcid: 0000-0002-0164-2094



country during the three periods. According to the results of the window DEA, Italy had progressed, but this growth has not been enough to make this country's performance efficient.

Research limitations/implications: The selection of different and more precise time intervals based on COVID-19 variants (alpha, delta and micron) and a wider selection of countries can be considered in future studies. Considering the amount of vaccination or the type of vaccine and observing its effects dynamically on the DEA model can be also a potential direction for future research. The development of window DEA and the Malmquist Productivity Index for uncontrollable variables and their application to the data of this paper are also suggested. Besides, the selection of input and output indicators based on other goals can be investigated in future studies.

Practical implications: To increase countries' efficiency in dealing with epidemics such as COVID-19, different countries need to know as much as possible about their current situation. One of the ways to get this recognition is to compare them with other countries with the best performance. In such conditions, finding relative efficiency and trying to make the inefficient ones efficient is a solution to increase efficiency. It is possible to identify and extract coping strategies from successful countries with good performance in dealing with COVID-19, and suitable strategies can be implemented in Iran according to the required facilities and infrastructure.


Social implication: Appropriate reactions and successful strategies of health systems of countries in dealing with epidemic diseases such as COVID-19 can be very effective in controlling such diseases and reducing their negative social and economic impacts. The results of evaluating the efficiency of different countries along with the review of their strategies can be helpful in this direction.

Originality/value: An attempt has been made to present a new picture of countries' response to the COVID-19 pandemic by selecting a diverse range of countries, indicators, and relatively long periods using DEA. Windowed DEA, Malmquist productivity index and DEA with uncontrollable input variables in a period of almost three years were used for the first time to evaluate the efficiency of countries' health systems and their progress in dealing with COVID-19.

Keywords: COVID-19, Efficiency, Healthcare system, Window Data Envelopment Analysis, Malmquist Productivity Index, DEA with non-controllable input variables



پژوهش در مدیریت تولید و عملیات، دوره ۱۴، شماره ۳، پیاپی ۳۴، پاییز ۱۴۰۲
دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۲ ص ۶۵-۹۰

 <https://doi.org/10.22108/POM.2023.137034.1504>

(مقاله پژوهشی)

کارایی سیستم‌های سلامت کشورها در مقابله با کووید-۱۹، با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای، شاخص بهره‌وری مالم کوئیست و تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌ناپذیر

نوشین محمدنقی^۱، محمدتقی رضوان^{۲*}

۱- کارشناس، گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، nooshin.mohammadnaghi@gmail.com
۲- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران، rezvan@kashanu.ac.ir

چکیده: هدف این مقاله، ارزیابی واکنش کشورها در مقابله با کووید-۱۹ برای ۱۶ کشور، که با در نظر گرفتن تفاوت‌ها در ویژگی‌های مختلف جمعیتی، فرهنگی و جغرافیایی انتخاب شده‌اند، در سه دوره متوالی از دی‌ماه سال ۱۳۹۸ تا آبان سال ۱۴۰۱ است. برای این ارزیابی، از مدل تحلیل پنجره‌ای، شاخص بهره‌وری مالم کوئیست و تحلیل پوششی داده‌ای متغیرهای ورودی کنترل‌نشده در سه دوره ۳۴۵ روزه، استفاده خواهد شد. مدل تحلیل پنجره‌ای و تحلیل پوششی داده‌ای متغیرهای ورودی کنترل‌نشده برای مقایسه کارایی کشورها در چند دوره مختلف استفاده می‌شود و روش شاخص بهره‌وری مالم کوئیست، امتیازاتی را برای پیشرفت عملکرد کشورها در طی دوره‌های متوالی، محاسبه می‌کند. امتیازات عملکردی محاسبه شده با مدل تحلیل پنجره‌ای، نشان می‌دهد در واکنش کشورها تفاوت وجود داشته است و براساس نتایج این روش، چین بیشترین و ایتالیا بدترین کارایی را در طول سه دوره داشته‌اند. نتایج روش شاخص بهره‌وری مالم کوئیست برای مقایسه پیشرفت عملکردها نیز نشان داد که کشورها، کارایی‌ها و پیشرفت‌های متفاوتی دارند. براساس نتایج این روش، مالزی بیشترین و سنگاپور کمترین پیشرفت را در طول سه دوره داشته‌اند. چین با وجود امتیاز بالای کارایی از مدل تحلیل پنجره‌ای، از شاخص مالم کوئیست و مدل متغیرهای کنترل‌نشده، امتیاز خوبی نگرفته است که این رشد کم و حتی پسرفت این کشور را در طی سه دوره بررسی شده نشان می‌دهد و مشخص می‌کند که ایتالیا پیشرفت کرده است، اما با توجه به نتایج تحلیل پنجره‌ای، این رشد برای کارکردن عملکرد این کشور، کافی نبوده است. براساس مدل متغیرهای کنترل‌نشده، مصر بهترین عملکرد را داشته است. اگرچه این مدل میان بیشتر کشورها، تمایزی قائل نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: کووید-۱۹، کارایی، سیستم‌های سلامت، تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای، شاخص بهره‌وری مالم کوئیست، تحلیل پوششی داده‌ای متغیرهای ورودی کنترل‌نشده

۱- مقدمه

در ماه دسامبر سال ۲۰۱۹، نوع جدیدی از کروناویروس در استان ووهان^۱ چین مشاهده و عامل ایجاد یک بیماری تنفسی جدید با عنوان ویروس کووید-۱۹^۲ شناخته شد. دیری نگذشت که این ویروس به یک بیماری اپیدمی جهانی منجر شد و شمار مبتلایان به این بیماری در جهان، از زمان ظهور تاکنون (۱۴۰۱/۰۸/۰۹)، به ۶۲۸ میلیون و ۲۱۲ هزار و ۹۱۹ نفر رسیده و مرگ ۶ میلیون و ۵۷۷ هزار و ۷۲۱ نفر بر اثر ابتلا به این بیماری، تأیید شده است (سازمان بهداشت جهانی^۳، ۲۰۲۲). برخی از کشورهای جهان تا چهار پیک آن را تجربه کردند و بیشتر کشورها در اخذ استراتژی‌های مشخص و مؤثر، دچار سردرگمی و ناتوانی بودند. با وجود این، کشورهای مختلف و در سطحی پایین‌تر، سیستم‌های سلامت آنها، واکنش‌ها و استراتژی‌های متفاوتی نسبت به این ویروس داشته‌اند. واکنش مناسب و سریع کشورها با اخذ استراتژی‌های مناسب، در کنترل بیماری بسیار تأثیرگذار است.

بهره‌گیری از تجارب دیگر کشورها در این زمینه، یک راهکار مناسب است. لازمه بهره‌گیری از تجارب دیگر کشورها یا الگوبرداری از آنها، مشخص کردن کشورهای موفق در مقابله با کووید-۱۹ است. برای این منظور لازم است کارایی سیستم‌های سلامت کشورها ارزیابی شود؛ اما در این میان پرسش‌هایی پیش می‌آید که عبارت‌اند از: آیا کارایی سیستم‌های سلامت کشورهای مختلف در بیماری کووید-۱۹ با یکدیگر یکسان بوده است؟ آیا تفاوت کارایی واکنش سیستم‌های سلامت کشورهای مختلف در مقابل کووید-۱۹ ملاحظه‌شدنی است؟ چگونه می‌توان کارایی سیستم‌های سلامت کشورهای مختلف را در مواجهه با اپیدمی‌هایی همچون کووید-۱۹ سنجید؟ چه کشورهایی در مقابل کووید-۱۹، عملکرد بهتری نسبت به دیگران داشته‌اند؟ برای پاسخ‌گویی به این پرسش‌ها، این مقاله در نظر دارد تا کارایی عملکرد سیستم سلامت ۱۶ کشور منتخب را در مقابله با بیماری کووید-۱۹ بررسی کند. این کشورها مشخصات مختلف جمعیتی، فرهنگی و جغرافیایی دارند و شامل کشورهای کانادا، چین، مصر، فنلاند، هند، ایران، ایتالیا، ژاپن، لبنان، مالزی، روسیه، سنگاپور، کره جنوبی، سوئد، ترکیه و ایالات متحده می‌شوند. علت محدودبودن کشورها به این ۱۶ عدد در این مقاله، دسترسی به داده‌های لازم بوده است.

کشورهای مختلف برای افزایش کارایی خود، به شناخت هرچه بیشتر وضعیت موجود نیاز دارند. یکی از روش‌های کسب این شناخت، مقایسه با نمونه‌های مشابه با بهترین عملکرد است. در شرایطی این‌چنینی، یافتن کارایی نسبی و تلاش در کارکردن موارد ناکارا، یک راه‌حل برای افزایش کارایی است. برای اندازه‌گیری کارایی واحدهای بررسی شده، روش‌های متعددی وجود دارد که از میان آنها به شاخص‌های مالی خروجی به ورودی، روش‌های پارامتری مانند تابع مرزی تصادفی و روش‌های ناپارامتری همانند روش تحلیل پوششی داده‌ها^۴ اشاره می‌شود. روش تحلیل پوششی داده‌ها یکی از پرکاربردترین و معروف‌ترین روش‌های محاسبه کارایی است (صالح زاده و همکاران^۵، ۲۰۲۳). هدف این مقاله، ارزیابی کارایی عملکرد کشورها در مقابله با کووید-۱۹ است که برای این منظور، تحلیل پوششی داده‌ها انتخاب شد. درنهایت استراتژی‌های مقابله از کشورهای با عملکرد مناسب شناسایی و استخراج و با توجه به امکانات و زیرساخت‌های آن کشور و کشور ایران، الگوبرداری انجام می‌شود.

این مقاله با استفاده از مدل تحلیل پنجره‌ای^۶، شاخص بهره‌وری مالم کوئیسست^۷ و تحلیل پوششی داده‌ها با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده^۸، با در نظر گرفتن سه دوره ۳۴۵ روزه، از تاریخ ۱۳۹۸/۱۰/۱۱ تا تاریخ

۱۴۰۱/۰۸/۰۹ کارایی کشورهای منتخب را ارزیابی می‌کند. اولی برای مقایسه میزان کارایی در سه دوره و دومی برای بررسی میزان پیشرفت و پسرفت کشورها در طی حدود سه سال استفاده می‌شود. این مطالعه به دولت‌ها کمک می‌کند دید جامع تری از عملکرد خود داشته باشند و با الگو قرار دادن کشورهای با عملکرد کارتر، سیستم خود را بهبود ببخشند.

ساختار باقی‌مانده مقاله چنین است: در بخش دوم، پژوهش‌ها و پیشینه تحقیقات در حوزه سیستم‌های سلامت با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، با موضوع بیماری‌های همه‌گیر مرور می‌شود؛ در بخش سوم، مدل‌های انتخاب شده شامل روش تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای، روش شاخص بهره‌وری مالم کوئیست و تحلیل پوششی داده‌ها با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده معرفی خواهند شد؛ در بخش چهارم ضمن ارائه داده‌های استفاده‌شده مدل‌ها، نتایج هر مدل به تفکیک تبیین و هریک تحلیل می‌شود و سرانجام در بخش پنجم، نتیجه‌گیری کلی و پیشنهادهایی برای پژوهش‌هایی آتی ارائه خواهد شد.

۲- تحقیقات پیشین

پژوهش‌هایی که شیوع بیماری‌های همه‌گیر را به‌طور خاص تجزیه و تحلیل می‌کند، به پژوهش‌های اپیدمیولوژی و پژوهش‌های کارایی تقسیم می‌شود. در پژوهش‌های اپیدمیولوژی، تمرکز اصلی بر مهار گسترش یک اپیدمی یا همه‌گیری است که به‌طور خاص بر اثربخشی مداخلات غیر دارویی^۹ (NPI) تأکید می‌شود.

کوریا و همکاران^{۱۰} (۲۰۲۲)، آنفولانزای ۱۹۱۸ را در ایالات متحده، که یک اپیدمی از نوع آنفولانزا بود، بازبینی کردند و دریافتند در مناطقی که زودتر نسبت به NPIها اقدام کرده‌اند، کاهش درخور توجهی در اوج مرگ و میر و کاهش متوسط در مرگ و میر تجمعی وجود داشته است (برای مثال به بوتسما و فرگوسن^{۱۱} (۲۰۰۷) مراجعه کنید). گورینچاس^{۱۲} (۲۰۲۰)، اجماع این نظر را در میان بسیاری از مطالعات اپیدمیولوژی تأیید می‌کند و می‌گوید مهار بیماری همه‌گیر COVID-۱۹ از اهمیت بالایی برخوردار است. به‌طور خلاصه، او توضیح می‌دهد که اگر نتوان سرعت گسترش ویروس کووید-۱۹ را کاهش داد یا سریع آن را مهار کرد، تهدید تقریباً فراتر از درک خواهد بود. مد حمزه و همکاران^{۱۳} (۲۰۲۱)، با مطالعه سطح کارایی نسبی مدیریت کووید-۱۹ در کشور مالزی، با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای^{۱۴} (NDEA)، به این نتیجه رسیدند که عملکرد کلی سیستم بهداشتی آن خوب است و این موضوع آمادگی و سطح پاسخ قوی آنها را نشان می‌دهد. به‌علاوه، تخصیص منابع برای واکنش سریع، به‌طور مؤثر در طول این دوره چالش‌برانگیز انجام شده است. برایتنباخ و همکاران^{۱۵} (۲۰۲۱)، با کمک DEA، میزان کارآمدی منابع استفاده‌شده برای تثبیت نرخ عفونت‌ها و به حداقل رساندن نرخ مرگ و میر را در ۳۶ کشور بررسی کردند که ۹۰ درصد از عفونت‌ها و مرگ‌ومیرهای جهانی از ۲۲۰ مورد را تشکیل می‌دهند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد با ثابت نگه داشتن اندازه سیستم مراقبت‌های بهداشتی خود (چون کشورها نمی‌توانند اندازه سیستم مراقبت‌های بهداشتی را در کوتاه‌مدت تغییر دهند)، بیشتر کشورهای نمونه در طول زمان مدیریت همه‌گیری، سطح کارایی پایینی را نشان دادند. برایتنباخ و همکاران (۲۰۲۰)، با تجزیه و تحلیل کارایی ۳۱ کشور آلوده در طول ۱۰۰ روز اول پس از شیوع کووید-۱۹ در مهار شیوع آن، با استفاده از DEA، نشان دادند ۱۲ کشور از ۳۱ کشور در نمونه‌شان کارآمد و ۱۹ کشور در استفاده از منابع برای مدیریت صاف‌کردن منحنی‌های سرایت کووید-۱۹ خود،

ناکارآمد بودند. قاسمی و همکاران^{۱۶} (۲۰۲۰)، با استفاده از تحلیل پوششی داده‌های پویا، عملکرد ۱۹ کشور منتخب را در دو بعد ناکارآمدی پیشگیری از شیوع ویروس کووید-۱۹ و ناکارآمدی پیشگیری از مرگ‌ومیرهای ناشی از کووید-۱۹، از ۲ فوریه تا ۱۲ آوریل محاسبه کردند. براساس این مطالعه، روند ناکارآمدی پیشگیری شیوع ویروس کووید-۱۹ در سنگاپور، کره جنوبی، چین و استرالیا در دوره بررسی شده رو به کاهش و روند ناکارآمدی دیگر کشورها، که البته از نظر ناکارآمدی متفاوت‌اند، با شیب‌های مختلف رو به افزایش بوه است. همچنین استرالیا، فنلاند، ژاپن، مالزی، سنگاپور و تایلند نسبت به دیگر کشورها، ناکارآمدی کمتری در پیشگیری از مرگ و میر ناشی از کووید-۱۹ داشته‌اند.

برومند و همکاران^{۱۷} (۲۰۲۱) کارایی سیاست‌های مداخله دولت را در ۱۹ کشور، کارایی پیشگیری از شیوع و همچنین مرگ و میر ناشی از ویروس را بررسی می‌کنند. در این مطالعه از دو مدل مختلف برای محاسبه کارایی سیاست‌ها استفاده شده است و نتایج آن نشان می‌دهد در هر دو مدل، ژاپن، فنلاند و تایلند بالاترین سطح کارایی واکنش دولت را داشتند. کشورهایی که کمترین کارایی واکنش دولت را داشتند، در مدل اول آمریکا، اسپانیا و روسیه و در مدل دوم چین، ایتالیا و اسپانیا بودند. جدول ۱ به‌طور خلاصه، پیشینه پژوهش و نوآوری‌های مقاله حاضر را نشان داده است.

این مقاله سعی کرده است تا با انتخاب طیف متنوعی از کشورها، شاخص‌ها و همچنین دوره‌های زمانی نسبتاً طولانی، تصویری نو از واکنش کشورها به همه‌گیری کووید-۱۹ را با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها ارائه کند. برای اولین بار در این مقاله، از تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای، شاخص بهره‌وری مال‌کوئیست و تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده در بازه زمانی تقریباً سه‌ساله استفاده و کارایی سیستم‌های سلامت کشورها و میزان پیشرفت و پسرفت آنها در مقابله با کووید-۱۹، ارزیابی شده است.

جدول ۱- پیشینه پژوهش اپیدمی / پاندمی و کارایی

Table 1- Literature on epidemics/pandemics and efficiency

نویسندگان	ورودی	خروجی	مدل	گسترده‌گی مطالعه
همکاران (۲۰۲۱)	<ul style="list-style-type: none"> تعداد مراکز قرنطینه فعال تعداد افراد قرنطینه‌شده جمعیت در میلیون تعداد تخت‌های ICU برای کووید-۱۹ تعداد دستگاه‌های تهویه تعداد بیمارستان‌ها و کلینیک‌های غربالگری لباس‌های ایزوله ماسک N95 ماسک‌های ۳ لایه تعداد تخت‌های بیمارستان‌ها و مراکز ترویج کووید-۱۹ 	<ul style="list-style-type: none"> تعداد بهبود تجمعی یا نرخ بهبود تعداد تلفات تجمعی یا نرخ مرگ و میر تعداد موارد مثبت تجمعی تعداد موارد مثبت که همچنان تحت مراقبت‌های پزشکی قرار می‌گیرند. تعداد موارد مثبت در مراقبت‌های ویژه تعداد موارد مثبت در مراقبت‌های ویژه با استفاده از ونتیلاتور 	Network DEA	مالزی
برایتباخ و همکاران (۲۰۲۱)	<ul style="list-style-type: none"> تعداد آزمایش‌ها تعداد کادر درمان هزینه‌های بهداشتی 	<ul style="list-style-type: none"> تعداد بهبود تجمعی یا نرخ بهبود تعداد تلفات تجمعی یا نرخ مرگ و میر میزان عفونت 	DEA	۳۶ کشور

نویسندگان	ورودی	خروجی	مدل	گسترده‌گی مطالعه
برایتنباخ و همکاران (۲۰۲۰)	<ul style="list-style-type: none"> تعداد آزمایش‌ها تعداد کادر درمان هزینه‌های بهداشتی تعداد روزها برای قرنطینه 	<ul style="list-style-type: none"> تعداد روزهای چرخه پس از رسیدن به کاهش مداوم عفونت‌ها 	DEA	۳۱ کشور
قاسمی و همکاران (۲۰۲۰)	<ul style="list-style-type: none"> جمعیت تراکم جمعیت ناکارآمدی کشورها در پیشگیری از شیوع ویروس کووید-۱۹ ناکارآمدی جلوگیری از انتشار ویروس کووید-۱۹ با سه بازه زمانی درصد جمعیت ۶۵ سال به بالا 	<ul style="list-style-type: none"> موارد تأییدشده کووید-۱۹ در هر بار مرگ و میر تأییدشده ناشی از کووید-۱۹ 	Window DEA	۱۹ کشور در ۷۰ روز متفاوت
برومند و همکاران (۲۰۲۱)	<ul style="list-style-type: none"> جمعیت تراکم جمعیت موارد تأییدشده ویروس کووید-۱۹ ناکارآمدی توقف شیوع درصد جمعیت ۶۵ سال به بالا ردیاب واکنش دولت به کووید-۱۹ آکسفورد (OxCGRT) 	<ul style="list-style-type: none"> موارد تأییدشده ابتلا به کووید-۱۹ از ژانویه تا اوت در کشورهای منتخب (ناکارآمدی توقف شیوع) مرگ و میر تأییدشده ناشی از کووید-۱۹ در هر ماه (ناکارآمدی پیشگیری از مرگ و میر بیماران کووید-۱۹) 	Window DEA	۱۹ کشور در دو پنجره زمانی
مقاله حاضر	<ul style="list-style-type: none"> جمعیت تراکم جمعیت درصد جمعیت افراد بالای ۶۵ سال مکمل ردیاب واکنش دولت‌ها به کووید-۱۹ دانشگاه آکسفورد نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط درصد افراد واکسیناسیون نشده 	<ul style="list-style-type: none"> نرخ موارد تأییدشده ناشی از کووید-۱۹ نرخ مرگ و میر تأییدشده ناشی از کووید-۱۹ 	Window DEA Malmquist	۱۶ کشور در سه پنجره زمانی

۳- روش شناسی پژوهش

در این بخش، مدل‌های انتخاب شده، یعنی تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای، شاخص بهره‌وری مال‌کوئیست و تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده تشریح خواهند شد.

۳-۱- روش تحلیل پوششی داده‌ها پنجره‌ای

روش تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای (WDEA)، یک رویکرد تابلویی ناپارامتری است که براساس اصل میانگین‌های متحرک عمل می‌کند و با در نظر گرفتن هر واحد تصمیم‌گیری^{۱۸} (DMU) در دوره‌های مختلف به‌عنوان یک DMU جداگانه، معیارهای کارایی را ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، روش WDEA کارایی DMUهای مختلف را در دوره‌های متفاوت از طریق دنباله‌ای از پنجره‌های همپوشانی، ارزیابی می‌کند.

فرض کنید K واحد $(k = 1, \dots, K)$ DMU همگن وجود دارد که در T دوره $(t = 1, \dots, T)$ مشاهده می‌شوند. همچنین هر DMU، تعداد I ورودی x_i ($i = 1, \dots, I$) را مصرف و تعداد R خروجی $(r = 1, \dots, R)$

Y_k^t را تولید می‌کند. فرض کنید DMU_k^t مشاهده k را در دوره t با بردار ورودی I بعدی X_k^t و بردار خروجی R بعدی Y_k^t را به صورت رابطه (۱) نشان می‌دهد.

$$X_k^t = \begin{bmatrix} x_k^{1t} \\ x_k^{2t} \\ \vdots \\ x_k^{It} \end{bmatrix} \quad Y_k^t = \begin{bmatrix} y_k^{1t} \\ y_k^{2t} \\ \vdots \\ y_k^{Rt} \end{bmatrix} \quad (1)$$

در WDEA اولین دوره از هر پنجره حذف و هم‌زمان یک دوره جدید اضافه می‌شود. فرض کنید $\alpha\beta$ شروع پنجره را در دوره α ($1 \leq \alpha \leq T$) با طول β ($1 \leq \beta \leq T - \alpha$) نشان می‌دهد. بر این اساس، ماتریس‌های ورودی $X_{\alpha\beta}$ و خروجی $Y_{\alpha\beta}$ برای این پنجره به صورت رابطه (۲) به نمایش درمی‌آید.

$$X_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} x_1^\alpha & x_2^\alpha & \dots & x_K^\alpha \\ x_1^{\alpha+1} & x_2^{\alpha+1} & \dots & x_K^{\alpha+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_1^{\alpha+\beta} & x_2^{\alpha+\beta} & \dots & x_K^{\alpha+\beta} \end{bmatrix} \quad Y_{\alpha\beta} = \begin{bmatrix} y_1^\alpha & y_2^\alpha & \dots & y_K^\alpha \\ y_1^{\alpha+1} & y_2^{\alpha+1} & \dots & y_K^{\alpha+1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ y_1^{\alpha+\beta} & y_2^{\alpha+\beta} & \dots & y_K^{\alpha+\beta} \end{bmatrix} \quad (2)$$

در نهایت مدل WDEA ورودی‌محور^{۱۹} و خروجی‌محور^{۲۰} برای اندازه‌گیری کارایی (یا $E_{k\alpha\beta}$) DMU_k^t فرض شده CRS به ترتیب در مدل‌های (I) و (II) در جدول ۲ ارائه شده است.

شایان ذکر است که تعداد پنجره‌ها (ξ)، تعداد DMUهای مختلف در هر پنجره (ω) و تعداد کل DMUهای مختلف (N) با $\omega = K \times \beta, \xi = T - \beta + 1$ و $N = K \times \beta \times \xi$ محاسبه می‌شود؛ برای مثال، تعداد ۱۰ تنظیم شده است؛ در نتیجه، $\xi = 7 - 3 + 1 = 5$ ، $\omega = 10 \times 3 = 30$ و $N = 10 \times 3 \times 5 = 150$. تجزیه و تحلیل پنجره DMU ارزیابی (DMU_k) و تمام نمرات کارایی ($E_{k\alpha\beta}$) در شکل ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱- مدل WDEA ورودی‌محور و خروجی‌محور برای اندازه‌گیری کارایی واحد مفروض به عنوان CRS

Table 2- Input-oriented and output-oriented WDEA model to measure the efficiency of the assumed unit as CRS

(1) WDEA (IO & CRS)	(2) WDEA (OO & CRS)
$E_{k\alpha\beta} = \text{Min } \theta_{k\alpha\beta}^t$	$E_{k\alpha\beta} = \text{Min } \phi_{k\alpha\beta}^t$
S.t. $X_{\alpha\beta}\lambda \leq X_k^{t'} \theta_{k\alpha\beta}^t$	S.t. $X_{\alpha\beta}\lambda \leq X_k^{t'}$
$Y_{\alpha\beta}\lambda \geq Y_k^{t'}$	$Y_{\alpha\beta}\lambda \geq Y_k^{t'} \phi_{k\alpha\beta}^t$
$\lambda \geq 0$	$\lambda \geq 0$

باید توجه داشت که علاوه بر محاسبه کارایی هر DMU در هر پنجره، سه نوع بازده متوسط، شامل میانگین نمرات کارایی DMU_k برای همه پنجره‌ها (میانگین سطری E_{i*})، میانگین نمرات کارایی DMU_k برای همه دوره‌ها (میانگین ستونی E_{*j}) و میانگین تمام نمرات کارایی DMU_k (میانگین کل E_{**}) اندازه‌گیری‌شدنی است (پیکانی و همکاران^{۲۱}، ۲۰۲۱).

DMU_k		دوره‌ها							E_{j*} میانگین سطر
		دوره ۱	دوره ۲	دوره ۳	دوره ۴	دوره ۵	دوره ۶	دوره ۷	
j_0	پنجره ۱	E_{11}	E_{11}	E_{11}					E_{1*}
	پنجره ۲		E_{21}	E_{21}	E_{21}				E_{2*}
	پنجره ۳			E_{31}	E_{31}	E_{31}			E_{3*}
	پنجره ۴				E_{41}	E_{41}	E_{41}		E_{4*}
	پنجره ۵					E_{51}	E_{51}	E_{51}	E_{5*}
E_{j*} میانگین ستون		E_{*1}	E_{*2}	E_{*3}	E_{*4}	E_{*5}	E_{*6}	E_{*7}	E_{**}

شکل ۱- تجزیه و تحلیل پنجره DMU ارزیابی شده

Fig. 1- Window analysis of the DMU under evaluation

مدل انتخابی این مقاله، روش تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای خروجی محور با فرض بازدهی ثابت نسبت به مقیاس است. کشورها به عنوان DMUها، مشخصات مختلفی دارند و برای مقایسه آنها لازم است از مدل بازده به مقیاس ثابت استفاده شود. ورودی‌های در نظر گرفته شده شامل «جمعیت»، «تراکم جمعیت»، «درصد جمعیت افراد بالای ۶۵ سال»، «مکمل ردیاب واکنش دولت‌ها به کووید-۱۹ دانشگاه آکسفورد»، «نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط» و «درصد افراد واکسیناسیون نشده» است. ابتدا همه آنها از شاخص‌های نامطلوب بوده و یا با توجه به بیشتر شاخص‌ها، به شاخص نامطلوب تبدیل شده‌اند و خروجی‌ها شامل «نرخ موارد تأییدشده ناشی از کووید-۱۹» و «نرخ مرگ و میر تأییدشده ناشی از کووید-۱۹» بوده است که آنها نیز شاخص‌های نامطلوب‌اند؛ بنابراین زمانی که مدل با تغییر ورودی‌ها، در پیدا کردن نسبتی کارآمدتر برای خروجی‌ها می‌کوشد، با اختصاص امتیاز بیشتر به یک کشور، در واقع این مفهوم را منتقل می‌کند که آن کشور با نسبت ورودی‌های برابر، خروجی بیشتری تولید می‌کند. این نتیجه، یعنی کشوری با نمره بیشتر، ناکارآمدی بالاتری خواهد داشت و برعکس. ورودی‌های مدل، به جز شاخص‌های جمعیت و تراکم جمعیت، همه شاخص‌های کنترل‌شده‌اند. با توجه به اینکه جمعیت و تراکم جمعیت جزء مهم‌ترین عواملی‌اند که بر موارد ابتلا به ویروس کرونا در هر کشور تأثیر می‌گذارند (گیتا^۲، ۲۰۲۰)، ورودی در نظر گرفته شدند.

تعداد دوره‌های در نظر گرفته شده، سه و طول پنجره‌ها نیز یک، دو و سه خواهد بود. واحدهای تصمیم‌گیری انتخاب شده شامل ۱۶ کشور کانادا، چین، مصر، فنلاند، هند، ایران، ایتالیا، ژاپن، لبنان، مالزی، روسیه، سنگاپور، کره جنوبی، سوئد، ترکیه، ایالات متحده می‌شوند. بازه‌های در نظر گرفته شده شامل سه بازه ۳۴۵ روزه (۱) از ۱۳۹۸/۱۰/۱۱ تا ۱۳۹۹/۰۹/۲۰ (یا از ۲۰۲۰/۱/۱ تا ۲۰۲۰/۱۰/۱۲)؛ (۲) از ۱۳۹۹/۰۹/۲۰ تا ۱۴۰۰/۰۸/۲۹ (یا از ۲۰۲۰/۱۰/۱۲ تا ۲۰۲۱/۲۰/۱۱) و (۳) از ۱۴۰۰/۰۸/۲۹ تا ۱۴۰۱/۰۸/۰۹ (یا از ۲۰۲۱/۲۰/۱۱ تا ۲۰۲۲/۳۱/۱۰) هستند و با توجه اینکه طول هر کدام از این بازه‌ها نزدیک به یک سال است، داده‌های مربوط به سال ۲۰۲۰ میلادی برای دوره اول، داده‌های مربوط به سال ۲۰۲۱ میلادی برای دوره دوم و داده‌های مربوط به سال ۲۰۲۲ میلادی برای دوره سوم در نظر گرفته شده‌اند.

۳-۲- روش شاخص بهره‌وری مالم کوئیست در تحلیل پوششی داده‌ها

مفهوم شاخص بهره‌وری مالم کوئیست را برای اولین بار مالم کوئیست^{۲۳} (۱۹۵۳) معرفی کرد و سپس چندین نویسنده در چارچوب ناپارامتریک آن را مطالعه کردند و توسعه‌اش دادند. این شاخصی است که رشد بهره‌وری کل عوامل^{۲۴} یک واحد تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد، به این صورت که منعکس‌کننده پیشرفت یا پسرفت در کارایی همراه با پیشرفت یا پسرفت فناوری مرزی^{۲۵} در طول زمان، در چارچوب ورودی‌های چندگانه و خروجی‌های متعدد است (تن^{۲۶}، ۲۰۰۴).

شاخص مالم کوئیست تغییر بهره‌وری یک DMU را بین دو دوره زمانی ارزیابی می‌کند. این محصول اصطلاحات جبران^{۲۷} و تغییر مرز^{۲۸} تعریف می‌شود و با مجموعه‌ای از n DMU سر و کار دارد ($j = 1, \dots, n$) که هر کدام دارای m ورودی و q خروجی با یک بردار در دوره‌های ۱ و ۲ هستند.

الف) اثر جبران: اصطلاح جبران (یا بازیابی) به درجه‌ای مربوط می‌شود که یک DMU برای بهبود کارایی خود به دست می‌آورد و در قالب رابطه (۳) مشاهده می‌شود.

$$\text{اثر جبران} = \frac{\text{کارایی}^2(x_0, y_0) \text{ مرز دوره 2}}{\text{کارایی}^1(x_0, y_0) \text{ مرز دوره 1}} \quad (3)$$

اثر جبران بزرگ‌تر از یک، نشان‌دهنده پیشرفت در کارایی نسبی از دوره ۱ تا ۲ است، در حالی که اثر جبران برابر با یک و کوچک‌تر از یک، به ترتیب نشان‌دهنده تغییر نیافتن و پسرفت در کارایی است.

ب) اثر تغییر مرز: اصطلاح تغییر مرز (یا نوآوری)، تغییر در مرزهای کارآمد اطراف DMU را بین دو دوره زمانی منعکس می‌کند. رابطه (۴) این اثر را نمایش می‌دهد.

$$\text{اثر تغییر مرز} = \sqrt{\frac{\text{کارایی}^2(x_0, y_0) \text{ مرز دوره 2}}{\text{کارایی}^1(x_0, y_0) \text{ مرز دوره 1}} \times \frac{\text{کارایی}^1(x_0, y_0) \text{ مرز دوره 2}}{\text{کارایی}^2(x_0, y_0) \text{ مرز دوره 1}}} \quad (4)$$

اثر تغییر مرز بزرگ‌تر از یک، نشان‌دهنده پیشرفت در فناوری مرزی در اطراف دوره ۱ تا ۲ است، در حالی که اثر تغییر مرز برابر با یک و کوچک‌تر از یک، به ترتیب ثبات وضعیت موجود و پسرفت در فناوری مرزی را نشان می‌دهد.

ج) شاخص مالم کوئیست: شاخص مالم کوئیست از ضرب دو شاخص (اثر قبلی، یعنی روابط (۳) و (۴)) به دست می‌آید.

$$MI = (Catch - up) \times (Frontier - shift) \quad (5)$$

مقدار MI بزرگ‌تر از یک، نشان‌دهنده پیشرفت در بهره‌وری کل عوامل از دوره ۱ تا ۲ است، در حالی که مقادیر برابر با یک و کوچک‌تر از یک، به ترتیب ثبات وضعیت موجود و کاهش در بهره‌وری کل عوامل را نشان می‌دهد (تن، ۲۰۰۴). ورودی‌ها، خروجی‌ها، کشورهای منتخب و بازه‌های در نظر گرفته شده در این مدل، با مدل تحلیل پنجره‌ای یکسان است. باید توجه کرد که به علت تفاوت در محاسبات دو روش و هدفشان، باید انتظار نتایج متفاوتی را داشت.

۳-۳- مدل متغیرهای کنترل‌نشده

کوپر و همکاران^{۲۹} مدل شعاعی را برای متغیرهای کنترل‌نشده بر اساس مدل بنکر و موری^{۳۰} معرفی کردند و آن را مدل متغیرهای کنترل‌نشده^{۳۱} نامیدند که با عنوان NCN شناخته می‌شوند. مدل NCN شامل دو دسته مدل NCNI (ورودی‌های کنترل‌نشده) و مدل NCNO (خروجی‌های کنترل‌نشده) است. فرض کنید تعداد DMUها، ورودی‌ها، خروجی‌ها و ورودی‌های کنترل‌نشده به ترتیب با m, r, s, n و t نمایش داده و وزن نامنفی ورودی نام، وزن نامنفی ورودی کنترل‌نشده k ام و وزن نامنفی خروجی z ام به ترتیب، v_i, u_k و w_j در نظر گرفته می‌شوند. برای ورودی‌ها و خروجی‌ها نیز از نمادهای زیر استفاده می‌شود.

$$\begin{aligned} y_{jo} &: \text{زامین خروجی از } o \text{ امین DMU} & y_{jm} &: \text{زامین خروجی از } m \text{ امین DMU} \\ x_{io} &= i \text{ امین ورودی به } o \text{ امین DMU} & x_{im} &: \text{زامین ورودی به } m \text{ امین DMU} \\ z_{ko} &: k \text{ امین ورودی کنترل‌نشده به } o \text{ امین DMU} & z_{km} &: k \text{ امین ورودی کنترل‌نشده به } m \text{ امین DMU} \\ e'_o &: \text{امتیاز کارایی } o \text{ امین DMU} \end{aligned}$$

بنابراین می‌توان مدل‌سازی مطابق روابط (۶) را داشت.

$$\begin{aligned} \min e'_o &= \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{io}}{\sum_{j=1}^s w_j y_{jo} - \sum_{k=1}^t u_k z_{ko}} & \text{S.t.} \\ \frac{\sum_{i=1}^r v_i x_{im}}{\sum_{j=1}^s w_j y_{jm} - \sum_{k=1}^t u_k z_{km}} &\geq 1; \quad m = 1, \dots, n \\ w_j &\geq 0; j = 1, \dots, s \\ v_i &\geq 0; i = 1, \dots, r \\ u_k &\geq 0; k = 1, \dots, t \end{aligned} \quad (6)$$

با استفاده از تبدیل خطی $\sum_{j=1}^s w_j y_{jo} - \sum_{k=1}^t u_k z_{ko} = 1$ ، به مدل برنامه‌ریزی خطی مطابق روابط (۷) تغییر می‌یابد (محمد و همکاران^{۳۲}، ۲۰۱۴).

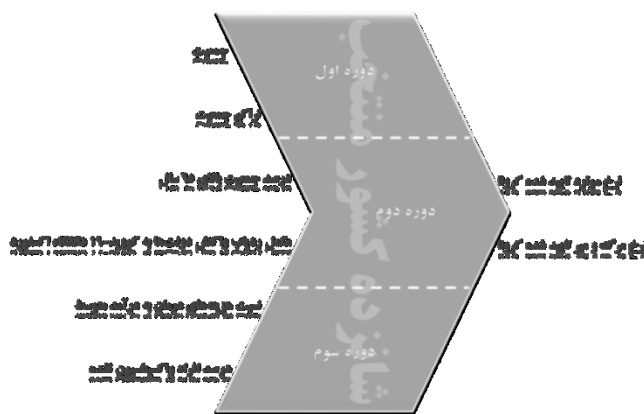
$$\begin{aligned} \min e'_o &= \sum_{i=1}^r y_i x_{io} & \text{S.t.} \\ \sum_{i=1}^r y_i x_{im} + \sum_{k=1}^t u_k z_{km} - \sum_{j=1}^s w_j y_{jm} &\geq 0; \quad m = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^s w_j y_{jo} - \sum_{k=1}^t u_k z_{ko} &= 1 \\ w_j &\geq 0; j = 1, \dots, s \\ v_i &\geq 0; i = 1, \dots, r \\ u_k &\geq 0; k = 1, \dots, t \end{aligned} \quad (7)$$

علت استفاده از این مدل، در نظر گرفتن سه متغیر ورودی جمعیت و تراکم جمعیت و درصد افراد بالای ۶۵ سال به‌عنوان متغیر کنترل‌نشده است.

۴- مطالعه کاربردی و یافته‌ها

۴-۱- معرفی شاخص‌های ورودی و خروجی مدل

همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، ورودی‌های در نظر گرفته شده شامل جمعیت، تراکم جمعیت، درصد جمعیت افراد بالای ۶۵ سال، مکمل ردیاب و واکنش دولت‌ها به کووید-۱۹ دانشگاه آکسفورد، نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط و درصد افراد واکسیناسیون نشده و خروجی‌ها نیز شامل نرخ موارد تأییدشده ناشی از کووید-۱۹ و نرخ مرگ و میر تأییدشده ناشی از کووید-۱۹ است. این شاخص‌ها با توجه به مطالعه پیشینه پژوهش انجام‌گرفته انتخاب شده‌اند و سعی می‌کنند موقعیت هر کشور را از نظر عملکرد و شرایط آنها با هم، مقایسه کنند.



شکل ۲- ورودی‌ها و خروجی‌های انتخاب‌شده برای مدل

Fig. 2- Selected inputs and outputs for the model

به‌علت گستردگی موضوع و عوامل تأثیرگذار بر آن، شاخص‌هایی انتخاب شدند که ارتباط تنگاتنگی با موضوع داشتند و به‌طور مستقیم با مردم در ارتباط بودند. به‌نوعی بیشتر شاخص‌ها می‌توانند عملکرد دولت‌ها را ارزیابی کنند؛ بنابراین تصمیم بر این شد تا شاخص‌هایی انتخاب شوند که دولت‌ها داده‌های آنها را به‌واسطه کووید-۱۹، جمع‌آوری می‌کند و در دسترس عموم قرار می‌دهد. اطلاعات همه شاخص‌ها به‌جز شاخص‌های «جمعیت» و «نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط»، به‌طور روزانه اندازه‌گیری می‌شدند. به‌علت درگیری دولت‌ها با همه‌گیری به مدت حدود سه سال و همچنین نیاز به استفاده از دوره‌های زمانی با طول برابر در روش انتخاب‌شده، تصمیم بر این گرفته شد تا این ارزیابی در سه پنجره انجام شود و با توجه به اینکه در آن تاریخ هنوز سه سال کامل (۳۶۵ روز) از شروع جهانی همه‌گیری نگذشته بود، نزدیک‌ترین طول دوره ممکن به آن، یعنی ۳۴۵ روز، طول دوره در نظر گرفته شد.

۴-۲- داده‌های کشورهای منتخب مطالعه‌شده

تعداد مبتلایان به کووید-۱۹ با جمعیت کشورها و درصد جمعیت افراد ۶۵ سال و بالاتر در کل جمعیت، ارتباط مستقیم دارد. به‌علاوه فاصله‌گذاری اجتماعی راهی برای کاهش شیوع همه‌گیری اعلام شد، یعنی با تراکم کمتر در محیط‌های عمومی، احتمال شیوع نیز کمتر می‌شود؛ بنابراین در محیط‌های متراکم‌تر، شیوع نیز افزایش می‌یابد و کنترل آن، چالش بیشتری برای دولت‌ها به‌همراه دارد. به همین علت، تراکم جمعیت یکی از شاخص‌ها انتخاب شد. جمعیت با تعداد مبتلایان و تلفات رابطه مستقیم دارد، به‌طوری که با کم‌کردن تأثیر اختلاف جمعیت‌ها در دو

خروجی، سعی می‌شود تا تأثیر چالشی اعمال شود که هر دولت برای کنترل مردم و فراهم آوردن امکانات برای آنان با توجه به جمعیت کم‌تر یا بیشتر خود پشت سر می‌گذارد. با توجه به تنوع و تعدد سیاست‌های استفاده‌شده در دو حوزه پیشگیری از شیوع ویروس کووید-۱۹ و همچنین پیشگیری از مرگ و میر، از شاخص ردیاب واکنش دولت به کووید-۱۹ آکسفورد (OxCGRT) برای مقایسه پاسخ دولت‌های مختلف استفاده شده است. معیار اصلی این شاخص برای اختلاف در پاسخ دولت‌ها، شاخص سخت‌گیری واکنش دولت به کووید-۱۹ است. ردیاب واکنش دولت آکسفورد کووید-۱۹، پیشینه‌ای سیستماتیک و مقایسه‌شدنی از پاسخ‌های دولت به کووید-۱۹ در ۱۸۵ کشور و منطقه را برای سه سال، از ۱ ژانویه ۲۰۲۰ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۲۲ ارائه می‌دهد. داده‌های آن را یک تیم آموزش‌دیده از داوطلبان، در زمان مربوطه جمع‌آوری کرده است. این مجموعه داده شامل اطلاعاتی درباره محدودیت‌های بسته‌شدن و مهار، سیاست‌های بهداشتی، اقدامات حمایتی اقتصادی و همچنین اولویت‌بندی واکسیناسیون، تحویل، بودجه و الزامات است (دانشگاه آکسفورد^{۳۳}، ۲۰۲۲). با توجه به اینکه افزایش این امتیاز به معنی تلاش بیشتر کشورها برای کاهش احتمال شیوع بیماری خواهد بود، در این مطالعه مکمل این امتیاز در دوره‌های مختلف، ورودی در نظر گرفته شده است. احتمال شیوع کووید-۱۹ با افزایش افراد واکسیناسیون نشده بیشتر می‌شود و این افراد، درصدی از کل جمعیت‌اند. واکسینه کردن، داشتن تنوع واکسن درخواستی مردم یک کشور، سیاست‌های تشویقی برای افراد واکسینه‌شده و سلب امتیازات از افرادی که خود را واکسینه نمی‌کنند، کشورها را در بهبود کارایی یاری می‌رساند. در صورت انجام ندادن اقدامات لازم برای واکسیناسیون مردم، ناکارایی افزایش خواهد یافت. با کاهش هزینه‌های درمان برای مبتلایان، افراد بیشتری به درمان مناسب و به‌موقع دسترسی خواهند داشت و تلفات را کاهش خواهند داد. با نشان دادن ناکارایی در این زمینه، افراد بیشتری در اثر بیماری آسیب خواهند دید؛ بنابراین این شاخص نیز جزء ورودی‌ها قرار گرفت. به دلیل محدودیت در داده‌های در دسترس، نسبت سال اول برای هر سه دوره بررسی شده در نظر گرفته شده است. به جز شاخص‌های جمعیت و تراکم جمعیت که شاخص‌های محیطی‌اند و در تعیین کارایی دولت، نقش مستقیمی ندارند، دیگر شاخص‌ها، یعنی مکمل ردیاب واکنش دولت‌ها به کووید-۱۹ دانشگاه آکسفورد، نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط و درصد افراد واکسیناسیون نشده، تبیین‌کننده نقش دولت در کنترل همه‌گیری کووید-۱۹ هستند. با کنترل و کاهش این شاخص‌ها به وسیله دولت، دسترسی مردم به درمان و بالابردن مقاومت سیستم ایمنی بدن در برابر ویروس با تزریق واکسن برای افراد بیشتر، آسان‌تر و از تلفات بیماری، کاسته می‌شود.

در جدول ۳ داده‌های شاخص‌های ورودی ارائه شده است (گروه بانک جهانی^{۳۴}، ۲۰۲۲؛ مرور جمعیت جهان^{۳۵}، ۲۰۲۲؛ جهان ما در داده^{۳۶}، ۲۰۲۲؛ سازمان بهداشت جهانی، ۲۰۲۲؛ دانشگاه آکسفورد، ۲۰۲۲؛ انجمن بین‌المللی آب^{۳۷}، ۲۰۲۲).

تعداد موارد تأییدشده ناشی از کووید-۱۹ در هر یک میلیون نفر به‌عنوان میزان ناکارایی عملکرد کشورها در کنترل شیوع این بیماری، یکی از خروجی‌ها تعریف شده است. این نسبت به این علت در نظر گرفته شده است که تأثیر اختلاف جمعیت‌ها را کم کند. تعداد کشته‌شدگان ناشی از کووید-۱۹ در هر یک میلیون نفر نیز، میزان ناکارایی پیشگیری از مرگ و میر خروجی دیگر مدل خواهد بود. این نسبت به این علت در نظر گرفته شده است که تأثیر اختلاف جمعیت‌ها را کم کند. در جدول ۴ داده‌های شاخص خروجی ارائه شده است.

جدول ۳- داده‌های شاخص‌های ورودی

Table 3- Data of input indicators

کشور	از ۱۳۹۹/۰۹/۲۰ تا ۱۳۹۸/۱۰/۱۱		از ۱۳۹۹/۰۹/۲۱ تا ۱۴۰۰/۰۸/۲۹		از ۱۴۰۰/۰۸/۳۰ تا ۱۴۰۱/۰۸/۰۹	
	ژاپن	۱۲۶,۳۶۱,۰۰۰	۵۹,۴۴۹,۵۲۷	۸۳,۹۹۲,۹۵۳	۱,۳۸۰,۰۰۴,۳۸۵	۵,۵۲۹,۵۲۳
ایتالیا	۳۳۴	۱۹۷	۵۱	۴۲۰	۱۶	۱۴۵
ایران	۳۷/۰۵	۳۳/۰۲	۵/۴۴	۵/۹۸۹	۲۱/۲۳	۱۰/۶۴
هند	۴۸/۴۴	۲۵/۲۶	۴۵/۳۱	۳۵/۹۴	۴۸/۱۸	۲۶/۰۴
فلاتاند	۰/۱	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۵
مصر	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰
چین	۱۲۵,۶۸۱,۵۹۳	۵۹,۰۶۶,۲۲۵	۸۵,۰۲۸,۷۶۰	۱,۳۹۳,۴۰۹,۰۳۳	۵,۵۴۱,۶۹۶	۱,۴۱۲,۳۶۰,۰۰۰
کاتادا	۳۳۳	۱۹۶	۵۲	۴۲۴	۱۶	۱۴۵
تراکم جمعیت	۲۷/۰۵	۳۳/۰۲	۵/۴۴	۵/۹۸۹	۲۱/۲۳	۱۰/۶۴
درصد جمعیت بالای ۶۵ سال	۴۳/۷۵	۳۳/۸۴	۳۳/۸	۴۴/۰۴	۵۱/۰۱	۲۸/۳۹
مکمل ردیاب واکنش دولت به کووید-۱۹ آکسفورد	۰/۱	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۵
نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط	۱۸/۸۸	۱۹/۴۸	۳۵/۲۰	۴۴/۵۱	۲۲/۸۴	۱۴/۰۹
درصد افراد واکسیناسیون‌نشده	۱۳۳,۹۵۱,۶۹۲	۵۹,۰۳۷,۴۷۴	۸۸,۵۵۰,۵۷۰	۱,۴۱۷,۱۷۳,۱۷۳	۵,۵۴۰,۷۴۵	۱,۴۲۵,۸۷۷,۳۳۷
جمعیت	۳۲۸	۱۹۶	۵۴	۴۳۱	۱۶	۱۴۷
تراکم جمعیت	۳۷/۰۵	۳۳/۰۲	۵/۴۴	۵/۹۸۹	۲۱/۲۳	۱۰/۶۴
درصد جمعیت بالای ۶۵ سال	۵۳/۶۵	۶۰/۰۳	۵۴/۰۳	۵۹/۶۴	۵۵/۷۳	۲۷/۰۸
مکمل ردیاب واکنش دولت به کووید-۱۹ آکسفورد	۰/۱	۰/۰۸	۰/۱۳	۰/۰۳	۰/۰۹	۰/۰۵
نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط	۱۵/۸۷	۲۰/۳۱	۲۶/۵۲	۲۷/۵۴	۱۸/۳۸	۸/۵۶
درصد افراد واکسیناسیون‌نشده						

کشور	از ۱۴۰۰/۰۸/۳۰ تا ۱۴۰۱/۰۸/۰۹			از ۱۳۹۹/۰۹/۲۱ تا ۱۴۰۰/۰۸/۲۹			از ۱۳۹۸/۱۰/۱۱ تا ۱۳۹۹/۰۹/۲۰		
	ایالات متحده	ترکیه	سوئد	کره جنوبی	سنگاپور	روسیه	مالزی	لبنان	جمعیت
۳۳۱/۵۰/۱۰/۸۰	۸۴/۳۳۹/۰/۶۷	۱۰/۳۵۳/۴۴۲	۵۱/۸۳۶/۳۳۹	۵/۶۸۵/۸۰۷	۱۴۴/۰۷۳/۱۳۹	۳۲/۳۶۵/۹۹۸	۶/۸۱۵/۴۴۲	جمعیت	
۳۵	۱۰۸	۲۳	۵۱۷	۸۰۰۸	۸	۹۸	۶۵۳	تراکم جمعیت	
۱۵/۴۱	۸/۱۵۳	۱۹/۹۹	۱۳/۹۱	۱۲/۹۲	۱۴/۱۸	۶/۲۹۳	۸/۵۱۴	درصد جمعیت بالای ۶۵ سال	
۳۲/۸۱	۳۰/۹۹	۴۱/۱۵	۴۱/۱۵	۴۷/۶۶	۲۹/۴۳	۲۸/۶۵	۴۴/۰۱	مکمل ردیاب واکشن دولت به کووید-۱۹- آکسفورد	
۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۹	نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط	
۹۹/۹۹	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	۹۹/۹۸	۱۰۰/۰۰	۱۰۰/۰۰	درصد افراد واکسیناسیون نشده	
۳۳۱/۸۹۳/۱۶۵	۸۵/۰۴۲/۷۳۶	۱۰/۴۱۵/۸۱۱	۵۱/۷۴۴/۸۷۶	۵/۴۵۳/۵۶۶	۱۴۳/۴۴۶/۰۶۰	۳۲/۷۷۶/۱۹۵	۶/۱۶۹/۱۵۱	جمعیت	
۳۵	۱۰۹	۲۳	۵۱۶	۷۶۸۱	۸	۹۹	۶۴۸	تراکم جمعیت	
۱۵/۴۱	۸/۱۵۳	۱۹/۹۹	۱۳/۹۱	۱۲/۹۲	۱۴/۱۸	۶/۲۹۳	۸/۵۱۴	درصد جمعیت بالای ۶۵ سال	
۴۹/۳	۶۴/۹۹	۷۳/۴	۳۲/۱۷	۲۹/۴۳	۴۰/۱	۵۸/۰۲	۴۲/۳	مکمل ردیاب واکشن دولت به کووید-۱۹- آکسفورد	
۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۹	نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط	
۳۰/۴۴	۴۳/۳۵	۲۹/۵۱	۱۸/۲۰	۱۴/۲۸	۵۶/۱۲	۲۳/۶۹	۶۶/۰۰	درصد افراد واکسیناسیون نشده	
۳۳۸/۲۸۹/۸۵۷	۸۵/۳۴۱/۲۴۱	۱۰/۵۴۹/۳۴۷	۵۱/۸۱۵/۸۱۰	۵/۹۷۵/۶۸۹	۱۴۴/۷۱۳/۳۱۴	۳۳/۹۳۸/۲۲۱	۵/۴۸۹/۷۳۹	جمعیت	
۳۶	۱۰۹	۲۳	۵۱۷	۸۴۱۶	۸	۱۰۳	۵۲۵	تراکم جمعیت	
۱۵/۴۱	۸/۱۵۳	۱۹/۹۹	۱۳/۹۱	۱۲/۹۲	۱۴/۱۸	۶/۲۹۳	۸/۵۱۴	درصد جمعیت بالای ۶۵ سال	
۶۴/۳۶	۷۹/۱۷	۸۵/۴۲	۴۹/۴۸	۷۱/۳۵	۵۵/۲۱	۵۱/۱۸	۶۳/۵۴	مکمل ردیاب واکشن دولت به کووید-۱۹- آکسفورد	
۰/۱۷	۰/۰۴	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۶	۰/۰۴	۰/۰۹	نسبت هزینه درمان به درآمد متوسط	
۱۹/۷۶	۳۲/۱۱	۲۵/۸۳	۱۲/۹۲	۸/۴۰	۴۰/۶۷	۱۷/۱۸	۵۰/۲۱	درصد افراد واکسیناسیون نشده	

جدول ۴- داده‌های شاخص‌های خروجی ناشی از کوئید ۱۹

Table 4- Data of output indicators caused by Covid-19

از ۱۴۰۱/۰۸/۰۹ تا ۱۴۰۰/۰۸/۳۰		از ۱۳۹۹/۰۹/۲۱ تا ۱۴۰۰/۰۸/۲۹		از ۱۳۹۸/۱۰/۱۱ تا ۱۳۹۹/۰۹/۲۰		کشور
نرخ مرگ و میر تأییدشده	نرخ موارد تأییدشده	نرخ مرگ و میر تأییدشده	نرخ موارد تأییدشده	نرخ مرگ و میر تأییدشده	نرخ موارد تأییدشده	
۷۸۰	۶۷،۰۲۲	۴۲۹	۳۴،۷۸۹	۳۳۶	۱۱،۲۷۹	کانادا
۱۹	۶،۱۸۶	۱	۲۳	۳	۶۷	چین
۱۰۶	۱،۵۰۳	۱۲۴	۲،۱۹۶	۶۷	۱،۱۷۰	مصر
۱۰۵۶	۲۱۲،۶۲۷	۱۶۰	۲۶،۶۰۱	۹۱	۵،۴۳۷	فنلاند
۱۴۵	۷،۱۶۵	۲۳۲	۱۷،۷۵۰	۱۰۳	۷،۰۷۸	هند
۷۵۷	۱۶،۸۰۳	۹۱۲	۵۸،۷۶۸	۶۱۰	۱۲،۷۷۰	ایران
۱۸۲۵	۳۱۵،۵۰۴	۱،۲۰۸	۵۳،۰۶۴	۱۰،۳۹	۲۹،۷۷۶	ایتالیا
۲۴۹	۱۶۵،۹۴۷	۱۲۶	۱۲،۳۹۴	۲۰	۱،۳۳۵	ژاپن
۵۸۹	۱۰۲،۲۳۹	۱،۱۰۳	۷۶،۳۷۰	۱۶۹	۲۰،۵۷۱	لبنان
۲۰۴	۶۸،۴۸۲	۹۰۱	۷۶،۲۶۳	۱۲	۲،۳۵۶	مالزی
۱،۱۹۳	۸۳،۸۵۸	۱،۵۱۷	۴۶،۸۸۲	۳۱۴	۱۷،۸۳۲	روسیه
۱۷۹	۳۰۹،۷۸۴	۱۱۲	۳۴،۸۹۴	۵	۱۰،۲۵۲	سنگاپور
۵۱۲	۴۸۵،۲۷۷	۵۲	۷،۱۹۳	۱۱	۷۷۳	کره جنوبی
۱،۲۷۵	۱۳۴،۹۱۸	۷۰۱	۸۴،۰۹۴	۷۵۵	۳۰،۳۳۰	سوئد
۴۹۳	۹۸،۳۴۲	۶۹۵	۸۰،۰۶۴	۱۸۴	۲۰،۳۷۲	ترکیه
۱،۷۰۲	۱۴۴،۹۵۹	۱،۴۶۰	۹۹،۸۶۴	۸۴۲	۴۲،۳۰۵	ایالات متحده

۴-۳- نتایج روش تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای

مدل تحلیل پوششی داده پنجره‌ای در محیط نرم‌افزار DEASolver در سه پنجره با طول ۱، ۲ و ۳ ایجاد و اجرا شد. پنجره ۱، بازه زمانی ۱۳۹۸/۱۰/۱۱ تا ۱۳۹۹/۰۹/۲۰ (سال ۲۰۲۰)، پنجره ۲، بازه زمانی ۱۳۹۹/۰۹/۲۱ تا ۱۴۰۰/۰۸/۲۹ (سال ۲۰۲۱) و همچنین پنجره ۳، بازه زمانی ۱۴۰۰/۰۹/۳۰ تا ۱۴۰۱/۰۸/۰۹ (سال ۲۰۲۲) را در بر می‌گیرد. نتایج این مدل برای ۱۶ کشور منتخب در پنجره‌های مختلف در قالب جدول با توجه به ورودی و خروجی‌های انتخاب شده، هر چه امتیاز کشوری بالاتر باشد، کارایی کمتری نسبت به دیگر کشورها در کنترل شیوع و مرگ و میر ناشی از کوئید-۱۹ دارد.

براساس نتایج طول پنجره ۱ واقع در جدول ۵ و شکل ۳ ملاحظه می‌شود که در دوره اول، چین با امتیاز ۰/۰۰۶ بیشترین کارایی و بعد از آن کره جنوبی، ژاپن، مالزی، مصر، فنلاند، هند و سنگاپور به نسبت کارایی‌های کمتری داشتند. کشورهای کانادا، ایران، ایتالیا، لبنان، روسیه، سوئد، ترکیه و ایالات متحده، همه با امتیاز یک ناکارترین عملکرد را نسبت به بقیه کشورها دارند. در دوره دوم، دوباره چین بیشترین کارایی را با امتیاز ۰/۰۰۰۹ نسبت به دیگر کشورها نشان می‌دهد. بعد از چین، کشورهای کره جنوبی، مصر، ژاپن، هند، فنلاند، سنگاپور و ترکیه به ترتیب بیشترین کارایی را در مقابله با کوئید-۱۹ به دست آوردند. کشورهای مالزی، کانادا، ایران، ایتالیا، لبنان، سوئد، ایالات متحده و روسیه همه با امتیاز یک، ناکارترین عملکرد را نسبت به بقیه کشورها دارند. در دوره سوم، باز هم چین، این بار با امتیاز ۰/۰۳، کمترین امتیاز را داراست و بیشترین کارایی عملکرد را نسبت به بقیه کشورهای

بررسی شده نشان می‌دهد. پس از چین، مصر، هند، ژاپن، مالزی و ترکیه کارایی بهتری نسبت به دیگر کشورها دارند. کشورهای کانادا، ایران، ایتالیا، لبنان، روسیه، سنگاپور، کره جنوبی، سوئد، ایالات متحده و فنلاند همه با امتیاز یک، ناکاراترین عملکرد را نسبت به بقیه کشورها دارند.

جدول ۵- نتایج کارایی نسبی عملکرد کشورها در سه پنجره با طول‌های مختلف

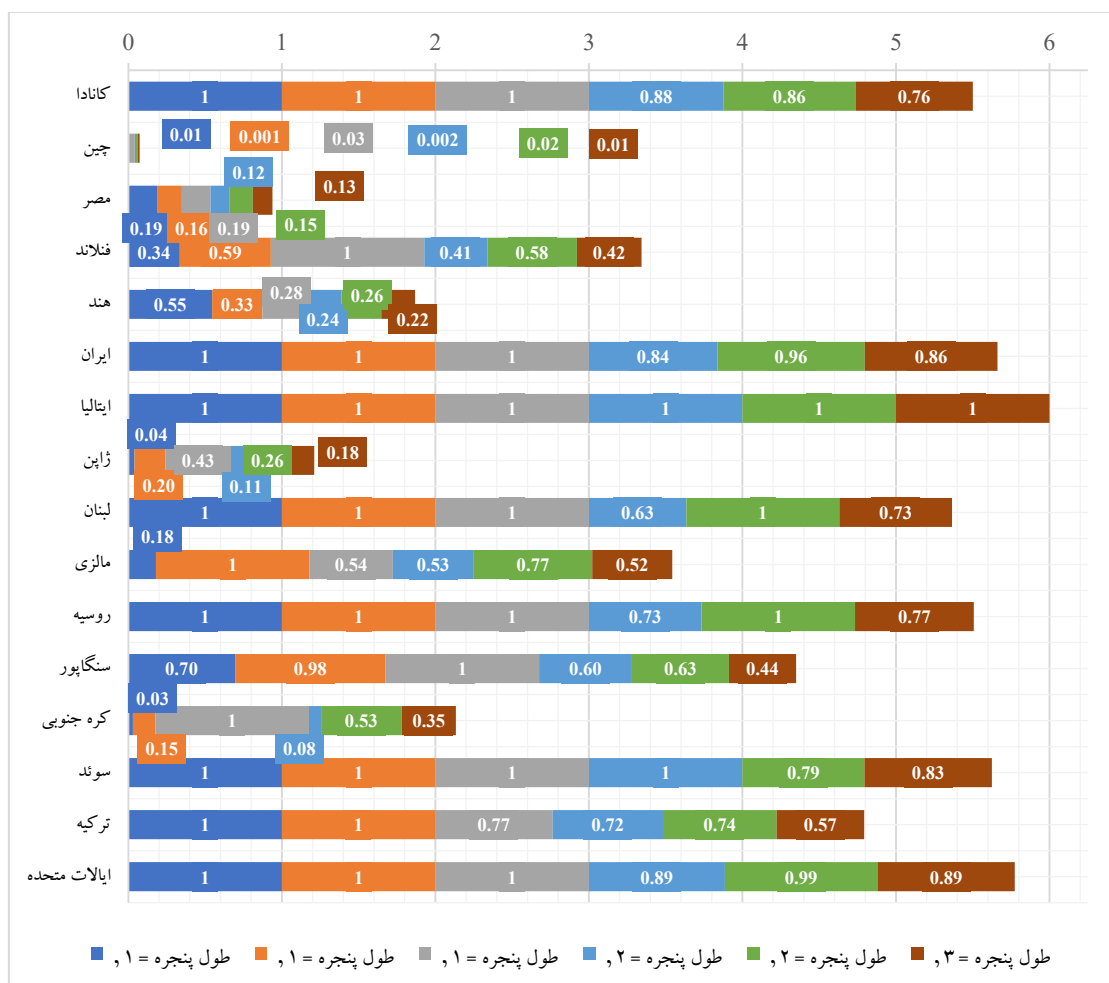
Table 5- The results of the relative performance of countries in three windows with different lengths

کشورها	طول پنجره ۱			طول پنجره ۲		طول پنجره ۳
	۲۰۲۲	۲۰۲۱	۲۰۲۰	۲۰۲۲-۲۰۲۱	۲۰۲۱-۲۰۲۰	۲۰۲۲-۲۰۲۱-۲۰۲۰
کانادا	۱	۱	۱	۰/۸۶۰	۰/۸۷۶	۰/۷۶۴
چین	۰/۰۳۴	۰/۰۰۱	۰/۰۰۶	۰/۰۱۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۳
مصر	۰/۱۸۷	۰/۱۶۱	۰/۱۸۸	۰/۱۵۰	۰/۱۲۴	۰/۱۲۹
فنلاند	۱	۰/۵۹۳	۰/۳۳۶	۰/۵۸۲	۰/۴۱۰	۰/۴۲۱
هند	۰/۲۷۶	۰/۳۲۷	۰/۵۴۶	۰/۲۶۰	۰/۲۳۹	۰/۲۲
ایران	۱	۱	۱	۰/۹۶۰	۰/۸۳۷	۰/۸۶۴
ایتالیا	۱	۱	۱	۱	۱	۱
ژاپن	۰/۴۲۷	۰/۲۰۲	۰/۰۴۱	۰/۲۵۸	۰/۱۰۹	۰/۱۷۶
لبنان	۱	۱	۱	۰/۹۹۷	۰/۶۳۵	۰/۷۳۴
مالزی	۰/۵۴۲	۱	۰/۱۸۰	۰/۷۷۱	۰/۵۲۸	۰/۵۲۱
روسیه	۱	۱	۱	۱	۰/۷۳۳	۰/۷۷۴
سنگاپور	۱	۰/۹۸۰	۰/۶۹۵	۰/۶۳۲	۰/۶۰۵	۰/۴۳۷
کره جنوبی	۱	۰/۱۴۷	۰/۰۳۰	۰/۵۲۵	۰/۰۷۹	۰/۳۵۳
سوئد	۱	۱	۱	۰/۷۹۵	۱	۰/۸۳
ترکیه	۰/۷۶۷	۰/۹۹۸	۱	۰/۷۴۱	۰/۷۱۸	۰/۵۷
ایالات متحده	۱	۱	۱	۰/۹۹۳	۰/۸۸۶	۰/۸۹۵

به طور کلی کشورهای کانادا، مصر، ایران، ایتالیا، لبنان، روسیه، سوئد و ایالات متحده در این سه دوره، نسبتاً عملکرد ثابتی داشتند. چین در دوره دوم، عملکرد بهتری نسبت به دوره اول و سوم نشان داد، در حالی که عملکرد کشور فنلاند در هر دوره نسبت به دوره قبلی بدتر شده است و کشورهای هند و ترکیه هر دوره، عملکرد کاراتری را نسبت به دوره گذشته خود ارائه کرده‌اند. کارایی عملکرد ژاپن و سنگاپور کاهش یافته و کشور مالزی با کارایی خوبی در دوره اول شروع کرده است، اما عملکرد بدی را در دوره دوم نشان داده و در دوره سوم به عملکرد نسبتاً مناسبی بازگشته است. کره جنوبی در دو دوره اول، عملکرد نسبتاً خوبی داشته است، اما در دوره سوم، ناکارآمدی نسبی دارد.

بر اساس نتایج طول پنجره ۲ در جدول ۵، در پنجره اول (شامل دوره‌های یک و دو)، چین با امتیاز ۰/۰۰۲ کارایی بیشتری را نشان داده است؛ پس از چین، کشورهای کره جنوبی، ژاپن، مصر، هند، فنلاند، مالزی، سنگاپور، لبنان، ترکیه، روسیه، ایران، کانادا و ایالات متحده به ترتیب کارایی نسبی دارند. کشورهای ایتالیا و سوئد نیز با امتیاز یک، ناکاراترین عملکرد را نسبت به بقیه کشورها داشتند. در پنجره دوم (شامل دوره‌های دوم و سوم)، باز هم چین بیشترین کارایی را با امتیاز ۰/۰۱۷ نسبت به دیگر کشورها نشان می‌دهد. بعد از آن به ترتیب کشورهای مصر، ژاپن،

هند، کره جنوبی، فنلاند، سنگاپور، ترکیه، مالزی، سوئد، کانادا، ایران، ایالات متحده و لبنان بیشترین کارایی عملکرد را دارند. کشورهای روسیه و ایتالیا نیز با امتیاز یک، ناکارترین عملکرد را نسبت به بقیه کشورها داشتند.



شکل ۳- مقایسه کلی نتایج روش تحلیل پنجره‌ای

Fig. 3- Overall comparison of the results of the window analysis method

به طور کلی کشورهای چین، ایتالیا، هند، ترکیه، کانادا، مصر و سنگاپور در هر پنجره عملکرد تقریباً یکسانی را با پنجره دیگر خود ارائه دادند، ولی ایتالیا در هر دو پنجره ناکار بوده است. فنلاند در پنجره دوم عملکرد ضعیفتری نسبت به پنجره اول خود نشان داده است، اما هر دو به نسبت کارا بودند. ایران، لبنان، مالزی، کره جنوبی و ایالات متحده نیز، کارایی کمتری را در پنجره دوم دارند و روسیه در پنجره دوم، به ناکارایی نسبی رسیده است، در حالی که سوئد در پنجره دوم از ناکارایی نسبی پنجره اول خارج می شود و عملکرد بهتری را ارائه می دهد. ژاپن نیز با وجود کمی افزایش ناکارایی در پنجره دوم، باز هم به نسبت عملکرد کارایی را داشته است.

بر اساس نتایج طول پنجره ۳ در جدول ۵، چین عملکرد کارتری را نسبت به دیگر کشورها دارد و پس از آن به ترتیب عملکرد کشورهای مصر، ژاپن، هند، کره جنوبی، فنلاند، سنگاپور، مالزی، ترکیه، لبنان، کانادا، روسیه، سوئد، ایران و ایالات متحده آمریکا، کارا بوده است. کشور ایتالیا با امتیاز یک، ناکارترین عملکرد را نسبت به بقیه کشورها دارد.

متوسط تمام نمره‌های داده شده برابر ۰/۶۴۳ است. این عدد نشان می‌دهد متوسط کارآمدی در مجموعه کشورهای انتخابی، پذیرفتنی است. با نگاه جداگانه به هر دوره در شکل ۳، نتیجه گرفته می‌شود زمانی که طول پنجره برابر یک است، بیشتر کشورها ناکارآمدند؛ یعنی هر سال این کشورها عملکرد بسیار خوبی را نشان نداده‌اند. زمانی که طول پنجره برابر با دو است، در بیشتر کشورها شاهد امتیازات بهتری هستیم، یعنی این کشورها در مجموع دو سال عملکرد بهتری نسبت به عملکرد یک‌ساله خود داشته‌اند. در طول پنجره برابر سه، عملکرد کشورها در مجموع این سه دوره مشاهده می‌شود و به ترتیب کشورهای چین، مصر، ژاپن، هند، کره جنوبی، فنلاند، سنگاپور، مالزی، ترکیه، لبنان، کانادا، روسیه، سوئد، ایران، ایالات متحده و ایتالیا، نمره‌های عملکردهای کاراتری را به دست آورده‌اند. با توجه به مقایسه انجام شده در این مقاله، کشور چین بهترین عملکرد را در کنترل بیماری و کشور ایتالیا بدترین عملکرد را داشته است.

۴-۴- نتایج روش شاخص بهره‌وری مالم کوئیست

مدل تحلیل پوششی داده مبتنی بر شاخص بهره‌وری مالم کوئیست در محیط نرم افزار DEASolver، با مقایسه «دوره اول و دوره دوم» و «دوره دوم و دوره سوم» ایجاد و اجرا شد. در جدول ۶ مقایسه «دوره اول و دوره دوم» و «دوره دوم و دوره سوم»، روش شاخص بهره‌وری مالم کوئیست نمایش داده شده است.

جدول ۶- مقایسه «دوره اول و دوم» و «دوره دوم و سوم» روش شاخص بهره‌وری مالم کوئیست

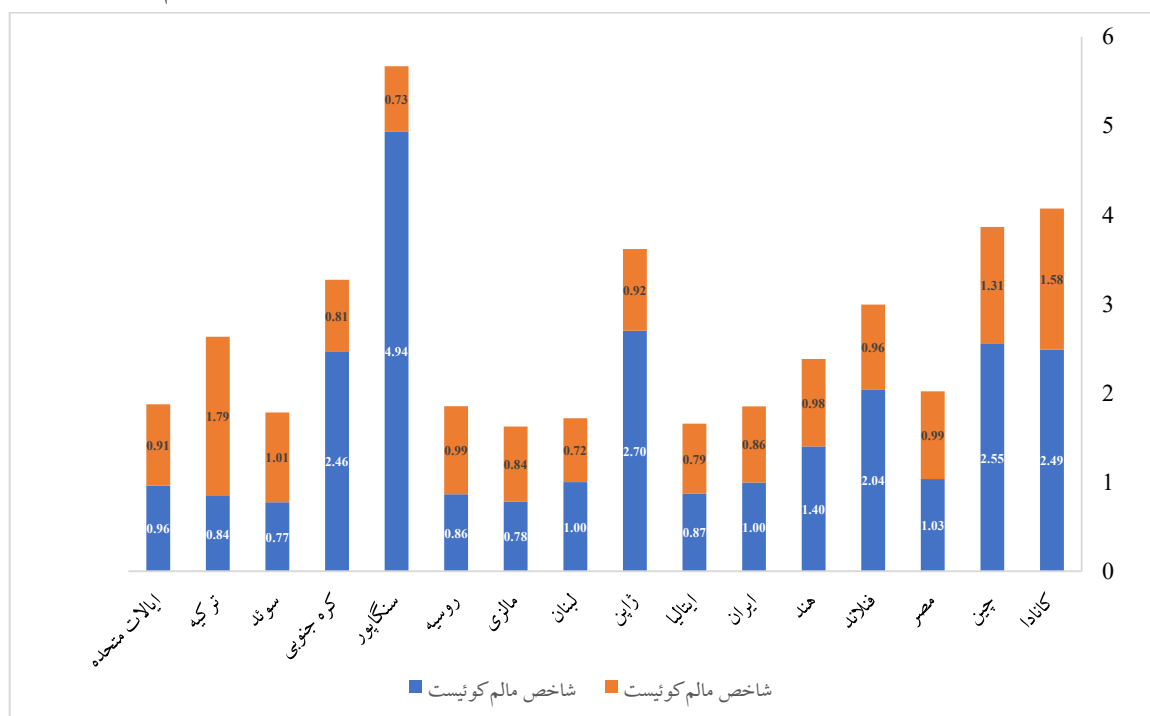
Table 6- Comparison of "first period and second period" and "second period and third period" of the Malmquist productivity index method

کشور	۲۰۲۰ به ۲۰۲۱	۲۰۲۱ به ۲۰۲۲
کانادا	۲/۴۸۸	افزایش
چین	۲/۵۵۱	افزایش
مصر	۱/۰۳۴	افزایش
فنلاند	۲/۰۳۶	افزایش
هند	۱/۴۰۲	افزایش
ایران	۰/۹۹۵	کاهش
ایتالیا	۰/۸۶۹	کاهش
ژاپن	۲/۷۰۰	افزایش
لبنان	۱/۰۰۰	افزایش
مالزی	۰/۷۸۳	کاهش
روسیه	۰/۸۶۳	کاهش
سنگاپور	۴/۹۳۸	افزایش
کره جنوبی	۲/۴۶۲	افزایش
سوئد	۰/۷۷۴	کاهش
ترکیه	۰/۸۴۴	کاهش
ایالات متحده	۰/۹۶۱	کاهش

با توجه به نتایج شاخص بهره‌وری مالم کوئیست، کانادا و چین در دوره دوم نسبت به دوره اول و در دوره سوم نسبت به دوره دوم، با افزایش ناکارآمدی روبه‌رو بوده‌اند. کشورهای مصر، فنلاند، هند، ژاپن، لبنان، سنگاپور و کره

جنوبی در دوره دوم نسبت به دوره اول، نمره‌ای بالاتر از یک گرفته‌اند که این نشان‌دهنده افزایش ناکارایی است؛ اما در دوره سوم نسبت به دوره دوم، عملکرد خود را بهبود داده و نمره‌های کمتر از یک، از این شاخص گرفته‌اند. سوئد و ترکیه در مقایسه دوره دوم به دوره اول، امتیازی کمتر از یک گرفته‌اند که این به معنای کاهش کارایی در عملکرد آنهاست؛ اما در مقایسه دوره سوم به دوم، این دو کشور افزایش ناکارآمدی را در عملکردشان نشان می‌دهند. ایران، ایتالیا، مالزی، روسیه و ایالات متحده آمریکا در هر دو مقایسه، بین دوره دوم و اول و بین دوره سوم و دوم، نمره‌ای کمتر از یک گرفته‌اند که این امر کاهش ناکارآمدی را در عملکردشان در هر سال نشان می‌دهد.

با توجه به نتایج به دست آمده و شکل ۴ که مجموع امتیازات دو مقایسه بخش قبلی را در قالب یک تصویر نمایش می‌دهد، سنگاپور بدترین نتیجه و کشورهای مالزی، ایتالیا، لبنان، سوئد، ایران، روسیه، ایالات متحده، مصر، هند، ترکیه، فنلاند، کره جنوبی، ژاپن، چین و کانادا به ترتیب نزولی، بهبود کارایی را در مقایسه با هم نشان داده‌اند.



شکل ۴- مقایسه کلی نتایج شاخص بهره‌وری مالم کوئست

Fig. 4- Overall comparison of Malmquist productivity index results

۴-۵- نتایج تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده

همان‌طور که گفته شد، سه متغیر ورودی جمعیت و تراکم جمعیت و درصد افراد بالای ۶۵ سال، متغیر کنترل‌نشده در نظر گرفته شد و تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده در دو حالت (۱) هر کشور در سه دوره جداگانه به عنوان واحد تصمیم‌گیری و (۲) هر سه دوره یک کشور با هم به عنوان واحدهای تصمیم‌گیری در نظر گرفته شد. به دنبال آن، مدل‌ها در محیط نرم‌افزار DEASolver ایجاد و پس از اجرا، نتایج مقایسه شد.

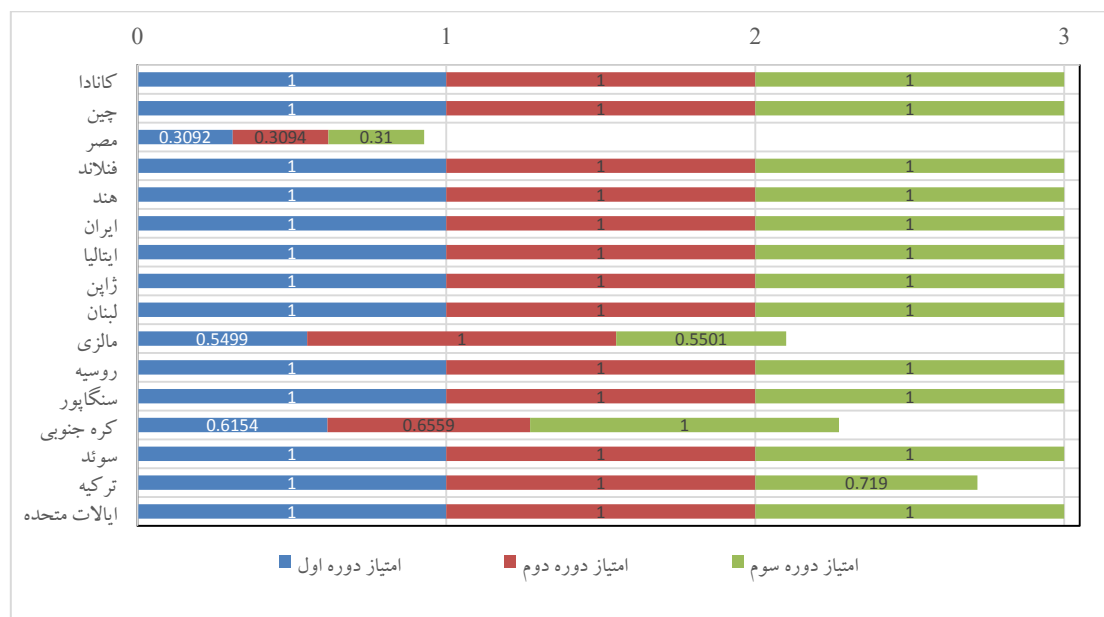
جدول ۷ و شکل ۵، نتایج مدل متغیرهای کنترل‌نشده را در حالت (۱) ارائه می‌کند. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در دوره اول، کمترین امتیازات مربوط به کشورهای مصر، مالزی و کره جنوبی است و دیگر کشورها

ناکارآمد بودند، در دوره دوم، برای مصر و کره جنوبی کمترین امتیازات محاسبه شده و در دوره سوم مصر، مالزی و ترکیه کارآمدترین کشورها بودند. شایان ذکر است که به دلیل دو خروجی نامطلوب مدل، امتیاز بالا، ناکارآمدی و امتیاز پایین کارآمدی را نشان می‌دهد.

جدول ۷- مقایسه دوره‌ای تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده

Table 7- Periodic comparison of DEA with uncontrolled input variables

کشور	امتیاز دوره اول	امتیاز دوره دوم	امتیاز دوره سوم	کشور	امتیاز دوره اول	امتیاز دوره دوم	امتیاز دوره سوم
کانادا	۱	۱	۱	لبنان	۱	۱	۱
چین	۱	۱	۰,۵۴۹۹	مالزی	۱	۱	۰,۵۵۰۱
مصر	۰,۳۰۹۲	۰,۳۰۹۴	۰,۳۱۰۰	روسیه	۱	۱	۱
فنلاند	۱	۱	۱	سنگاپور	۱	۱	۱
هند	۱	۱	۰,۶۱۵۴	کره جنوبی	۱	۰,۶۵۵۹	۱
ایران	۱	۱	۱	سوئد	۱	۱	۱
ایتالیا	۱	۱	۱	ترکیه	۱	۱	۰,۷۱۹۰
ژاپن	۱	۱	۱	ایالات متحده	۱	۱	۱



شکل ۵- مقایسه دوره‌ای کارایی کشورها از تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده

Fig. 5- Periodic comparison of countries' performance from DEA with uncontrollable input variables

همه کشورها در مقایسه با خودشان در سه دوره، امتیاز یک را کسب کردند؛ بنابراین با توجه به نتایج این مدل، نتایج دوره‌ای کشورها، تفاوت خاصی را در کارایی آنها نشان نمی‌دهد. جدول ۸، نتایج این مقایسه را ارائه می‌کند. رتبه هر کشور در هر دوره، در مقایسه با دیگر کشورها در سه دوره نیز نمایش داده شده است. این رتبه‌ها، به ترتیب کشورها را از ناکارآمد به کارآمدترین کشور مرتب می‌کنند. در مجموع، با توجه به این مقایسه، به ترتیب کشور مصر، لبنان، مالزی، ایران، ترکیه، کره جنوبی، سوئد، ژاپن و چین کارآمدتر از دیگر کشورها بوده‌اند.

جدول ۸- مقایسه کلی کارایی و رتبه کشورهای با تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده

Table 8- Overall comparison of countries' efficiency and ranking with DEA with uncontrollable input variables

رتبه	امتیاز	کشور - دوره	رتبه	امتیاز	کشور - دوره	رتبه	امتیاز	کشور - دوره
۱	۱	روسیه - دوره سوم	۱	۱	ایران - دوره دوم	۱	۱	کانادا - دوره اول
۱	۱	سنگاپور - دوره اول	۳۵	۰,۷۸۵۶	ایران - دوره سوم	۱	۱	کانادا - دوره دوم
۱	۱	سنگاپور - دوره دوم	۱	۱	ایتالیا - دوره اول	۱	۱	کانادا - دوره سوم
۱	۱	سنگاپور - دوره سوم	۱	۱	ایتالیا - دوره دوم	۱	۱	چین - دوره اول
۴۰	۰,۶۵۱۲	کره جنوبی - دوره اول	۱	۱	ایتالیا - دوره سوم	۳۲	۰,۹۹۸۴	چین - دوره دوم
۳۹	۰,۶۵۵۷	کره جنوبی - دوره دوم	۳۳	۰,۹۳۷۳	ژاپن - دوره اول	۱	۱	چین - دوره سوم
۱	۱	کره جنوبی - دوره سوم	۱	۱	ژاپن - دوره دوم	۴۸	۰,۳۴۵۰	مصر - دوره اول
۱	۱	سوئد - دوره اول	۱	۱	ژاپن - دوره سوم	۴۷	۰,۳۴۵۳	مصر - دوره دوم
۳۴	۰,۸۲۲۶	سوئد - دوره دوم	۴۵	۰,۳۹۶۱	لبنان - دوره اول	۴۶	۰,۳۴۶۰	مصر - دوره سوم
۱	۱	سوئد - دوره سوم	۱	۱	لبنان - دوره دوم	۱	۱	فنلاند - دوره اول
۳۸	۰,۷۳۰۸	ترکیه - دوره اول	۴۳	۰,۵۶۹۳	لبنان - دوره سوم	۱	۱	فنلاند - دوره دوم
۳۶	۰,۷۵۴۶	ترکیه - دوره دوم	۴۲	۰,۵۸۸۸	مالزی - دوره اول	۱	۱	فنلاند - دوره سوم
۳۷	۰,۷۳۱۰	ترکیه - دوره سوم	۱	۱	مالزی - دوره دوم	۱	۱	هند - دوره اول
۱	۱	ایالات متحده - دوره اول	۴۱	۰,۵۸۹۱	مالزی - دوره سوم	۱	۱	هند - دوره دوم
۱	۱	ایالات متحده - دوره دوم	۱	۱	روسیه - دوره اول	۱	۱	هند - دوره سوم
۱	۱	ایالات متحده - دوره سوم	۱	۱	روسیه - دوره دوم	۴۴	۰,۴۰۰۸	ایران - دوره اول

۵- بحث

نتایج مدل تحلیل پنجره‌ای نشان می‌دهد متوسط تمام نمره‌های داده‌شده برابر $۰/۶۴۳$ است. این عدد مشخص می‌کند متوسط ناکارآمدی در مجموعه کشورهای انتخابی، پذیرفتنی است. همچنین زمانی که طول پنجره برابر یک است، بیشتر کشورهای ناکارآمدند؛ یعنی در هر سال این کشورها، عملکرد خوبی را نداشته‌اند. هنگامی که طول پنجره دو است، در بیشتر کشورهای امتیازات بهتری دیده می‌شود، یعنی این کشورها عملکرد بهتری را نسبت به سال قبل خود داشته‌اند. عملکرد کشورهای در مجموع این سه دوره، براساس طول پنجره سه سنجش شد که به ترتیب نزولی کشورهای چین، مصر، ژاپن، هند، کره جنوبی، فنلاند، سنگاپور، مالزی، ترکیه، لبنان، کانادا، روسیه، سوئد، ایران، ایالات متحده و ایتالیا، نمره‌های عملکردهای بهتری را به دست آوردند. با توجه به مقایسه انجام گرفته براساس مدل اول، کشور چین بهترین عملکرد را در کنترل بیماری و کشور ایتالیا، بدترین عملکرد را داشته است. براساس نتایج روش شاخص بهره‌وری مالم کوئیست، سنگاپور کمترین رشد را داشته است و کشورهای مالزی، ایتالیا، لبنان، سوئد، ایران، روسیه، ایالات متحده، مصر، هند، ترکیه، فنلاند، کره جنوبی، ژاپن، چین و کانادا به ترتیب، در بهبود کارایی خود تلاش کرده‌اند. با توجه به نتایج تحلیل پوششی داده‌ای با متغیرهای ورودی کنترل‌نشده، به ترتیب مصر، مالزی و کره جنوبی عملکرد بهتری نسبت به دیگر کشورها داشته‌اند. این مدل به بیشتر کشورهای برچسب ناکارآمدی زده و به عبارت دیگر، تمایزی بین آنها قائل نشده است.

کشور ایران در مدل تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای، در سه نوع پنجره در نظر گرفته شده، نتایج متوسطی را نشان داد. این نتایج در سه دوره با هم مقایسه شدنی‌اند. ایران در هر سه دوره ناکارآمد بوده است. نتایج با طول پنجره

دو، اجازه می‌دهد کارایی کشور ایران در سال‌ها ۲۰۲۰ و ۲۰۲۱ با کارایی آن در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ مقایسه شود. این نتایج نشان می‌دهد ایران در پنجره اول، کارآمدتر از پنجره دوم و در طول پنجره سه، سومین کشور از نظر ناکارآمدی، بعد از ایتالیا و ایالات متحده است. همچنین در مدل شاخص بهره‌وری مالم کوئیست، ایران پنجمین کشور از لحاظ ناکارایی، بعد از کشورهای مالزی، ایتالیا، لبنان و سوئد است. در مدل متغیرهای کنترل‌نشده، تنها در مقایسه کلی است که ایران از ناکارایی خارج می‌شود و جزء کشورهای کارا در دوره‌ها اول و سوم قرار می‌گیرد.

پژوهش‌های مشابه گذشته با بهره‌گیری از انواع مختلف مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها و همچنین شاخص‌های دیگر، کارایی کشورهای گوناگون را بررسی کرده‌اند؛ از این رو اشتراکات این پژوهش‌ها به حدی نیست که بتوان نتایج این مقاله را با آنان مقایسه کرد و نتایج معنی‌داری را به دست آورد. با وجود این، برخی نتایج این مقاله، به صورت توصیفی با دیگر پژوهش‌ها مطابقت دارد و به یک مورد آن اشاره می‌شود؛ برای مثال، در مقاله حاضر کشورهای ایتالیا و آمریکا جزء ناکاراترین کشورها و کشور چین و با تحلیل پوششی داده‌ها با متغیرهای کنترل‌نشده، کشور مصر جزء کارآمدترین کشورها بوده است، در حالی که برومند و همکاران (۲۰۲۱) نیز به این نتیجه رسیدند که کشورهای ایتالیا و آمریکا با شاخص کارایی پایین، بدترین عملکرد و کشور چین عملکرد متوسط را دارد.

۶- نتیجه‌گیری

این مقاله کارایی کشورها را در مقابله با بیماری همه‌گیر کووید-۱۹، با استفاده از سه روش تحلیل پوششی داده‌های پنجره‌ای، شاخص مالم کوئیست و تحلیل پوششی داده‌ها با متغیرهای کنترل‌نشده بررسی کرد. جزییات نتایج سه مدل با هم متفاوت بود، اما باید توجه داشت که هر مدل مفهوم جداگانه‌ای را بررسی می‌کند. مدل تحلیل پنجره‌ای، کارایی هر پنجره را به‌طور جداگانه اندازه می‌گیرد و آن را با دیگر پنجره‌ها و کشورها مقایسه می‌کند، ولی شاخص مالم کوئیست در رشد هر دوره نسبت به دوره بعد تمرکز می‌کند. جمعیت، تراکم جمعیت، درصد جمعیت افراد بالای ۶۵ سال، مکمل ردیاب واکنش دولت‌ها به کووید-۱۹ دانشگاه آکسفورد، نسبت هزینه درمان به درآمد و متوسط درصد افراد واکسیناسیون نشده به‌عنوان ورودی‌ها و نرخ موارد تأییدشده ناشی از کووید-۱۹ و نرخ مرگ و میر تأییدشده ناشی از کووید-۱۹، خروجی در نظر گرفته شدند. ۱۶ کشور برای ارزیابی با دو مدل انتخاب شدند. این کشورها شامل کشورهای کانادا، چین، مصر، فنلاند، هند، ایران، ایتالیا، ژاپن، لبنان، مالزی، روسیه، سنگاپور، کره جنوبی، سوئد، ترکیه و ایالات متحده می‌شوند که انتخاب آنها با در نظر گرفتن تفاوت‌ها در ویژگی‌های مختلف جمعیتی، فرهنگی و جغرافیایی بوده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد کشوری مانند چین که بهترین نمرات کارایی را در مدل تحلیل پنجره‌ای می‌آورد، در شاخص مالم کوئیست، جزء کشورهای با بدترین نمره‌های کارایی است که این نشان‌دهنده رشد کمتر این کشور از هر دوره به دوره بعد نسبت به دیگر کشورهاست و یا کشوری مانند ایتالیا با اینکه امتیازش در شاخص مالم کوئیست، نشان‌دهنده پیشرفت است، با توجه به نتایج تحلیل پنجره‌ای، این رشد برای کارکردن عملکرد آن کافی نبوده است. همچنین نتایج مدل ورودی‌های کنترل‌نشده نشان داد کشور مصر، کاراترین کشور است.

انتخاب بازه‌های متفاوت و دقیق‌تر براساس وریانت‌های ویروس (آلفا، دلتا و امیکرون) و انتخاب گسترده‌تر کشورها نیز بررسی شدنی است. در نظر گرفتن میزان واکسیناسیون و یا نوع واکسن و مشاهده آثار آن به صورت اثر دینامیکی در مدل تحلیل پوششی داده‌ها نیز، یک جهت مناسب برای پژوهش است. توسعه مدل‌های تحلیل پوششی پنجره‌ای و شاخص مالم کوئیست برای متغیرهای کنترل‌نشده و به کارگیری آنها برای داده‌های این مقاله نیز، پیشنهاد می‌شود. همچنین انتخاب شاخص‌های ورودی و خروجی براساس اهداف دیگر در پژوهش‌های آتی، بررسی شدنی است.

References

- Banker, R. D., & Morey, R. C. (1986). Efficiency analysis for exogenously fixed input and output. *Operational Research*, 34, 513–521. <https://doi.org/10.1287/opre.34.4.513>.
- Bootsma, M.C., & Ferguson, N.M. (2007). The Effect of Public Health Measures on the 1918 Influenza Pandemic in US Cities. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104 (18), 7313-7314. <https://doi.org/10.1073/pnas.0611071104>.
- Boroumand, Y., Ghasemi, A., & Shirazi, M. (2021). The Efficiency of Governments' Policies to COVID-19: A Top-Down Approach Based on DEA Window Analysis. *Preprints*, 2021020101. <https://www.preprints.org/manuscript/202102.0101/v1>.
- Breitenbach, M. C., Ngobeni, V., & Ayte, G. (2020). The first 100 days of COVID-19 coronavirus—How efficient did country health systems perform to flatten the curve in the first wave? *Munich Personal RePEc Archive*, 8872. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/8872/>.
- Breitenbach, M. C., Ngobeni, V., & Aye, G. C. (2021). Global healthcare resource efficiency in the management of COVID-19 death and infection prevalence rates. *Frontiers in Public Health*, 9, 638481. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.638481>.
- Cooper, W. W., Seiford, L. M., & Tone, K. (2007). *Data envelopment analysis, a comprehensive text with models, applications, references and DEA solver software*. New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/b109347>.
- Correia, S., Luck, S., & Verner, E. (2022). Pandemics depress the economy, public health interventions do not: Evidence from the 1918 flu. *The Journal of Economic History*, 82(4), 917-957. <https://doi.org/10.1017/S0022050722000407>.
- Gourinchas, P.-O. (2020). Flattening the Pandemic and Recession Curves. In R. Baldwin, & B. Weder di Mauro (Eds.), *Mitigating the COVID Economic Crisis: Act Fast and Do Whatever It Takes*. *Economic Policy Research Press*, 31-39 <http://viet-studies.net/kinhte/COVIDEconomicCrisis.pdf#page=38>.
- Gaeta, G. (2020). Data analysis for the COVID-19 early dynamics in Northern Italy. arXiv preprint arXiv: 2003.02062. <https://arxiv.org/pdf/2003.02062.pdf>.
- Ghasemi, A., Boroumand, Y., & Shirazi, M. (2020). How do governments perform in facing COVID-19? *Munich Personal RePEc Archive*, 99844. <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/99844/>.
- International Water Association (IWA). (2021). IWA Country Classification. <https://iwa-network.org/wp-content/uploads/2015/12/2021-Country-Classification-Update.pdf>.
- Md Hamzah, N., Yu, M. M., & See, K. F. (2021). Assessing the efficiency of Malaysia health system in COVID-19 prevention and treatment response. *Health care management science*, 24, 273-285. <https://doi.org/10.1007/s10729-020-09539-9>
- Mohamed, S.R., Ramli, N., Mohd, A.H. (2014). Extended Non-controllable Variable Input-Output Oriented Model in DEA Analysis. *Proceedings of the International Conference on Science, Technology and Social Sciences (ICSTSS) 2012*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-287-077-3_67.

- Our World in Data. (2022). Coronavirus (COVID-19) Deaths. <https://ourworldindata.org/covid-deaths>.
- Peykani, P., Farzipoor Saen, R., Seyed Esmaeili, F. S., & Gheidar-Kheljani, J. (2021). Window Data Envelopment Analysis Approach: A Review and Bibliometric Analysis. *Expert Systems*, 38(7), e12721. <https://doi.org/10.1111/exsy.12721>.
- Salehzadeh, S. J., Hejazi, S. R., & Rezvan, M. T. (2023). An approach based slack variables in network data envelopment analysis to incorporate dynamic effects. *Iranian Journal of Management Studies*. <http://doi.org/10.22059/ijms.2023.340611.675017>.
- Tone, K. (2004). Malmquist Productivity Index. In: Cooper, W.W., Seiford, L.M., Zhu, J. (eds), Handbook on Data Envelopment Analysis. *International Series in Operations Research & Management Science*, 71. Springer, Boston, MA, 203-227. https://doi.org/10.1007/1-4020-7798-X_8.
- The World Bank Group. (2022). Population, total. https://data.worldbank.org/indicator/SP.POP.TOTL?end=2021&name_desc=false&start=2021.
- University of Oxford. (2022). Oxford Covid-19 Government Response Tracker (OxCGRT). <https://github.com/OxCGRT/covid-policy-tracker>.
- World Population Review. (2022). Countries by Population Density. <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/countries-by-density>.
- World Health Organization (WHO). (2022). Global Health Expenditure Database. <https://apps.who.int/nha/database/Select/Indicators/en>.
- World Health Organization (WHO). (2022). Daily cases and deaths by date reported to WHO. <https://covid19.who.int/data>.

-
- 1- Wuhan
 - 2- COVID-19
 - 3- World Health Organization
 - 4- Data Envelopment Analysis (DEA)
 - 5- Salehzadeh et al.
 - 6- Window Data Envelopment Analysis (WDEA)
 - 7- Malmquist Index (MI)
 - 8- DEA with non-controlable input variables
 - 9- Non-Pharmaceutical Interventions (NPI)
 - 10- Correia et al.
 - 11- Bootsma & Ferguson
 - 12- Gourinchas
 - 13- Md Hamzah et al.
 - 14- Network Data Data Envelopment Analysis (NDEA)
 - 15- Breitenbach et al.
 - 16- Ghasemi et al.
 - 17- Boroumand et al.
 - 18- Decision Making Unit (DMU)
 - 19- Input-oriented (IO)
 - 20- Output-oriented (OO)
 - 21- Peykani et al.
 - 22- Gaeta
 - 23- Malmquist
 - 24- Total Factor Productivity
 - 25- Frontier Technology
 - 26- Tone
 - 27- Catch-up
 - 28- Frontier-Shift
 - 29- Cooper et al.
 - 30- Banker & Morey

³¹- Non-controllable Variable Model

³²- Mohamed et al.

³³- University of Oxford

³⁴- The World Bank Group

³⁵- World Population Review

³⁶- Our World in Data

³⁷- International Water Association