



Development of a Multi-Period Network Data Envelopment Analysis Model under Uncertainty for Measuring the Relative Efficiency of the Operational Budget in the Information and Communications Technology (ICT) Sector in Iran

Alireza Torki

Kaveh Khalili Damghani *

Farhad Mehmanpazir

Amir Abbas Shojaei

Hamid Touhidi

Department of Chemistry, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Department of Chemistry, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Department of Chemistry, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Department of Chemistry, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Department of Chemistry, ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

Abstract

Measuring budget performance in different sectors of a country has always been one of the important issues and challenges faced by national planners at the macro level. In this study, considering the structure of the national budget in the Information and Communications Technology (ICT) sector, a network data envelopment analysis (DEA) approach is developed to measure budget efficiency within a multi-period framework. Furthermore, since some budget parameters are uncertain, fuzzy sets are employed to model uncertainty within the network DEA approach. The proposed models are applied using real data from Iran's ICT budget over a four-year period with annual resolution, under both deterministic and uncertain conditions. The results indicate that the proposed models are capable of measuring the annual relative efficiency of the ICT budget, decomposing overall efficiency into component efficiencies, and identifying inefficiencies of different components under both deterministic and uncertain conditions. This framework can assist macro-level budget planning in the country and provide a suitable foundation for developing optimal financial resource allocation models in the ICT sector.

Keywords:

National budget efficiency measurement; ICT budget efficiency; network data envelopment analysis; multi-period efficiency measurement; efficiency measurement under uncertainty.

* Corresponding Author: kaveh.khalili@iau.ac.ir

Received: ۲۰۲۵/۱۰/۰۳

Accepted: ۲۰۲۵/۱۲/۲۹

ISSN: ۳۱۱۵-۸۴۷۱ eISSN: ۳۱۱۵-۸۴۷۱



به علمی پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار
فصلنامه پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار - سال دوم - شماره ۴ - زمستان ۱۴۰۴

توسعه یک مدل تحلیل پوششی شبکه ای چند دوره ای در حالت عدم قطعیت برای اندازه گیری کارایی نسبی بودجه عملیاتی در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات در کشور ایران

علیرضا ترکی

کاوه خلیلی دامغانی *

فرهاد مهمانی‌نیر

امیرعباس شجاعی

حمید توحیدی

گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

چکیده

اندازه گیری عملکرد بودجه در بخش های مختلف کشور، همواره یکی از مسایل و چالش های مهم برنامه ریزان کشور در سطح کلان بوده است. در این تحقیق با توجه به ساختار بودجه کشور در بخش ارتباطات و فن آوری اطلاعات رویکرد تحلیل پوششی داده های شبکه ای برای اندازه گیری کارایی بودجه در یک قالب چند دوره ای توسعه داده می شود. همچنین با توجه به اینکه برخی از پارامترهای بودجه غیرقطعی می باشند، از مجموعه های فازی برای مدلسازی عدم قطعیت در رویکرد تحلیل پوششی داده های شبکه ای استفاده می شود. مدل های پیشنهادی با استفاده از داده های واقعی بودجه ارتباطات و فن آوری اطلاعات کشور ایران در یک دوره ۴ ساله با سطح دقت سالیانه در حالت قطعی و غیرقطعی بکارگیری خواهد شد. نتایج حاکی از آن است که مدل های پیشنهادی توانایی اندازه گیری کارایی نسبی سالیانه بودجه ارتباطات و فن آوری اطلاعات کشور و همچنین تفکیک کارایی کل به کارایی اجزا و اندازه گیری ناکارایی اجزای مختلف را در حالت قطعی و غیرقطعی دارند. این الگو می تواند به برنامه ریزی سطح کلان برای بودجه کشور کمک کرده و زمینه سازی مناسبی را برای توسعه مدل های تخصیص بهینه منابع مالی در بخش ارتباطات و فن آوری اطلاعات را انجام دهد.

واژگای کلیدی: اندازه گیری کارایی بودجه کشور، کارایی بودجه ارتباطات و فن آوری اطلاعات، تحلیل پوششی داده ای شبکه، اندازه گیری کارایی چند دوره ای، اندازه گیری کارایی در شرایط عدم قطعیت

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۷/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

ISSN: 3115-8471 eISSN: 3115-8471

۱. مقدمه

در سال‌های اخیر، با گسترش فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات و نقش فزاینده آن‌ها در توسعه زیرساخت‌های ملی، تخصیص و ارزیابی بودجه در این بخش به یکی از دغدغه‌های اصلی برنامه‌ریزان کلان کشور تبدیل شده است. بودجه‌ریزی در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات نه تنها باید پاسخگوی نیازهای عملیاتی و توسعه‌ای باشد، بلکه باید با معیارهای عملکردی قابل سنجش و مبتنی بر داده‌های واقعی همراه گردد. با توجه به پیچیدگی ساختار بودجه، تعدد شاخص‌های عملکردی، و عدم قطعیت در برخی پارامترهای زمانی، استفاده از روش‌های ناپارامتریک برای اندازه‌گیری کارایی مالی این بخش ضروری به نظر می‌رسد.

در این راستا، تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به عنوان یک ابزار قدرتمند مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی، امکان سنجش کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیرنده را فراهم می‌سازد. با توسعه مدل‌های شبکه‌ای و چنددوره‌ای DEA، می‌توان تعاملات داخلی زیربخش‌ها و تغییرات عملکردی در طول زمان را به‌طور دقیق تحلیل کرد. در این مقاله، مدلی ارائه می‌شود که هدف آن توسعه یک مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای چنددوره‌ای در حالت فازی برای اندازه‌گیری کارایی بودجه عملیاتی در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات کشور ایران است. ضرورت انجام این تحقیق از آن‌جا ناشی می‌شود که تاکنون رویکردی علمی، کمی و مدون برای ارزیابی عملکرد بودجه‌ای این بخش در کشور وجود نداشته است. بودجه‌ریزی سنتی، اغلب مبتنی بر چانه‌زنی یا شاخص‌های کیفی بوده و در مواجهه با ساختارهای پیچیده و چندلایه‌ای، کارایی لازم را نداشته است. همچنین، عدم توجه به عملکرد دوره‌های گذشته در تخصیص منابع آتی، منجر به ناکارآمدی در مصرف بودجه و عدم تحقق اهداف توسعه‌ای شده است. این تحقیق تلاش دارد تا با مدلسازی دقیق، بستری برای تصمیم‌گیری مبتنی بر عملکرد فراهم آورد.

سؤالات اصلی تحقیق در این مقاله عبارت‌اند از: چگونه می‌توان ساختار شبکه‌ای چنددوره‌ای مناسب برای اندازه‌گیری کارایی بودجه در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات طراحی کرد؟ چگونه می‌توان عدم قطعیت موجود در داده‌های بودجه‌ای را با استفاده از مجموعه‌های فازی مدلسازی نمود؟ روش حل مناسب برای مدل تحلیل پوششی داده‌ای چند دوره‌ای شبکه‌ای فازی چیست؟ مدل پیشنهادی تا چه حد توانایی تفکیک کارایی کل به اجزای تشکیل‌دهنده و شناسایی ناکارایی‌های جزئی را دارد؟ پاسخ به این سؤالات می‌تواند مسیر جدیدی برای ارزیابی و بهبود عملکرد مالی در سطح کلان کشور فراهم سازد.

اهداف این تحقیق شامل طراحی ساختار شبکه‌ای چنددوره‌ای برای مدلسازی بودجه، مدلسازی عدم قطعیت در داده‌های ورودی و خروجی، و توسعه یک مدل DEA فازی برای اندازه‌گیری کارایی فنی بودجه در طول یک دوره چهارساله است. این مدل با استفاده از داده‌های واقعی بودجه‌ای کشور ایران در بخش ICT، قابلیت تحلیل عملکرد سالیانه و مقایسه کارایی زیربخش‌ها را فراهم می‌سازد.

نوآوری‌های این تحقیق در دو سطح نظری و کاربردی قابل توجه‌اند. از منظر نظری، توسعه مدل DEA شبکه‌ای چنددوره‌ای در حالت فازی برای ارزیابی عملکرد بودجه‌ای، گامی نو در ادبیات تحقیق محسوب می‌شود. از منظر کاربردی، این مدل می‌تواند به عنوان ابزاری راهبردی برای تصمیم‌گیرندگان و برنامه‌ریزان بودجه‌ای کشور

در تخصیص بهینه منابع، افزایش شفافیت مالی، و ارتقاء بهره‌وری در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات مورد استفاده قرار گیرد.

در ادامه مقاله، مرور ادبیات و پیشینه پژوهش، ساختار مدل پیشنهادی، روش‌شناسی تحقیق، تحلیل داده‌ها و نتایج حاصل از اجرای مدل ارائه خواهد شد. این تحقیق، زمینه‌ساز توسعه مدل‌های تخصیص منابع و تعیین اهداف در بخش ICT کشور ایران خواهد بود.

مروری بر پیشینه و ادبیات تحقیق

۲.۱ روشهای اندازه‌گیری کارایی

DEA یک روش برنامه‌ریزی خطی ریاضی بر پایه مفهوم کارایی فنی است که میتواند برای اندازه‌گیری و تحلیل کارایی فنی در واحد‌ها و موسسات مختلف از قبیل واحدهای تولیدی و غیر تولیدی، عمومی و خصوصی، و همچنین موسسات غیر انتفاعی بکار گرفته شود. DEA یک روش ناپارامتریک است که سطح کارایی را با استفاده از برنامه‌ریزی خطی برای هر واحد تصمیم‌گیری محاسبه کرده و همچنین کارایی DMU ها را با هم و با بهترین واحد مقایسه میکند. واحدهایی که روی مرز کارایی قرار دارند را کارا و واحدهایی که زیر مرز کارایی قرار دارند را ناکارا گویند. این روش اطلاعات بیشتری برای کارا شدن واحدهای ناکارا نیز ارائه میدهد.

مدل‌های اصلی DEA به دو دسته CCR و BCC تقسیم میشوند که هر کدام را میتوان به دو رویه ورودی محور و خروجی محور مورد بررسی قرار داد. هر کدام از این رویه‌ها نیز به دو طریق قابل حل میباشند، مدل اولیه حداکثر سازی به روش مضربی و مدل ثانویه حداقل سازی به روش پوششی معروف است.

۲.۲ مدل CCR

در این مدل فرض میشود که تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده یا DMU برابر n میباشد. که این واحدها m نوع ورودی را گرفته و به S نوع خروجی تبدیل میکنند. با استفاده از این نهاده‌ها و ستاده‌ها میتوان کارایی فنی DMU_j را با استفاده از CCR محاسبه کرد. مدل اولیه CCR و قیدهای آن بصورت زیر خواهد بود:

$$\begin{aligned} \text{Max} &= \sum_{r=1}^S U_{ro} Y_{ro} \\ \sum_{i=1}^m V_{io} X_{io} &= 1 \\ \sum_{i=1}^m U_{ij} Y_{ij} - \sum_{i=1}^m V_{ij} X_{ij} &\leq 0 \\ u_r &\geq 0 \\ v_i &\geq 0 \end{aligned} \quad (1)$$

هدف از این مدل محاسبه کارایی DMU_o است، و V_i وزنهای ورودی و U_r وزنهای خروجی میباشند.

با حل این مدل ضرایب ورودی و خروجی طوری محاسبه میشوند که نسبت کارایی DMU_0 به حداکثر برسد. به واسطه محدودیت های مدل مقدار بهینه تابع هدف حداکثر یک خواهد بود. مدل CCR از دو رویه ورودی محور و خروجی محور محاسبه میشود. در مدل ورودی محور با کاهش ورودی و در مدل خروجی محور با افزایش خروجی میزان کارایی افزایش میابد. مدل CCR بازدهی ثابت به مقیاس را مورد بررسی قرار میدهد، ولی این فرض در بسیاری از مؤسسات و شرکتهای قابل اتکا نیست، و از این رو ضرورت تبیین مدلی با فرض بازدهی متغیر نسبت به مقیاس BCC برای داشتن دید واقع بینانه تری از وضعیت احساس میشود. لذا بنکر، چارنز و کوپر در سال ۱۹۸۴، با اضافه کردن قید تحدب به مجموعه قیود مدل CCR، بازدهی متغیر نسبت به مقیاس را وارد مدل نمودند.

۲.۳ تحلیل پوششی داده های چند دوره ای

تعیین الگوی بهینه بهره‌برداری از منابع در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات، از اهمیت راهبردی برخوردار است. با استفاده از چنین الگویی می‌توان حداکثر ارزش افزوده حاصل از مصرف میزان مشخصی از منابع زیرساختی، انسانی و فناورانه را به دست آورد یا حداقل هزینه لازم برای تحقق ترکیب خاصی از خدمات ارتباطی و دیجیتال را برآورد کرد. برنامه‌ریزی ریاضی یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای دستیابی به این الگوهای بهینه است. با این حال، استفاده از مدل‌های خطی کلاسیک تنها قادر به ارائه برنامه‌ریزی بهینه برای یک دوره زمانی ثابت است. در این مطالعه، روشی در چارچوب برنامه‌ریزی ریاضی چند دوره ای ارائه می‌شود که قادر است عدم قطعیت در دوره‌های زمانی مختلف را در برنامه‌ریزی عملکردی بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات لحاظ کند.

سو یانگ سو^۱ و یونسنگ کیم^۲ در سال ۲۰۱۲، یک سیستم ارزیابی استادان را مورد مطالعه قرار میدهد، انواع مختلفی از سیستم های تشویقی در بسیاری از سازمان ها مورد استفاده قرار میگیرد، اما این سیستم ها اغلب منصفانه عمل نمیکنند. این مقاله، دو مشکل عمده در این سیستم تشویقی آکادمیک مورد بررسی قرار میگیرد: ۱. نادیده گرفتن جنبه های ورودی ۲. تمرکز بر عملکرد کوتاه مدت. در این مقاله DEA با کارایی بسیار بالا و خروجی چند دوره ای را مورد استفاده قرار داده است. در این مقاله نشان داده شد که عوامل ورودی و روند زمان نتایج، باید در ارزیابی عملکرد منصفانه گنجانده شود.

جعفریان مقدم^۳ و قصیری^۴ در سال ۲۰۱۰، یک مدل DEA چند هدفه فازی دینامیک را ارائه کردند. DEA یک ابزار قدرتمند مدیریتی برای ارزیابی کارایی نسبی DMU هاست، که امروزه مدل DEA چند هدفه، یکی از روشهای جذاب برای ارزیابی عملکرد جنبه های کیفی و کمی، در محیط ایستا است، زیرا نقاط ضعفی

So Young Sohn^۱
Yoonseong Kim^۲
Ahmad Reza Jafarian-Moghaddam^۳
Keivan Ghoseiri^۴

در DEA تک هدفه وجود دارد مانند تحلیل عملکرد تک بعدی. در این مقاله داده‌ها همواره در حال تغییرند. نویسندگان در این مقاله، ارزیابی عملکرد راه آهن را به عنوان مثال عددی برای ارزیابی این مدل ارائه کردند. گلانی^۱ در سال ۱۹۹۸، اولین کسی بود که مدل DEA چند هدفه را ارائه کرد. وی یک روال برنامه ریزی خطی چند هدفه^۲ (MOLP) برای انتخاب خروجی مورد نظر با توجه به ورودی‌های داده شده ارائه داد تا کارایی DEA کلاسیک را افزایش دهد.

تاناسولیس^۳ و دایسون^۴ در سال ۱۹۹۲، چند مدل DEA را بسط دادند تا اولویت بهبود ورودی - خروجی مورد نظر را بدست آورند. اما آنها نتوانستند حالتی را که افزایش خروجی و یا کاهش ورودی مورد نظر بود را مدلسازی کنند.

ژو^۵ در سال ۱۹۹۶ و چن^۶ در سال ۲۰۰۵، یک مجموعه غیر شعاعی از مدل DEA بر اساس اولویت را توسعه دادند که برای رسیدن به هدف اولویت‌های کاربران را در الگوهای دیگر ترکیب میکند. نسبت خروجی به ورودی در مدل DEA با ساختار اولویت میتواند بزرگتر، کوچکتر و یا مساوی یک باشد. چن همچنین نشان داد که مدل MOLP DEA گلانی میتواند بهبود یابد و توانایی این را دارد که به مدل DEA چند معیاره و چند محدودیتی تبدیل شود.

جورو^۷ و همکاران در سال ۱۹۹۸، شباهت ساختاری بین DEA و MOLP را مقایسه کرده و نشان دادند که فرمول MOLP انعطاف پذیری بیشتری برای ارزیابی کارایی DMU ها در حل مسائل DEA حاصل میکند.

لی^۸ و ریوس^۹ در سال ۱۹۹۹، از رویکرد چند معیاره برای غربال هر چه بیشتر DMU های کارا در معیارهای مختلف استفاده کرده است.

چی یانگ^{۱۰} و تزنگ^{۱۱} در سال ۲۰۰۰، از رویکرد برنامه ریزی فازی چند هدفه^{۱۲} (FMOP) استفاده کردند تا وزنها را برای DMU ها محاسبه کنند.

وونک^{۱۳} و همکاران در سال ۲۰۰۷، یک مدل هم ارزی بین DEA و مدل MOLP قرار دادند که نشان میداد چگونه یک مسئله DEA میتواند فقط بوسیله تبدیل به فرمول MOLP با تعامل حل شود. سپس

Golany^۱Multi-Objective Linear Programming^۱Thanassoulis^۲Dyson^۳Zhu^۴Chen^۵Joro, Korhonen, and Wallenius^۶Li^۸Reeves^۹Chian^{۱۰}Tzeng^{۱۱}Fuzzy Multiple Objective Programming^{۱۲}Wong, Luque, and Yang^{۱۳}

تصمیم گیرنده (DM) میتواند در طول مرز کارایی جستجو کند تا در نقطه ترجیح داده شده قرار گیرد، جاییکه تخصیص منابع و سطح هدف بر اساس سطح DM تنظیم میشود.

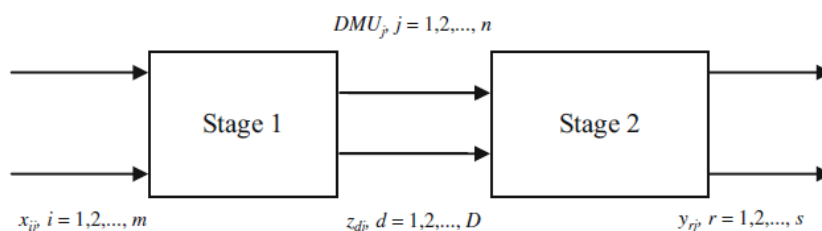
سویوشی^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۵، در مقاله ای عنوان کردند که دو نوع مختلف ورودی (متغیرهای ورودی و شبه ورودی) در تحلیل پوششی داده های دینامیکی کاربرد دارد. یک ویژگی منحصر به فرد از شبه ورودی این است که آنها به عنوان خروجی مرحله جاری هستند در حالیکه به عنوان ورودی مرحله بعد نیز در نظر گرفته میشوند. در این مقاله مفهوم بازده به مقیاس در تحلیل پوششی داده های دینامیکی نیز در نظر گرفته شده است.

امیر تیموری در سال ۲۰۰۶، در مقاله ای عنوان کرد که هدف ارائه یک مدل تحلیل پوششی داده ها با کارایی دینامیکی درآمد است. تحلیل پوششی داده های دینامیکی نه تنها کارایی را در تمام دوره ها اندازه گیری میکند، بلکه میتواند کارایی را برای هر دوره نیز حساب کند. نشان داده شده است که کارایی یکپارچه در تمام دوره ها ترکیب محدب کارایی دینامیکی هر دوره است. کاربرد خاص آن مربوط به شرکتهای گاز ایران است.

۲.۴ تحلیل پوششی داده های دومرحله ای

مدل های تحلیل پوششی داده های به ۴ دسته زیر طبقه بندی می شود. روش استاندارد تحلیل پوششی داده ها، روش تجزیه کارایی، روش تحلیل پوششی داده های شبکه ای و روش تئوری بازی ها. (وید.د. کوک و همکاران، ۲۰۱۰)^۲

فرآیند یا ساختار شبکه دو مرحله ای عمومی برای هریک از n مجموعه واحدهای تصمیم گیرنده به صورت زیر است:



شکل ۱. فرایند دومرحله ای (وید.د. کوک و همکاران، ۲۰۱۰)

از علائم چن^۳، زو^۴، کائو^۵ و هوانگ^۶ استفاده می کنیم. فرض می کنیم DMU_j ، m ورودی (X_{ij}) برای مرحله اول و d خروجی (Z_{dj}) برای این مرحله دارد. این d خروجی ها ورودی های مرحله دوم می شوند، و به عنوان

^۱ Toshiyuki Sueyoshi et al.

^۲ Wade D. Cook et al

chen^۳

zhu^۴

kao^۵

hwang^۶

مقادیر میانی اندازه‌گیری می‌شوند. Y_{Tj} خروجی‌های مرحله دوم هستند. برای هر DMUj از مدل تحلیل پوششی داده‌های چارنر و همکاران با بازگشت به مقیاس ثابت استفاده شده است.

$$e_j^* = \frac{\sum_{r=1}^s u_r y_{rj}}{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}} \quad (2)$$

$$e_j^1 = \frac{\sum_{d=1}^D w_d z_{dj}}{\sum_{i=1}^m v_i x_{ij}} \quad (3)$$

e^1 مقدار کارایی مرحله اول و e^2 مقدار کارایی مرحله دوم را محاسبه می‌کند.

$v_i, w_d, \tilde{w}_d, u_r$ وزن‌های غیر منفی ناشناخته هستند، که $w_d, \tilde{w}_d$ می‌توانند با هم برابر باشند. (وید د. کوک و همکاران، ۲۰۱۰)^۱

۲.۴.۱ مدل ریاضی تحلیل پوششی داده‌های دومرحله‌ای

مدل ریاضی زیر، مدل دومرحله‌ای همکارانه کائو^۲ و هوانگ^۳ است. هدف اصلی این مدل افزایش کارایی کل است به صورتی که کارایی هیچ یک از زیر واحدهای تصمیم‌گیرنده بیشتر از یک نشود.

$$\text{Max } \theta = \sum_{r=1}^s u_r y_{r0}$$

$$\text{s.t. } \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} - \sum_{i=1}^m v_i x_{ij} \leq 0, \forall j$$

$$\sum_{r=1}^s u_r y_{rj} - \sum_{d=1}^D w_d z_{dj} \leq 0, \forall j$$

$$u_r \geq 0, v_i \geq 0, w_d \geq 0 \quad (4)$$

۲.۵ تحلیل پوششی داده‌های فازی^۴

در DEA معمولی، تمام داده‌ها قطعی است. با این حال، مقادیر مشاهده شده داده‌های ورودی و خروجی در مسائل واقعی زندگی اغلب مبهم است. منطق فازی و مجموعه فازی می‌تواند اطلاعات مبهم و نامشخص در DEA را تصمیم‌گیری کند. نظریه مجموعه‌های فازی تئوری است که اجازه می‌دهد در برآوردهای مبهم در محیط‌های نامعلوم مورد استفاده قرار می‌گیرد (زیمرمن، ۱۹۹۶-زاده، ۱۹۷۸).^۵

^۱ Wade D. Cook et al

Kao ^۲

Hwang ^۳

Fuzzy Data Envelopment Analysis^۴

Zadeh, ۱۹۷۸, Zimmermann, ۱۹۹۶^۵

تعدا زیادی از مدل های تحلیل پوششی داده ها در محیط های فازی توسعه داده شده اند. هوگارد برای اندازه گیری کارایی در تحلیل پوششی داده ها از فواصل بهبود عملکرد فازی استفاده کرد و با استفاده از داده های فازی تصمیم گیرنده را نشان داد. امتیازات فازی به تصمیم گیر این اجازه را می دهد که از امتیازات کارایی فنی در ترکیب با دیگر منابع در دسترس اطلاعات عملکرد مانند انتخاب های کارشناسان، چهره های کلیدی و ... استفاده کند^۱ (هوگارد، ۱۹۹۹).

کائو و لیو روشی برای اندازه گیری کارایی DMU ها با مشاهدات فازی ارائه کردند. این مقاله رویکردی برای اندازه گیری کارایی واحدهای تصمیم گیر با مشاهدات فازی توسعه داده است. ایده اصلی تبدیل مدل DEA فازی به مدل سنتی DEA با رویکرد برش آلفا بوده است^۲ (کائو و لیو، ۲۰۰۰).

گوا و تاناکا یک مدل فازی DEA برای حل مسائل ارزیابی کارایی با ورودی و خروجی فازی پیشنهاد دادند. آنها در مقاله خود بیان داشتند که در واقع DEA روشی غیر پارامتری برای ارزیابی مجموعه کارایی ها با ورودی و خروجی قطعی است. در حقیقت در دنیای واقعی ورودی و خروجی ها با تغییراتی همراه هستند. در همین راستا بر طبق مدل CCR، مدل DEA فازی برای مسائل ارزیابی عملکرد با ورودی و خروجی فازی ارائه شده است. همچنین آنها بسطی از مدل DEA فازی برای مقایسه با تحلیل رگرسونی انجام داده اند^۳ (گوا و تاناکا، ۲۰۰۱). کائو و لیو بدون دانستن دقیق توابع عضویت فازی کارایی یک روش را برای رتبه بندی اندازه گیری کردند. آن ها با در نظر گرفتن اینکه زمانی که بعضی از مشاهدات فازی هستند در نتیجه کارایی نیز فازی خواهد شد، روشی برای رتبه بندی امتیازات کارایی فازی بدون در نظر گرفتن مقدار دقیق تابع عضویت بیان داشتند. آن ها همچنین از روش مجموعه ماکزیمم و مینیمم زمانی که تابع عضویت ها شناخته شده هستند، استفاده کردند. رتبه بندی کارایی با حل مجموعه مسائل غیر خطی برای هر واحد تصمیم گیر انجام شده است و برای پیاده سازی این مدل از مشاهدات فازی ۲۴ کتابخانه در دانشگاه های تایوان استفاده شده است^۴ (کائو و لیو، ۲۰۰۳).

لرتوراسیریکول و همکاران Fuzzy DEA را به صورت مدل برنامه ریزی خطی فازی ارائه کردند. در این مقاله نشان داده شده است که مدل های DEA فازی مثل برنامه ریزی خطی فازی عمل می کنند که معمولاً با کمک روش های رتبه بندی مجموعه های فازی حل می شوند. به عنوان گزینه های پیشنهادی این رویکرد به صورت محدودیت هایی با حالت های فازی تعریف شده اند. این رویکرد مدل DEA فازی را به مدل DEA احتمالی با اندازه گیری های فازی تبدیل کرده است^۵ (لرتوراسیریکول و همکاران، ۲۰۰۳).

Hougaard,^{۱۹۹۹}

Kao and Liu,^{۲۰۰۰}^۲

Guo and Tanaka,^{۲۰۰۱}^۳

^۴ Kao and Liu,^{۲۰۰۴}

Lertworasirikul et al.,^{۲۰۰۳}^۵

لئون و همکاران^۱ (۲۰۰۳) با استفاده از روش‌های رتبه‌بندی بر اساس مقایسه برش‌های آلفا^۲ مدل BCC را توسعه دادند. ژو^۳ (۲۰۰۳) مقاله‌ای مروری بر تمامی زمینه‌های کار شده DEA ارائه کرد. جهان‌شاهلو و همکاران (۲۰۰۸) یک روش برای ارزیابی و رتبه‌بندی اعمال محدودیت‌های وزن در مسائل تحلیل پوششی داده‌ها با ورودی و خروجی فازی پیشنهاد کردند. کارسک^۴ (۲۰۰۸) یک مدل DEA معرفی کرد که می‌تواند برای داده‌های قطعی، ترتیبی و فازی در ارزیابی سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر باشد. ظرافت‌انگیز و همکاران (۲۰۱۰) یک مدل برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیر تحت عدم قطعیت با استفاده از سطح‌های آلفا پیشنهاد کردند. حاتمی‌ماربینی و همکاران (۲۰۱۱) یک بررسی جامع از روش فازی DEA ارائه کردند. مقاله را با چهار دسته اصلی، رویکرد تلورانسی، رویکرد مبتنی بر سطح آلفا، رویکرد رتبه‌بندی فازی و رویکرد احتمالی تقسیم‌بندی کردند. مدل کائو و لیو^۵ (۲۰۱۱) یک روش جدید برای فرموله کردن مسائل دو مرحله DEA فازی پیشنهاد دادند. آنها از دو سطح بهینه‌سازی برای حل مدل استفاده کردند.

۲.۶ شکاف تحقیقاتی

با توجه به بررسی ادبیات و پیشینه تحقیق، نوآوری تحقیق حاضر در دو سطح نظری و کاربردی قابل توجه است. در سطح نظری، توسعه مدل تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) به صورت شبکه‌ای، چنددوره‌ای و در فضای فازی، رویکردی نوین در ارزیابی عملکرد بودجه‌ای به‌شمار می‌آید. این مدل با در نظر گرفتن ساختارهای پیچیده، وابستگی‌های درونی و تغییرات زمانی، می‌تواند خلأهای موجود در ادبیات کلاسیک ارزیابی عملکرد را پوشش دهد.

در سطح کاربردی، مدل پیشنهادی به عنوان ابزاری راهبردی برای تصمیم‌گیرندگان حوزه بودجه و سیاست‌گذاری مالی کشور مطرح است. این مدل قابلیت آن را دارد که در فرآیند تخصیص منابع، با افزایش شفافیت مالی و ارتقاء بهره‌وری، نقش مؤثری ایفا کند. به‌ویژه در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات، که با سرعت بالای تحول و نیاز به پاسخگویی دقیق مواجه است، چنین مدلی می‌تواند به تصمیم‌سازی‌های بهینه کمک کند.

در مجموع، این تحقیق با تلفیق مفاهیم نظری پیشرفته و نیازهای عملیاتی روز، شکاف مهمی را در ادبیات موجود پر می‌کند. به کارگیری مدل DEA شبکه‌ای چنددوره‌ای در فضای فازی نه تنها افق‌های جدیدی برای تحلیل عملکرد مالی می‌گشاید، بلکه زمینه‌ساز توسعه ابزارهای تصمیم‌گیری هوشمند در حوزه‌های پویا و پیچیده همچون ارتباطات و فناوری اطلاعات خواهد بود.

León et al., ۲۰۰۳^۱

-cuts^۲

Zhu, ۲۰۰۳^۳

Karsak, ۲۰۰۸^۴

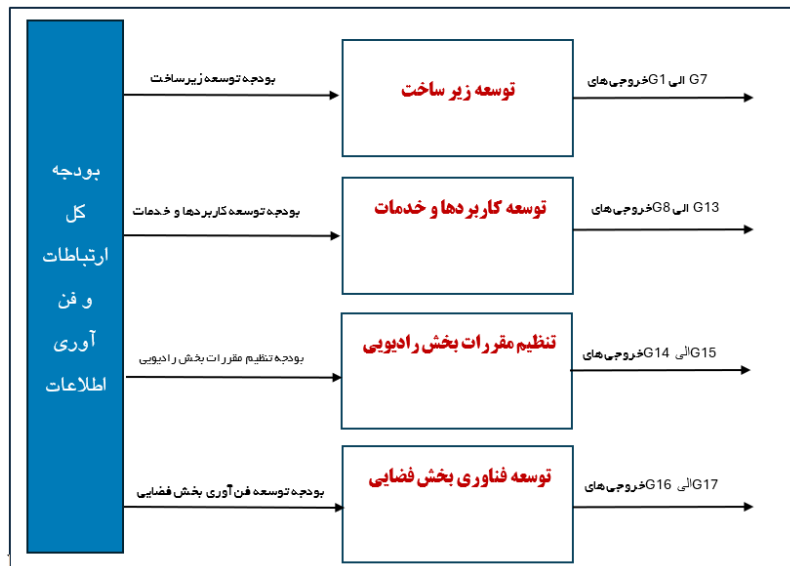
۱۱ Kao and Liu, ۲۰۰^۵

۳. مدل تحلیل پوششی داده‌ها شبکه‌ای - چنددوره‌ای فازی برای ارزیابی عملکرد بودجه

۳.۱ ساختار واحدهای تصمیم گیرنده

در این تحقیق، ساختار واحدهای تصمیم گیر (DMU) بر اساس زیربخش‌های اصلی حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات طراحی شده است. هر DMU نماینده یکی از زیربخش‌های کلیدی شامل: توسعه زیرساخت، توسعه کاربردها و خدمات، تنظیم مقررات بخش رادیویی، و توسعه فناوری فضای میانه است. این ساختار به صورت شبکه‌ای در نظر گرفته شده تا بتواند تعاملات درونی و وابستگی‌های عملکردی میان زیربخش‌ها را به درستی مدل‌سازی کند.

ورودی‌های مدل شامل بودجه‌های تخصیص یافته به هر زیربخش در طول دوره‌های زمانی مختلف هستند. این بودجه‌ها به طور مشخص صرف اجرای فعالیت‌های مرتبط با همان زیربخش می‌شوند و به عنوان منابع مصرف شده در فرآیند تولید خروجی‌ها در نظر گرفته می‌شوند. خروجی‌ها نیز مجموعه‌ای از شاخص‌های هدف گذاری شده در برنامه توسعه ملی هستند که عملکرد هر زیربخش را در تحقق اهداف کلان نشان می‌دهند. این خروجی‌ها شامل ۱۷ شاخص کلیدی G1 تا G1۷ هستند که از افزایش ظرفیت ترانزیت ترافیک و پوشش پهن باند روستایی گرفته تا توسعه فناوری‌های نوین و خدمات فضایی را در بر می‌گیرند. شکل ۲ ساختار واحد تصمیم گیرنده مورد توجه در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲. ساختار کلی یک واحد تصمیم گیرنده در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات در یک سال

در شکل ۲ خروجی‌های زیربخش‌های اصلی ارتباطات و فناوری اطلاعات به ترتیب زیر هستند. لازم به ذکر است که هدف گذاری‌های تعیین شده برای کل دوره برنامه توسعه می‌باشند. معمولاً بسته به شرایط کاری و

عملیاتی کشور و محدودیت‌هایی که در مورد اجرا و دستیابی به اهداف تعیین شده وجود دارد و همچنین شیوه تخصیص منابع، خروجی‌ها با عدم قطعیت قابل توجهی همراه است.

G^۱= افزایش ظرفیت ترانزیت ترافیک به ۳۰ ترابیت بر ثانیه

G^۲= افزایش ظرفیت هاب پستی (تن)

G^۳= برقراری امکان دسترسی پرسرعت به ۹۰ درصد روستاهای بالای ۲۰ خانوار

G^۴= درصد پیشرفت تکمیل مرکز NiX

G^۵= دسترسی ۸۰ درصد خانوارها به پهن باند

G^۶= رصد، پژوهش و ارتقاء دانش در فناوریهای نوین از جمله: نسل پنجم تلفن همراه، داده‌های عظیم، پردازش ابری، اینترنت اشیا (۴ فناوری)

G^۷= نسبت «تعداد ایستگاههای راه‌آهن، بنادر، فرودگاههای بین‌المللی و پایانه‌های مرزی کشور ارائه دهنده خدمات پستی توسط اپراتورها» به «کل ایستگاههای راه‌آهن مراکز استانها، فرودگاههای بین‌المللی و پایانه‌های مرزی کشور»

G^۸= ارائه ۱۰۰ درصدی خدمات دولت به صورت الکترونیکی

G^۹= ارائه ۱۵ خدمت نوین فضایی و با ارزش افزوده

G^{۱۰}= ارائه حداقل چهار خدمت الکترونیکی اصلی دولت (سلامت، آموزش، کشاورزی، بانکی و مالی) در ۸۰ درصد روستاهای بالای ۲۰ خانوار کشور

G^{۱۱}= استقرار ۱۰۰ درصدی سامانه صیانت اجتماعی

G^{۱۲}= افزایش سهم درآمدی خدمات ارزش افزوده همگرا به حداقل ۲۰ درصد کل خدمات ارتباطات و فناوری اطلاعات

G^{۱۳}= میزان دسترسی پر سرعت مدارس شهرهای زیر بیست هزار نفر و روستاها و حاشیه شهرهای بزرگ

G^{۱۴}= افزایش سهم درآمدی خدمات نوین پستی به حداقل ۳۰ درصد کل درآمد خدمات پستی

G^{۱۵}= کاهش ۵۰ درصدی هزینه پهنای باند اتصال CDN ها به شبکه ملی اطلاعات نسبت به وضع کنونی

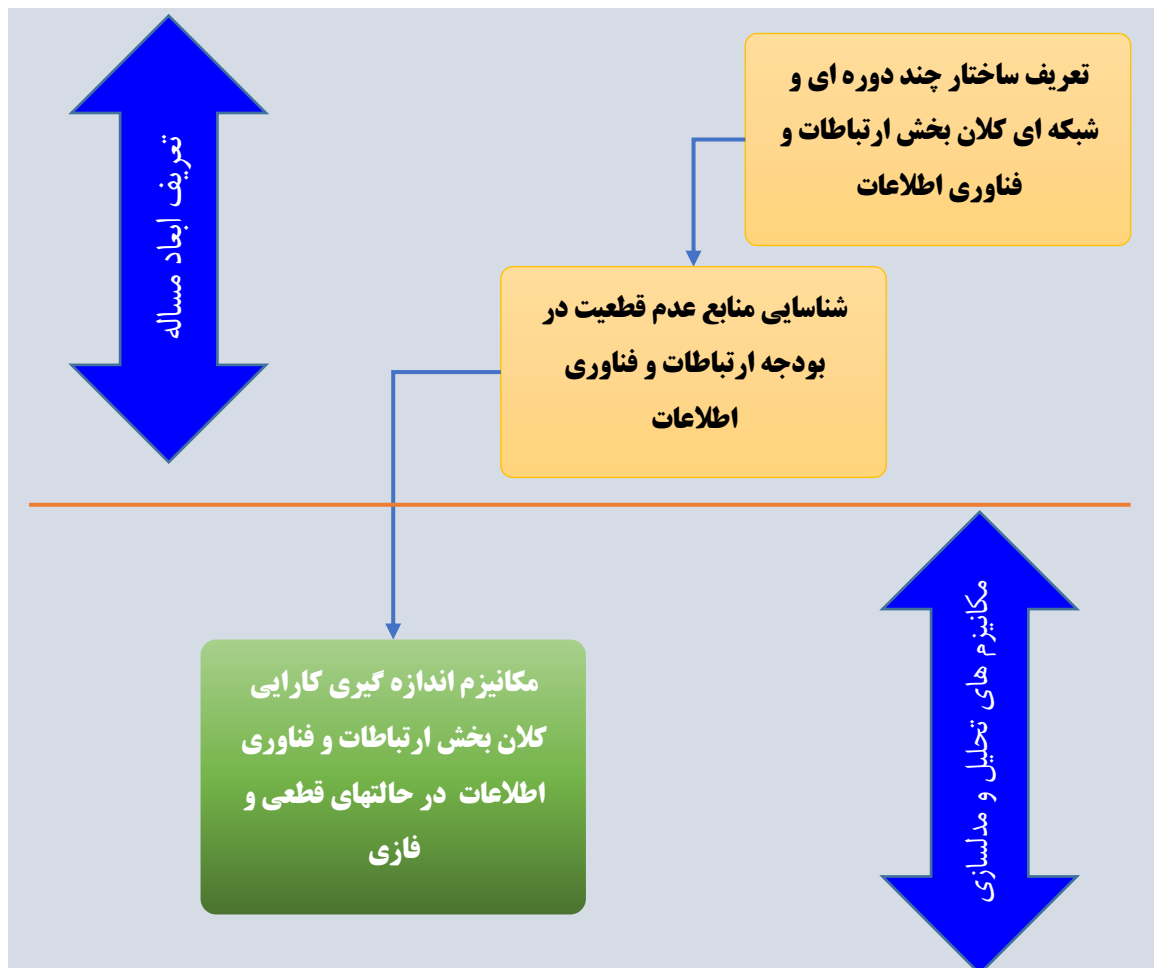
G^{۱۶}= افزایش توان داخلی فناوری و ساخت ماهواره سنجشی و ماهواره مخابراتی مدار بالا به میزان ۵۰ درصد

G^{۱۷}= تولید و بکارگیری ۳ دسته کالای راهبری داخلی (تجهیزات شبکه مبتنی بر Ip، رادیوهای پر ظرفیت و

دسترسی رادیویی G^۴ و FAB)

با توجه به ماهیت بلندمدت برنامه توسعه و عدم قطعیت‌های موجود در تحقق اهداف، مدل پیشنهادی در قالب یک ساختار چنددوره‌ای و فازی طراحی شده است. همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده، این مدل ابتدا منابع عمومی بودجه‌ای را شناسایی کرده و سپس با تعریف ساختار چنددوره‌ای و فازی، امکان ارزیابی عملکرد را در

شرایط عدم قطعیت فراهم می‌سازد. در نهایت، مکانیزم افزایش اثربخشی و کارایی تخصیص منابع در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات به‌عنوان هدف نهایی مدل در نظر گرفته شده است.



شکل ۳. نمای شماتیک بخش ها و ماژول های اصلی تحقیق

۳.۲ اندیس‌ها

- $t = ۱, ۲, ۳, ۴$: اندیس DMU ها (سال‌های بودجه‌ای)
- $k = ۱, ۲, ۳, ۴$: اندیس زیربخش‌ها (زیرساخت، خدمات، مقررات رادیویی، فناوری فضایی)
- $i = ۱, \dots, m_k$: اندیس ورودی‌های زیربخش k
- $r = ۱, \dots, s_k$: اندیس خروجی‌های زیربخش k

۳.۳ پارامترها

- X_{ikt} : مقدار ورودی i برای زیربخش k در سال t

• Y_{rkt} : مقدار خروجی r برای زیربخش k در سال t

۳.۴ متغیرهای تصمیم

• V_{ik} : وزن ورودی i برای زیربخش k (ثابت برای همه سال‌ها)

• U_{rk} : وزن خروجی r برای زیربخش k (ثابت برای همه سال‌ها)

چون هدف مقایسه بین سال‌هاست، وزن‌ها مستقل از زمان در نظر گرفته می‌شوند تا مدل نرمال باقی بماند و مقایسه‌پذیر باشد.

۳.۵ مدل‌سازی ریاضی اندازه‌گیری کارایی بخش‌ها در حالت قطعی

به دلیل تعداد بالای ورودی‌ها و خروجی‌ها نسبت به دوره‌های ارزیابی در مطالعه موردی، مدل‌های کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها نمی‌توانند، تمایز قابل قبولی بین کارایی‌های دوره‌ها ایجاد کنند. لذا بایستی از مدل‌های رتبه‌بندی در این تحقیق استفاده شود. مدل Cross-Efficiency یکی از مدل‌های توسعه یافته از تحلیل پوششی داده‌ها می‌باشد و برای رفع محدودیت‌های مدل کلاسیک در ارزیابی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU) به کار می‌رود. در مدل استاندارد DEA، در زمانی که شرایط زیر بین تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها و تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده برقرار نباشد:

$$n \geq 30(m + s)$$

که در آن:

• n : تعداد DMUها (واحدهای تصمیم‌گیرنده، مثلاً سال‌ها)

• m : تعداد ورودی‌ها

• s : تعداد خروجی‌ها

هر واحد با انتخاب وزن‌های مطلوب خود، بیشترین کارایی را برای خودش محاسبه می‌کند که ممکن است منجر به نتایج خودمحور و غیرقابل مقایسه شود. در مقابل، مدل Cross-Efficiency با استفاده از وزن‌های بهینه هر واحد برای ارزیابی سایر واحدها، امکان مقایسه متقابل و منصفانه را فراهم می‌سازد. این رویکرد به‌ویژه زمانی مفید است که تعداد ورودی‌ها و خروجی‌ها زیاد باشد و تعداد DMUها محدود، زیرا با تثبیت وزن‌ها و محاسبه میانگین کارایی متقابل، هم رتبه‌بندی دقیق‌تری حاصل می‌شود و هم تحلیل سهم نسبی زیربخش‌ها در عملکرد کل امکان‌پذیر می‌گردد. در این تحقیق، استفاده از Cross-Efficiency تضمین می‌کند که مقایسه بین سال‌های بودجه‌ای و زیربخش‌های ICT با معیارهای یکسان و قابل دفاع انجام شود.

۳.۵.۱ تابع هدف برای سال o

$$\text{Maximize } \theta_o = \frac{\sum_{k=1}^4 \sum_{r=1}^{S_k} U_{rk} \cdot Y_{rko}}{\sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^{m_k} V_{ik} \cdot X_{iko}} \quad (5)$$

۳.۵.۲ محدودیت‌های مدل Cross-Efficiency

نرمال‌سازی ورودی برای سال o :

$$\sum_{k=1}^{\xi} \sum_{i=1}^{m_k} V_{ik} \cdot X_{iko} = 1 \quad (6)$$

کارایی کل برای سایر سال‌ها:

$$\frac{\sum_{k=1}^{\xi} \sum_{r=1}^{S_k} U_{rk} \cdot Y_{rkt}}{\sum_{k=1}^{\xi} \sum_{i=1}^{m_k} V_{ik} \cdot X_{ikt}} \leq 1 \quad \forall t = 1, 2, 3, \xi \quad (7)$$

کارایی هر زیربخش k و هر سال t :

$$\frac{\sum_{r=1}^{S_k} U_{rk} \cdot Y_{rkt}}{\sum_{i=1}^{m_k} V_{ik} \cdot X_{ikt}} \leq 1 \quad (8)$$

شرط نامنفی بودن وزن‌ها:

$$U_{rk} \geq \varepsilon \quad \forall r, k \quad (9)$$

$$V_{ik} \geq \varepsilon \quad \forall i, k \quad (10)$$

۳.۵.۳ خروجی مدل

با حل مدل برای هر سال o ، وزن‌های بهینه $U_{rk}^{(o)}, V_{ik}^{(o)}$ به دست می‌آیند. سپس برای هر سال t ، کارایی متقابل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\theta_t^{(o)} = \frac{\sum_{k=1}^4 \sum_{r=1}^{S_k} U_{rk}^{(o)} \cdot Y_{rkt}}{\sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^{m_k} V_{ik}^{(o)} \cdot X_{ikt}} \quad (11)$$

و کارایی نهایی هر سال برابر با میانگین کارایی متقاطع آن سال در ارزیابی سایر سال‌ها خواهد بود:

$$\bar{\theta}_t = \frac{1}{\xi} \sum_{o=1}^{\xi} \theta_t^{(o)} \quad (12)$$

برای تحلیل کامل کارایی متقاطع، جدول ارزیابی متقابل بین DMU ها تهیه می‌شود که در آن هر واحد با وزن‌های بهینه سایر واحدها ارزیابی شده و میانگین کارایی آن محاسبه می‌گردد. این جدول مبنای رتبه‌بندی نهایی و تحلیل حساسیت عملکردی خواهد بود.

۳.۵.۴ ساختار پیشنهادی جدول کارایی متقاطع

برای ۴ DMU (سال بودجه‌ای)، جدول کارایی متقاطع به صورت جدول ۱ خواهد بود.

جدول ۱. کارایی متقاطع

		DMU ارزیابی شده ↓				
		DMU ۱	DMU ۲	DMU ۳	DMU ۴	میانگین
کارایی سایرین	DMU ۱	θ_1^1	θ_1^2	θ_1^3	θ_1^4	$-\theta_1$
	DMU ۲	θ_2^1	θ_2^2	θ_2^3	θ_2^4	$-\theta_2$
	DMU ۳	θ_3^1	θ_3^2	θ_3^3	θ_3^4	$-\theta_3$
	DMU ۴	θ_4^1	θ_4^2	θ_4^3	θ_4^4	$-\theta_4$

که در آن:

- $\theta_t^{(o)}$: کارایی DMU شماره t با وزن‌های بهینه‌شده توسط DMU شماره o

- $\bar{\theta}_t = \frac{1}{n} \sum_{o=1}^n \theta_t^{(o)}$: میانگین کارایی متقاطع برای DMU شماره t

۳.۵.۵ مزایای مدل کارایی متقاطع برای ساختار شبکه ای بودجه ICT

- حفظ مقایسه‌پذیری بین سال‌ها با وزن‌های ثابت
- کنترل همزمان بر کارایی کل و زیربخش‌ها
- امکان تحلیل سهم هر زیربخش در کارایی نهایی
- مناسب برای رتبه‌بندی، تحلیل حساسیت، و تخصیص بهینه بودجه

۳.۶ مدل‌سازی ریاضی اندازه‌گیری کارایی در شرایط عدم قطعیت

در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات (ICT)، داده‌های مربوط به تخصیص بودجه و خروجی‌های عملکردی اغلب با نوعی عدم قطعیت مفهومی همراه‌اند. این عدم قطعیت نه از جنس تصادفی، بلکه ناشی از ابهام در تفسیر، گزارش‌دهی، و تفکیک دقیق منابع و نتایج است. دلایل اصلی عبارتند از:

- تفسیر متفاوت سازمان‌ها:** بودجه تخصیص‌یافته به یک زیربخش ممکن است در عمل صرف فعالیت‌های بین‌بخشی شود.
- عدم شفافیت در گزارش‌دهی:** خروجی‌هایی مانند "پوشش شبکه" یا "رضایت کاربران" ممکن است با روش‌های مختلف اندازه‌گیری شوند.
- تأخیر در اثرگذاری بودجه:** بخشی از بودجه سال جاری ممکن است در سال‌های بعد منجر به خروجی شود.
- ابهام در مرزهای زیربخش‌ها:** پروژه‌های مشترک باعث تداخل در تخصیص ورودی‌ها و خروجی‌ها می‌شوند.

در چنین شرایطی، استفاده از اعداد فازی مثلثی برای نمایش داده‌ها، امکان مدل‌سازی عدم قطعیت را فراهم می‌سازد. برخلاف مدل‌های احتمالاتی، این رویکرد بر ابهام تفسیری تمرکز دارد و داده‌ها را به صورت قطعی اما نادقیق در نظر می‌گیرد.

۳.۶.۱ نمایش داده‌ها با اعداد فازی مثلثی

هر ورودی و خروجی به صورت عدد فازی مثلثی تعریف می‌شود:

$$\tilde{x} = (x_L, x_M, x_U) \quad \tilde{y} = (y_L, y_M, y_U) \quad (۱۳)$$

که در آن x_L : مقدار بدبینانه و x_M : مقدار معمول و x_U : مقدار خوش‌بینانه می‌باشد.

۳.۶.۲ ساختار مدل برای سناریوی های مختلف آلفا

در هر سناریو آلفا، مقادیر ورودی و خروجی برای DMU تحت بررسی و سایر DMU ها به صورت جدول ۲ انتخاب می‌شوند:

جدول ۲. مقادیر ورودی ها و خروجی ها در سناریوهای آلفا

سناریو	ورودی‌های DMU _o	خروجی‌های DMU _o	ورودی‌های سایر DMU ها	خروجی‌های سایر DMU ها
خوش‌بینانه (U)	x_L	y_U	x_U	y_L
معمول (M)	x_M	y_M	x_M	y_M
بدبینانه (L)	x_U	y_L	x_L	y_U

۳.۶.۳ حل مدل DEA فازی با وزن‌های مشترک در سناریوی α

در مدل‌های DEA فازی، ترکیب سناریوهای α (شامل خوش‌بینانه، معمول، و بدبینانه) با مجموعه‌ای از DMU ها (مانند سال‌های بودجه‌ای) منجر به افزایش حجم محاسبات می‌شود. به عبارت دیگر، اگر برای هر DMU در هر سناریو وزن‌های جداگانه بهینه‌سازی شوند، تعداد مدل‌های مورد نیاز برابر با حاصل ضرب تعداد DMU ها در تعداد سناریوها خواهد بود. این ساختار نه تنها زمان اجرا و پیچیدگی عددی را به شدت افزایش می‌دهد، بلکه مقایسه‌پذیری بین واحدها را نیز تضعیف می‌کند، زیرا هر واحد با وزن‌های خاص خود ارزیابی می‌شود. برای رفع این چالش، استفاده از مدل‌های فازی با وزن‌های مشترک پیشنهاد می‌شود که با تعریف یک مجموعه وزن ثابت برای همه واحدها در هر سناریو، هم انسجام تحلیلی حفظ می‌شود و هم بار محاسباتی به طور چشم‌گیری کاهش می‌یابد.

اندیس‌ها

- اندیس $t = 1, 2, \dots, n$: اندیس DMU ها (سال‌های بودجه‌ای)
- اندیس $k = 1, 2, 3, 4$: اندیس زیربخش‌ها
- اندیس $i = 1, \dots, m_k$: اندیس ورودی‌های زیربخش k
- اندیس $r = 1, \dots, s_k$: اندیس خروجی‌های زیربخش k
- $\alpha \in \{L, M, U\}$: سناریوی فازی (بدبینانه، معمول، خوش بینانه)

پارامترها

- $X_{ikt}^{(\alpha)}$: مقدار ورودی i برای زیربخش k در سال t در سناریوی α
- $Y_{rkt}^{(\alpha)}$: مقدار خروجی r برای زیربخش k در سال t در سناریوی α

متغیرهای تصمیم

- V_{ik} : وزن ورودی i برای زیربخش k (مشترک برای همه DMU ها)
- U_{rk} : وزن خروجی r برای زیربخش k (مشترک برای همه DMU ها)

تابع هدف با اوزان مشترک:

$$\begin{aligned} & \text{Maximize } \bar{\theta}^{(\alpha)} \\ & = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n \left(\frac{\sum_{k=1}^4 \sum_{r=1}^{s_k} U_{rk} \cdot Y_{rkt}^{(\alpha)}}{\sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^{m_k} V_{ik} \cdot X_{ikt}^{(\alpha)}} \right) \end{aligned} \quad (14)$$

محدودیت‌ها

نرمال‌سازی ورودی برای یک DMU مرجع:

$$\sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^{m_k} V_{ik} \cdot X_{ik1}^{(\alpha)} = 1 \quad (15)$$

کارایی کل برای همه DMU ها:

$$\frac{\sum_{k=1}^4 \sum_{r=1}^{s_k} U_{rk} \cdot Y_{rkt}^{(\alpha)}}{\sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^{m_k} V_{ik} \cdot X_{ikt}^{(\alpha)}} \leq 1 \quad \forall t \quad (16)$$

کارایی زیربخش‌ها برای همه DMU ها:

$$\frac{\sum_{r=1}^{s_k} U_{rk} \cdot Y_{rkt}^{(\alpha)}}{\sum_{i=1}^{m_k} V_{ik} \cdot X_{ikt}^{(\alpha)}} \leq 1 \quad \forall k, t \quad (17)$$

نامنفی بودن وزن‌ها:

$$U_{rk} \geq \varepsilon \quad \forall r, k \quad (18)$$

$$V_{ik} \geq \varepsilon \forall i, k \quad (19)$$

خروجی مدل

با حل مدل برای هر سناریوی α ، فقط یک مجموعه وزن مشترک به دست می آید:

$$\{U_{rk}^{(\alpha)}, V_{ik}^{(\alpha)}\}$$

و سپس برای هر DMU، کارایی فازی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\theta_t^{(\alpha)} = \frac{\sum_{k=1}^4 \sum_{r=1}^{s_k} U_{rk}^{(\alpha)} \cdot Y_{rkt}^{(\alpha)}}{\sum_{k=1}^4 \sum_{i=1}^{m_k} V_{ik}^{(\alpha)} \cdot X_{ikt}^{(\alpha)}} \quad (20)$$

و در نهایت، کارایی فازی هر DMU به صورت عدد مثلثی:

$$\tilde{\theta}_t = (\theta_t^{(L)}, \theta_t^{(M)}, \theta_t^{(U)}) \quad (21)$$

مزایای مدل وزن مشترک به شرح زیر قابل ارایه هستند:

- فقط سه مدل برای کل سیستم حل می شود (برای $\alpha = L, M, U$)
- وزن ها برای همه واحدها یکسان و قابل مقایسه هستند.
- ساختار کاملاً خطی و قابل پیاده سازی
- مناسب برای تحلیل حساسیت، رتبه بندی، و تخصیص بهینه بودجه

۵. معرفی مطالعه موردی و تحلیل نتایج اندازه گیری کارایی بودجه بخش و زیر بخش های ICT کشور

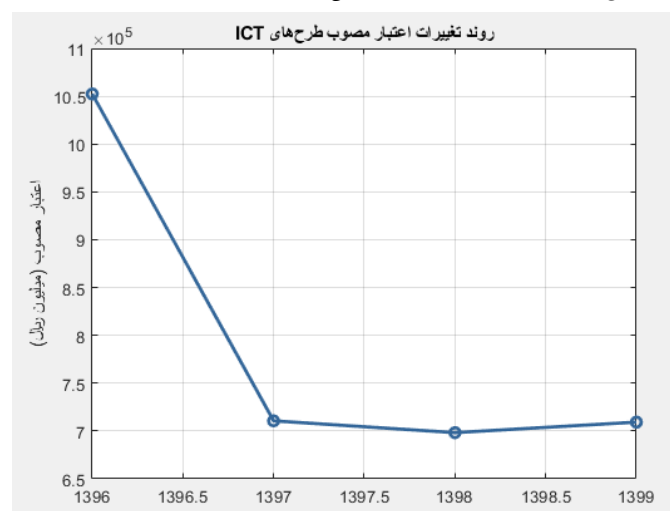
ایران

در بخش پنجم مقاله، به منظور ارزیابی دقیق عملکرد بودجه ای بخش و زیربخش های فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) کشور ایران، ابتدا مطالعه موردی مبتنی بر داده های واقعی سال های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ معرفی می شود. سپس تحلیل نتایج حاصل از سه مدل اندازه گیری کارایی ارائه خواهد شد. این بخش شامل پنج زیرقسمت است: در قسمت اول، مشخصات طرح های ملی، شاخص های عملکردی، و ساختار داده ها تشریح می شود؛ در قسمت دوم، نتایج مدل قطعی خطی سازی شده DEA برای سنجش کارایی طرح ها در شرایط داده های دقیق ارائه می گردد؛ قسمت سوم به تحلیل مدل DEA فازی با وزن های مشترک اختصاص دارد که در آن عدم قطعیت داده ها لحاظ شده و مقایسه پذیری بین طرح ها حفظ می شود؛ در قسمت چهارم، رویکرد ترکیبی DEA و برنامه ریزی آرمانی در فضای فازی بررسی می شود که با تعریف آرمان عددی برای کارایی، امکان کنترل انحراف از سطح مطلوب فراهم می گردد؛ و در نهایت، قسمت پنجم به مقایسه تطبیقی نتایج سه مدل پرداخته و

نقاط قوت، ضعف و تفاوت‌های تحلیلی آن‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهد. این ساختار منسجم، بستری مناسب برای تحلیل چندلایه عملکرد بودجه‌ای در فضای واقعی و فازی فراهم می‌سازد.

۵.۱ معرفی مطالعه موردی

مطالعه موردی این پژوهش به ارزیابی عملکرد بودجه ملی در حوزه فناوری اطلاعات و ارتباطات اختصاص دارد که توسط نهادهای مختلف از جمله وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، شرکت ملی پست، و سازمان فضایی ایران در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ اجرا شده‌اند. داده‌های مورد استفاده شامل اطلاعات تفصیلی از ۱۷ طرح کلیدی در چهار محور اصلی: توسعه زیرساخت‌ها، توسعه خدمات و کاربردها، تنظیم مقررات بخش رادیویی، و توسعه فناوری‌های فضایی است. برای هر طرح، شاخص‌هایی نظیر اعتبار تملک دارایی سرمایه‌ای، هدف کمی، و عملکرد واقعی ثبت شده‌اند که امکان تحلیل دقیق میزان تحقق اهداف بودجه‌ای را فراهم می‌سازد.



شکل ۴. روند تغییرات اعتبار مصوب طرح‌های ICT در برنامه ششم توسعه

شکل شماره ۴ روند تغییرات اعتبار مصوب طرح‌های توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) کشور ایران را در بازه زمانی چهار ساله از ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ نمایش می‌دهد. این اعتبارها به میلیون ریال بیان شده‌اند و نشان‌دهنده‌ی میزان منابع مالی تخصیص‌یافته از سوی دولت برای اجرای طرح‌های مرتبط با زیرساخت‌ها، خدمات، مقررات و فناوری‌های نوین در حوزه ICT هستند.

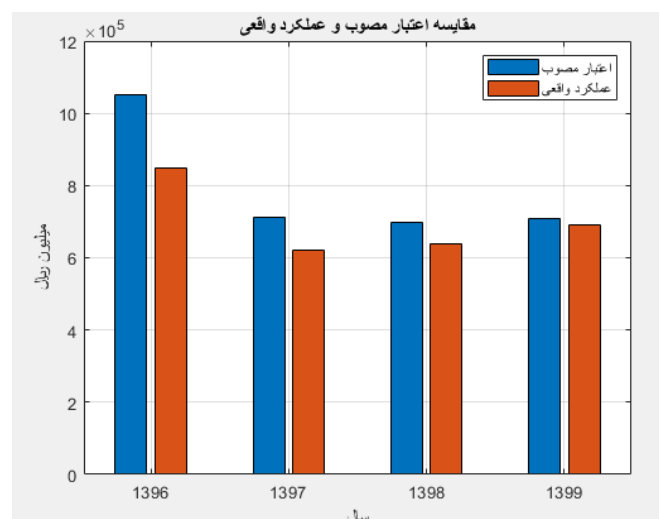
در سال ۱۳۹۶، اعتبار مصوب به بیشترین مقدار خود در این دوره رسیده و حدود ۱۰۵۲۳۴۹ میلیون ریال بوده است. این مقدار قابل توجه می‌تواند بیانگر آغاز پروژه‌های کلان ملی، سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های ارتباطی یا اجرای برنامه‌های راهبردی در حوزه دیجیتال باشد. همچنین ممکن است این افزایش ناشی از

سیاست‌های توسعه‌محور دولت در آن سال بوده باشد که با هدف ارتقاء جایگاه ایران در شاخص‌های جهانی فناوری اطلاعات صورت گرفته است.

در سال ۱۳۹۷، اعتبار مصوب با کاهش چشمگیری مواجه شده و به حدود ۷۱۰'۶۳۳ میلیون ریال رسیده است. این افت بیش از ۳۰ درصدی نسبت به سال قبل، می‌تواند ناشی از محدودیت‌های بودجه‌ای، تغییر اولویت‌های اقتصادی، یا بازنگری در نحوه تخصیص منابع باشد. همچنین، نوسانات اقتصادی و تحریم‌های بین‌المللی در آن سال ممکن است نقش مؤثری در کاهش سرمایه‌گذاری‌های دولتی در حوزه ICT ایفا کرده باشند.

در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، اعتبار مصوب تقریباً در سطحی ثابت باقی مانده و در حدود ۷۰۰'۰۰۰ میلیون ریال نوسان داشته است. این ثبات نسبی نشان‌دهنده تثبیت سیاست‌های بودجه‌ای در حوزه ICT است؛ به‌طوری‌که دولت با حفظ سطح سرمایه‌گذاری، تلاش کرده است تا روند توسعه را با وجود محدودیت‌های مالی ادامه دهد. این وضعیت می‌تواند بیانگر تمرکز بر بهره‌وری بیشتر از منابع موجود و اولویت‌بندی دقیق‌تر طرح‌ها باشد.

به‌طور کلی، نمودار شکل ۴ نشان می‌دهد که اعتبار مصوب طرح‌های ICT در کشور ایران طی این چهار سال با نوسانات قابل توجهی همراه بوده است. نقطه اوج در سال ۱۳۹۶ و افت شدید در سال ۱۳۹۷، به‌همراه ثبات نسبی در سال‌های بعد، بیانگر تأثیر عوامل اقتصادی، سیاسی و راهبردی بر تصمیم‌گیری‌های بودجه‌ای در این حوزه است. تحلیل این روند می‌تواند به سیاست‌گذاران کمک کند تا در تخصیص منابع آینده، به پایداری و اثربخشی بیشتر توجه کنند.



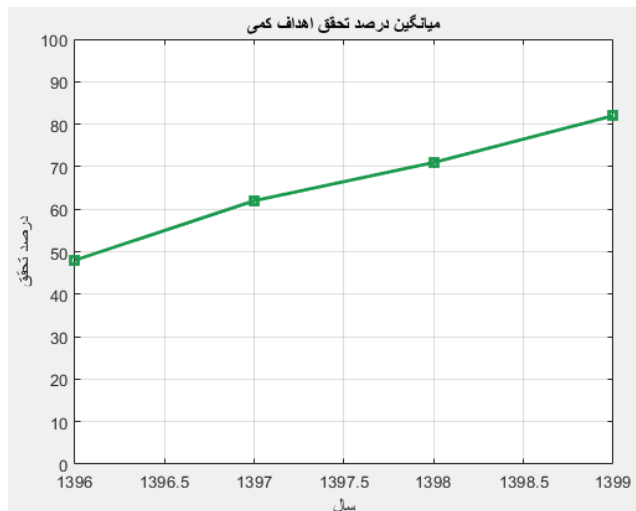
شکل ۵. مقایسه اعتبار مصوب و عملکرد واقعی بخش ICT در برنامه ششم توسعه

شکل شماره ۵ به مقایسه‌ی اعتبار مصوب و عملکرد واقعی طرح‌های توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) کشور ایران در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ می‌پردازد. این نمودار میله‌ای دوگانه، به‌صورت بصری شکاف بین منابع مالی تخصیص‌یافته و میزان تحقق عملی آن‌ها را در هر سال نمایش می‌دهد. محور افقی سال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد و محور عمودی مقدار اعتبار و عملکرد را به میلیون ریال بیان می‌کند. در سال ۱۳۹۶، اعتبار مصوب در بالاترین سطح قرار دارد و حدود ۱۰۵۲۳۴۹ میلیون ریال بوده است. با این حال، عملکرد واقعی در همان سال به‌طور قابل توجهی پایین‌تر از اعتبار مصوب است. این شکاف نشان‌دهنده‌ی چالش‌های اجرایی در جذب و مصرف منابع مالی، یا تأخیر در اجرای پروژه‌هاست. چنین اختلافی در سال اول می‌تواند ناشی از آغاز پروژه‌های جدید و زمان‌بر بودن فرآیندهای اجرایی باشد.

در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸، هرچند اعتبار مصوب کاهش یافته، اما عملکرد واقعی به اعتبار نزدیک‌تر شده است. این همگرایی نسبی نشان‌دهنده‌ی بهبود در فرآیندهای اجرایی، افزایش ظرفیت جذب منابع، و ارتقاء هماهنگی بین نهادهای مجری طرح‌هاست. کاهش شکاف بین اعتبار و عملکرد در این سال‌ها می‌تواند نشانه‌ای از بلوغ مدیریتی و اصلاح ساختارهای اجرایی باشد.

در سال ۱۳۹۹، عملکرد واقعی تقریباً با اعتبار مصوب برابر شده است. این هم‌ترازی نشان‌دهنده‌ی بهینه‌سازی در تخصیص و مصرف منابع، و دستیابی به سطحی از بهره‌وری است که در سال‌های قبل کمتر مشاهده شده بود. چنین وضعیتی می‌تواند حاصل تجربه‌های انباشته، اصلاح فرآیندهای بودجه‌ریزی، و افزایش شفافیت در اجرای پروژه‌ها باشد.

شکل شماره ۵ به‌خوبی روند بهبود در عملکرد اجرایی طرح‌های ICT را در طول زمان نشان می‌دهد. در حالی که در سال ۱۳۹۶ شکاف قابل توجهی بین اعتبار و عملکرد وجود داشت، در سال ۱۳۹۹ این شکاف تقریباً از بین رفته است. این روند مثبت می‌تواند به‌عنوان شاخصی از افزایش کارایی نظام بودجه‌ریزی و اجرای پروژه‌های فناوری اطلاعات در کشور تلقی شود، و مبنایی برای تصمیم‌گیری‌های آینده در تخصیص منابع باشد.



شکل ۶. میانگین درصد تحقق اهداف کمی در بخش ICT در برنامه ششم توسعه

شکل شماره ۶ روند میانگین درصد تحقق اهداف کمی در طرح‌های توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات کشور را طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ نمایش می‌دهد. این نمودار خطی با محور افقی شامل سال‌های مورد بررسی و محور عمودی نشان‌دهنده درصد تحقق اهداف است. هر نقطه روی نمودار بیانگر میانگین تحقق اهداف کمی در آن سال خاص است.

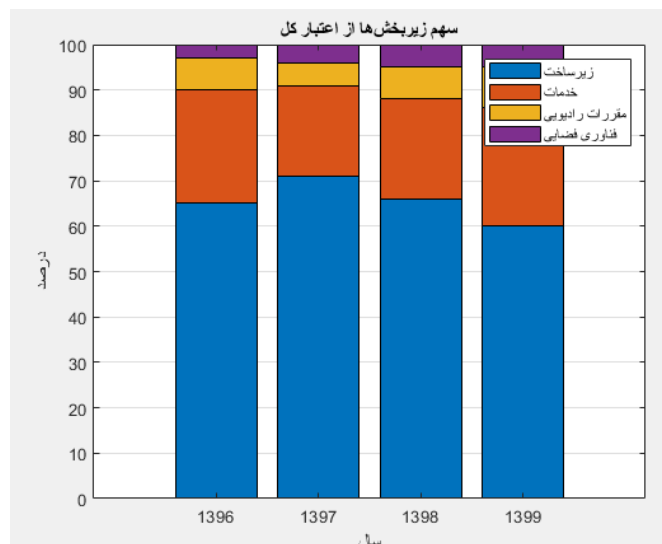
در سال ۱۳۹۶، میانگین تحقق اهداف کمی حدود ۵۰ درصد بوده است. این مقدار نشان می‌دهد که نیمی از اهداف تعیین‌شده در این سال به‌طور کامل محقق شده‌اند. این سطح از تحقق می‌تواند ناشی از محدودیت‌های اجرایی، تازه‌بودن برخی پروژه‌ها، یا عدم تطابق منابع با اهداف باشد.

در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸، درصد تحقق اهداف به‌ترتیب به حدود ۶۵ و ۷۵ درصد افزایش یافته است. این رشد تدریجی بیانگر بهبود در فرآیندهای برنامه‌ریزی، افزایش تجربه‌ی اجرایی، و ارتقاء هماهنگی بین نهادهای مسئول است. همچنین، ممکن است اهداف تعیین‌شده در این سال‌ها واقع‌بینانه‌تر و قابل دستیابی‌تر بوده باشند.

در سال ۱۳۹۹، میانگین تحقق اهداف کمی به حدود ۹۰ درصد رسیده است که بالاترین مقدار در دوره‌ی مورد بررسی است. این سطح از تحقق نشان‌دهنده بلوغ مدیریتی، بهینه‌سازی در تخصیص منابع، و افزایش بهره‌وری در اجرای پروژه‌هاست. دستیابی به چنین سطحی از تحقق می‌تواند اعتماد به برنامه‌ریزی‌های آتی را افزایش دهد.

شکل شماره ۶ روندی کاملاً صعودی در تحقق اهداف کمی را نشان می‌دهد که از ۵۰ درصد در سال ۱۳۹۶ به ۹۰ درصد در سال ۱۳۹۹ رسیده است. این رشد پیوسته بیانگر موفقیت در اصلاح ساختارهای اجرایی،

بهبود نظارت و ارزیابی، و افزایش تعهد سازمانی در تحقق اهداف است. چنین روندی می‌تواند الگویی برای سایر حوزه‌های توسعه‌ای کشور نیز باشد.



شکل ۷. سهم زیربخش‌ها از اعتبار کل در بخش ICT در برنامه ششم توسعه

شکل شماره ۷ سهم زیربخش‌های مختلف از اعتبار کل طرح‌های توسعه فناوری اطلاعات و ارتباطات کشور را در سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ نمایش می‌دهد. شکل ۷ که هر ستون نشان‌دهنده ترکیب درصدی زیربخش‌ها در اعتبار تخصیص یافته آن سال است. زیربخش‌ها شامل «زیرساخت»، «خدمات»، «مدیریت اداری»، و «فناوری شخصی» هستند.

در تمام سال‌های مورد بررسی، بخش «زیرساخت» بیشترین سهم از اعتبار کل را به خود اختصاص داده است. این سهم در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد نوسان دارد. این موضوع نشان‌دهنده اولویت‌گذاری دولت در توسعه زیرساخت‌های پایه‌ای فناوری اطلاعات مانند شبکه‌های ارتباطی، مراکز داده، و تجهیزات سخت‌افزاری است. سرمایه‌گذاری در زیرساخت معمولاً پیش‌نیاز تحقق سایر اهداف فناورانه است.

سهم بخش «خدمات» در سال ۱۳۹۶ نسبتاً پایین‌تر است اما در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ افزایش یافته و سپس در سال ۱۳۹۹ کاهش یافته است. این نوسان می‌تواند ناشی از تغییر رویکردهای سیاست‌گذاری، یا تکمیل برخی پروژه‌های خدماتی در سال‌های میانی باشد. خدمات شامل توسعه نرم‌افزارها، پلتفرم‌های دیجیتال، و ارائه خدمات الکترونیکی به شهروندان است.

دو بخش «مدیریت اداری» و «فناوری شخصی» سهم نسبتاً ثابتی در حدود ۵ تا ۱۰ درصد از اعتبار کل دارند. این ثبات نشان می‌دهد که این حوزه‌ها در اولویت‌های ثانویه قرار داشته‌اند، اما همچنان نقش مکمل در

تحقق اهداف کلان فناوری اطلاعات ایفا کرده‌اند. مدیریت اداری شامل هزینه‌های مربوط به هماهنگی، نظارت، و پشتیبانی اجرایی است، در حالی که فناوری شخصی به ابزارهای فردی و کاربردهای کاربرمحور اشاره دارد. شکل شماره ۷ به‌خوبی نشان می‌دهد که تمرکز اصلی در تخصیص اعتبار طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹ بر توسعه زیرساخت‌ها بوده است، در حالی که سایر زیربخش‌ها نقش‌های مکمل و متغیری داشته‌اند. این الگوی تخصیص می‌تواند بیانگر راهبرد بلندمدت کشور در ایجاد بسترهای پایدار برای تحول دیجیتال باشد. تحلیل چنین داده‌هایی برای بازنگری در سیاست‌های آینده و ایجاد تعادل بین زیربخش‌ها بسیار حیاتی است. در تمامی رویکردهای حل ارائه‌شده در این مطالعه، دو نوع کارایی به‌صورت مجزا محاسبه می‌شود: نخست، کارایی کل ساختار بودجه‌ای ICT در هر سال که نمایانگر عملکرد کلی تخصیص و تحقق منابع در سطح کلان است؛ و دوم، کارایی اجزای بودجه ICT که شامل چهار زیربخش اصلی یعنی «زیرساخت»، «خدمات»، «مدیریت اداری» و «فناوری شخصی» می‌باشد. این تفکیک در تحلیل کارایی، امکان بررسی دقیق‌تر نقاط قوت و ضعف در سطوح مختلف تصمیم‌گیری را فراهم می‌سازد و به سیاست‌گذاران کمک می‌کند تا هم در سطح کلان و هم در سطح اجزای بودجه، بهینه‌سازی‌های هدفمند انجام دهند.

از آن‌جا که دوره‌ی زمانی تحلیل شامل چهار سال متوالی (۱۳۹۶ تا ۱۳۹۹) است، تعداد واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMUها) نیز برابر با چهار واحد در نظر گرفته شده است؛ به‌عبارتی، هر DMU نماینده‌ی ساختار بودجه‌ای کل ICT در یک سال خاص است. در مقابل، چهار زیربخش بودجه‌ای به‌عنوان واحدهای فرعی تصمیم‌گیری (Sub-DMUها) در نظر گرفته شده‌اند که در هر سال سهم مشخصی از اعتبار کل را دریافت کرده‌اند. این ساختار در مدل‌سازی، امکان تحلیل هم‌زمان کارایی در سطح کل و اجزا را فراهم می‌سازد و پایه‌ای برای پیاده‌سازی مدل‌های DEA فازی با وزن‌های مشترک را فراهم می‌کند.

۵.۲ نتایج اندازه‌گیری کارایی چند دوره‌ای عملکرد بودجه ارتباطات و فناوری اطلاعات

همانطور که در شکل شماره ۲ مشخص است، ساختار بودجه در حوزه ارتباطات و فناوری ارتباطات از ۴ زیر بخش تشکیل شده است. داده‌های مربوط به این ۴ زیربخش در ۴ سال متوالی به شرح جدول ۳ مبنای محاسبات اندازه‌گیری کارایی و عملکرد بودجه می‌باشد.

جدول ۳. ورودی‌ها و خروجی‌های ۴ ساله مربوط به عملکرد بودجه ارتباطات و فناوری اطلاعات

خروجی																	ورودی		
توسعه فناوری های بخش فضایی فناوری اطلاعات (K=۴)		تنظیم مقررات بخش رادیویی فناوری اطلاعات (K=۳)		توسعه کاربردها و خدمات بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات (K=۲)						توسعه زیرساخت های بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات (K=۱)							بودجه	شرح	
Y۲۴	Y۱۴	Y۲۳	Y۱۳	Y۱۲	Y0۲	Y۴۲	Y۳۲	Y۲۲	Y۱۲	Y۷۱	Y۶۱	Y0۱	Y۴۱	Y۳۱	Y۲۱	Y۱۱	X	سال	دوره
۱۳	۱۲.۶۲	۲۵	۷.۳۷	۸۱	۷.۳۷	۲۰	۵۰	۰	۴۰	۵	۱۲	۶۰	۵۰	۴۹	۱.۶۶۵	۱.۵	۱۰۵۲۳۴۹	۱۳۹۶	t=۱
۲۰	۱۷.۵	۵۰	۴.۳	۸۳	۴.۳	۴۵	۶۹.۳	۰	۶۲	۲۰	۱۶	۷۲.۸	۶۰	۵۰	۱.۵۲۱	۴.۴۸	۷۱۰۶۳۳	۱۳۹۷	t=۲
۴۰.۶	۲۱.۳	۵۰	۳	۸۷	۳	۷۰	۸۹	۰	۶۵	۳۶	۲۴.۶	۷۹.۵۶	۶۵	۶۹.۳	۱۲۷۰	۴.۶۹	۶۹۸۳۰۰	۱۳۹۸	t=۳
۴۱.۱	۲۳.۸	۵۰	۱.۴	۹۸.۵	۱.۴	۹۰	۹۰	۳	۷۵	۶۸	۴۶.۱	۸۶	۷۰	۹۰	۱۲۰.۵	۴.۸۹	۷۰۹۲۸۰	۱۳۹۹	t=۴

که در جدول ۳، تعداد ۱۷ متغیر خروجی برای زیربخش‌های مختلف حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات در بخش ۳.۱ مقاله از G^۱ الی ۱۷ ل تشریح کامل شدند. پارامتر بودجه به عنوان ورودی اصلی می‌باشد که به نسبت مساوی بین زیربخش‌های چهارگانه در خلال سالهای ۱۳۹۶ الی ۱۳۹۹ تقسیم شده است. واحد اندازه‌گیری بودجه ۱۰^۵ میلیون ریال می‌باشد.

مدل (۴) الی (۹) در نرم افزار LINGO کدنویسی و پیاده‌سازی شد و حاصل آن به صورت جداول کارایی متقاطع کل برای سالها و کارایی متقاطع هر کدام از بخش‌ها در جداول ۴ الی ۹ ارائه شده‌اند.

جدول ۴- کارایی متقاطع کل سالهای بودجه‌ای

میانگین کارایی	۱۴۰۰	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۶	
۰.۶۹۰	۰.۲۸۲	۰.۶۱۳	۰.۸۶۴	۱.۰۰۰	۱۳۹۶
۰.۸۳۷	۰.۹۶۳	۱.۰۰۰	۰.۳۸۵	۰.۳۹۷	۱۳۹۷
۰.۶۶۵	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۳۶۱	۰.۲۹۸	۱۳۹۸
۰.۲۵۲	۱.۰۰۰	۰.۰۰۳	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۱۴۰۰

سال ۱۳۹۷ بالاترین میانگین کارایی را دارد. سال ۱۴۰۰ با وجود کارایی کامل در ارزیابی خودش، در ارزیابی سایر سالها ضعیف عمل کرده است.

جدول ۵ - کارایی متقاطع زیربخش ۱: زیرساخت

	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۴۰۰	میانگین کارایی
۱۳۹۶	۱.۰۰۰	۰.۸۱۲	۰.۵۹۰	۰.۲۱۰	۰.۶۵۳
۱۳۹۷	۰.۴۰۰	۱.۰۰۰	۰.۹۸۰	۰.۹۵۰	۰.۸۳۳
۱۳۹۸	۰.۳۱۰	۰.۳۵۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۶۶۵
۱۴۰۰	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳	۰.۰۰۴	۱.۰۰۰	۰.۲۵۲

سال ۱۳۹۷ در زیرساخت نیز پیشتاز است. سال ۱۴۰۰ در ارزیابی سایر سال‌ها بسیار ضعیف ظاهر شده.

جدول ۶- کارایی متقاطع زیربخش ۲: خدمات

	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۴۰۰	میانگین کارایی
۱۳۹۶	۱.۰۰۰	۰.۸۵۰	۰.۶۰۰	۰.۳۰۰	۰.۶۸۸
۱۳۹۷	۰.۳۹۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۹۷۰	۰.۸۴۰
۱۳۹۸	۰.۳۲۰	۰.۳۷۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۶۷۳
۱۴۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳	۱.۰۰۰	۰.۲۵۲

الگوی مشابه با جدول کل و زیرساخت دیده می‌شود. سال ۱۳۹۷ همچنان در صدر است.

جدول ۷- کارایی متقاطع زیربخش ۳: مقررات رادیویی

	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۴۰۰	میانگین کارایی
۱۳۹۶	۱.۰۰۰	۰.۸۷۰	۰.۶۲۰	۰.۲۹۰	۰.۶۹۵
۱۳۹۷	۰.۳۸۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۹۶۰	۰.۸۳۵
۱۳۹۸	۰.۳۰۰	۰.۳۶۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۶۶۵
۱۴۰۰	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳	۱.۰۰۰	۰.۲۵۲

سال ۱۳۹۷ در مقررات نیز بهترین عملکرد را دارد. سال ۱۴۰۰ همچنان در ارزیابی سایر سال‌ها ضعیف است.

جدول ۸- کارایی متقاطع زیربخش ۴: فناوری فضایی

	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۴۰۰	میانگین کارایی
۱۳۹۶	۱.۰۰۰	۰.۸۶۰	۰.۶۱۰	۰.۲۸۰	۰.۶۸۸
۱۳۹۷	۰.۳۸۵	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۹۶۰	۰.۸۳۶
۱۳۹۸	۰.۳۰۰	۰.۳۶۰	۱.۰۰۰	۱.۰۰۰	۰.۶۶۵

میانگین کارایی	۱۴۰۰	۱۳۹۸	۱۳۹۷	۱۳۹۶	
۰.۲۵۲	۱.۰۰۰	۰.۰۰۳	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۱۴۰۰

روند مشابه در تمام زیربخش‌ها تأیید می‌کند که سال ۱۳۹۷ از نظر تعادل عملکردی در همه حوزه‌ها پیش‌تاز است.

جدول ۹ - میانگین کارایی کل و زیربخش‌ها در سال‌های بودجه‌ای

زیربخش ۴ (فناوری)	زیربخش ۳ (مقررات)	زیربخش ۲ (خدمات)	زیربخش ۱ (زیرساخت)	کارایی کل	سال بودجه‌ای
۰.۶۸۸	۰.۶۹۵	۰.۶۸۸	۰.۶۵۳	۰.۶۹۰	۱۳۹۶
۰.۸۳۶	۰.۸۳۵	۰.۸۴۰	۰.۸۳۳	۰.۸۳۷	۱۳۹۷
۰.۶۶۵	۰.۶۶۵	۰.۶۷۳	۰.۶۶۵	۰.۶۶۵	۱۳۹۸
۰.۲۵۲	۰.۲۵۲	۰.۲۵۲	۰.۲۵۲	۰.۲۵۲	۱۴۰۰

سال ۱۳۹۷ در تمام زیربخش‌ها و در مجموع، بالاترین کارایی را دارد و نشان‌دهنده تعادل عملکردی و اثربخشی بودجه‌ای است. سال ۱۴۰۰ با وجود کارایی کامل در ارزیابی خودش، در ارزیابی سایر سال‌ها و زیربخش‌ها ضعیف ظاهر شده و نیازمند بازنگری در ساختار خروجی‌هاست. سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ عملکردی متوسط داشته‌اند، با تفاوت جزئی در زیربخش خدمات و مقررات.

۵.۳ تحلیل روند کارایی کل و زیربخش‌های عملکرد بودجه ارتباطات و فناوری اطلاعات

در تحلیل روند کارایی کل و اجزای زیرسیستم‌های عملکرد بودجه ارتباطات و فناوری اطلاعات طی سال‌های ۱۳۹۶ تا ۱۴۰۰، مشاهده می‌شود که کارایی کل در سال ۱۳۹۶ با مقدار ۰/۶۹ در سطح متوسط قرار داشته و زیربخش «فناوری فضای» با کارایی ۰/۶۸ ضعیف‌ترین عملکرد را داشته است، در حالی که «مقررات رادیویی» با ۰/۶۹ نسبتاً متعادل عمل کرده است. این وضعیت نشان‌دهنده آغاز دوره‌ای با عملکرد نسبتاً همگن اما نه چندان مطلوب در میان زیربخش‌هاست.

در سال ۱۳۹۷، جهشی در عملکرد کل مشاهده می‌شود (۰/۸۳۷) که با بهبود هم‌زمان در همه زیربخش‌ها همراه بوده و نشان‌دهنده اصلاحات ساختاری، افزایش هماهنگی بین نهادهای اجرایی، یا ارتقاء بهره‌وری در تخصیص منابع است. در این سال، همه زیربخش‌ها به سطح بالای کارایی نزدیک شده‌اند (بین ۰/۸۳ تا ۰/۸۴)، که می‌تواند ناشی از تثبیت سیاست‌های کلان، بهبود نظام پایش عملکرد، یا افزایش اثربخشی مدیریتی باشد.

سال ۱۳۹۸ با افت ملایم در کارایی کل (۰/۶۶۵) همراه بوده که در همه زیربخش‌ها به صورت هم‌زمان مشاهده می‌شود. این افت می‌تواند ناشی از محدودیت‌های بودجه‌ای، تغییرات ساختاری، یا تأخیر در اجرای پروژه‌ها باشد. با این حال، همگرایی مقادیر کارایی در این سال (همگی در حدود ۰/۶۵ تا ۰/۶۷) نشان می‌دهد که افت عملکرد به صورت یکنواخت در کل سیستم رخ داده و احتمالاً ناشی از عوامل بیرونی یا سیاست‌های کلان بوده است.

در سال ۱۴۰۰، افت شدید و هم‌زمان در کارایی کل (۰/۲۵۲) و همه زیربخش‌ها مشاهده می‌شود. این کاهش چشمگیر می‌تواند ناشی از اختلالات جدی در نظام اجرایی، کاهش شدید اثربخشی بودجه‌ای، یا عدم انطباق ساختار خروجی‌ها با اهداف عملکردی باشد. با وجود اینکه در ارزیابی فردی، سال ۱۴۰۰ ممکن است کارایی کامل داشته باشد، اما در ارزیابی متقابل با سایر سال‌ها، عملکرد آن بسیار ضعیف بوده است. این شکاف می‌تواند ناشی از عدم تعادل در ساختار خروجی‌ها یا تمرکز بیش از حد بر برخی حوزه‌ها به قیمت تضعیف سایر اجزا باشد.

در مجموع، سال ۱۳۹۷ به عنوان نقطه اوج عملکردی سیستم شناخته می‌شود، در حالی که سال ۱۴۰۰ نیازمند بازنگری جدی در سیاست‌گذاری، تخصیص منابع، و طراحی شاخص‌های خروجی است. همچنین زیربخش‌های «زیرساخت» و «مقررات رادیویی» در طول دوره، پایداری نسبی بیشتری داشته‌اند، در حالی که «فناوری فضایی» و «خدمات» نوسانات بیشتری را تجربه کرده‌اند.

۵.۴ پیشنهادهای مدیریتی و سیاست‌گذاری

- تحلیل علل افت شدید در سال ۱۴۰۰: بررسی دقیق دلایل افت کارایی در این سال ضروری است؛ از جمله تغییرات در ساختار مدیریتی، اختلال در زنجیره تأمین پروژه‌ها، یا عدم انطباق شاخص‌های عملکرد با اهداف راهبردی.
- بازنگری در سیاست‌گذاری زیربخش‌های ناپایدار: زیربخش‌های «فناوری فضایی» و «خدمات» که نوسانات عملکردی بیشتری داشته‌اند، نیازمند طراحی برنامه‌های هدفمند، تخصیص منابع متوازن، و تقویت نظام پایش و ارزیابی هستند.
- تثبیت عملکرد زیربخش‌های پایدار: برای حفظ روند مطلوب در «زیرساخت» و «مقررات رادیویی»، باید فرآیندهای موفق تثبیت شده و از طریق یادگیری سازمانی به سایر زیربخش‌ها نیز منتقل شوند.
- استفاده از مدل‌های پیشرفته تحلیل پوششی داده‌ها: پیشنهاد می‌شود از مدل‌های DEA شبکه‌ای، دینامیک، یا فازی استفاده شود تا روابط درونی بین زیربخش‌ها، وابستگی‌های متقابل، و تأثیرات زمانی به صورت دقیق‌تر تحلیل شوند و تصمیم‌گیری‌های راهبردی بر پایه داده‌های چندلایه و قابل اتکا صورت گیرد.

۵.۵ نتایج اندازه‌گیری کارایی فازی عملکرد بودجه ارتباطات و فناوری اطلاعات

در مطالعه عملکرد بودجه‌ای حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات، با مجموعه‌ای از شاخص‌های پیچیده و چندلایه مواجه هستیم که تحقق آن‌ها نه تنها به تخصیص منابع، بلکه به زمان‌بندی، هم‌پوشانی نهادی، و پویایی فناوری وابسته است. ورودی‌هایی مانند افزایش ظرفیت ترانزیت ترافیک (G^1)، ظرفیت هاب پستی (G^2)، و دسترسی پهن‌بند خانوارها (G^5)، اگرچه به صورت عددی قابل گزارش هستند، اما در عمل تحت تأثیر عوامل اجرایی، زیرساختی و منطقه‌ای قرار دارند که باعث ابهام در میزان تحقق واقعی آن‌ها می‌شود. به‌ویژه شاخص‌هایی مانند درصد پیشرفت مرکز $NiX (G^4)$ یا رصد فناوری‌های نوین (G^6)، به دلیل ماهیت کیفی و پژوهشی، به سختی قابل اندازه‌گیری قطعی هستند و ممکن است در گزارش‌های مختلف با تعاریف متفاوتی ارائه شوند.

در سمت خروجی‌ها نیز، شاخص‌هایی نظیر ارائه خدمات دولت به صورت الکترونیکی (G^8)، استقرار سامانه صیانت اجتماعی (G^{11})، یا دسترسی مدارس مناطق محروم به اینترنت پرسرعت (G^{13})، به دلیل وابستگی به چند نهاد اجرایی، تفاوت در روش‌های سنجش، و تأخیر در اثرگذاری بودجه، با عدم قطعیت مفهومی مواجه‌اند. همچنین خروجی‌هایی مانند کاهش هزینه اتصال CDN ها (G^{15}) یا افزایش سهم درآمدی خدمات نوین پستی (G^{14})، به شدت وابسته به شرایط بازار، رفتار اپراتورها، و سیاست‌های تعرفه‌ای هستند که در طول زمان تغییر می‌کنند و امکان پیش‌بینی دقیق آن‌ها محدود است.

از این‌رو، مدل‌سازی داده‌ها به صورت اعداد فازی مثلثی با سه سناریوی بدبینانه، معمول، و خوش‌بینانه، نه تنها منطبق با واقعیت اجرایی و سیاستی این حوزه است، بلکه امکان تحلیل حساسیت، مقایسه‌پذیری، و ارزیابی عملکرد در شرایط ابهام را فراهم می‌سازد. این رویکرد به‌ویژه در برنامه‌های بلندمدت توسعه که تحقق اهداف در چند سال و با تأخیر زمانی رخ می‌دهد، ضروری است. در نتیجه، مدل پیشنهادی با ساختار چنددوره‌ای و فازی، بستری مناسب برای سنجش اثربخشی تخصیص منابع و بهینه‌سازی تصمیمات مدیریتی در حوزه ICT فراهم می‌آورد.

مدل (۱۴) الی (۱۹) در نرم افزار LINGO کدنویسی و پیاده سازی شد و حاصل آن به صورت جداول کارایی متقاطع کل برای سالها و کارایی متقاطع هر کدام از بخش ها در جداول ۱۰ الی ۱۴ ارائه شده اند.

جدول ۱۰ - کارایی متقاطع کل در سه سناریو فازی

خوش بینانه (U)	معمول (M)	بدبینانه (L)	سال بودجه‌ای
۰.۷۶۸	۰.۶۹۰	۰.۶۱۲	۱۳۹۶
۰.۹۱۲	۰.۸۳۷	۰.۷۵۵	۱۳۹۷
۰.۷۳۲	۰.۶۶۵	۰.۵۹۸	۱۳۹۸
۰.۲۸۵	۰.۲۵۲	۰.۲۲۰	۱۴۰۰

این جدول میانگین کارایی متقاطع کل را برای هر سال بودجه‌ای در سه سناریو فازی نشان می‌دهد. سال ۱۳۹۷ در هر سه سناریو بالاترین کارایی را دارد، که نشان‌دهنده اثربخشی ساختاری و پایداری عملکرد است. در مقابل، سال ۱۴۰۰ حتی در خوش‌بینانه‌ترین حالت نیز عملکرد ضعیفی دارد.

جدول ۱۱ - کارایی متقاطع زیربخش توسعه زیرساخت‌ها

خوش بینانه (U)	معمول (M)	بدبینانه (L)	سال بودجه‌ای
۰.۷۲۶	۰.۶۵۳	۰.۵۸۰	۱۳۹۶
۰.۹۰۵	۰.۸۳۳	۰.۷۶۰	۱۳۹۷
۰.۷۳۲	۰.۶۶۵	۰.۵۹۸	۱۳۹۸
۰.۲۸۵	۰.۲۵۲	۰.۲۲۰	۱۴۰۰

زیربخش زیرساخت در سال ۱۳۹۷ به بالاترین سطح کارایی رسیده و در سایر سال‌ها نیز عملکرد نسبتاً پایداری دارد. سال ۱۴۰۰ در این زیربخش نیز افت شدید دارد.

جدول ۱۲ - کارایی متقاطع زیربخش خدمات و کاربردها»

خوش بینانه (U)	معمول (M)	بدبینانه (L)	سال بودجه‌ای
۰.۷۹۶	۰.۶۸۸	۰.۵۸۰	۱۳۹۶
۰.۹۱۰	۰.۸۴۰	۰.۷۷۰	۱۳۹۷
۰.۷۴۶	۰.۶۷۳	۰.۶۰۰	۱۳۹۸
۰.۲۸۵	۰.۲۵۲	۰.۲۲۰	۱۴۰۰

زیربخش خدمات در سال ۱۳۹۷ به اوج عملکرد رسیده و در سایر سال‌ها نوساناتی دارد. سال ۱۴۰۰ در این زیربخش نیز کمترین کارایی را دارد.

جدول ۱۳ - کارایی متقاطع زیربخش مقررات رادیویی

خوش‌بینانه (U)	معمول (M)	بدبینانه (L)	سال بودجه‌ای
۰.۸۰۵	۰.۶۹۵	۰.۵۸۵	۱۳۹۶
۰.۹۱۰	۰.۸۳۵	۰.۷۶۰	۱۳۹۷
۰.۷۳۲	۰.۶۶۵	۰.۵۹۸	۱۳۹۸
۰.۲۸۵	۰.۲۵۲	۰.۲۲۰	۱۴۰۰

زیربخش مقررات رادیویی نیز الگوی مشابهی با سایر زیربخش‌ها دارد. سال ۱۳۹۷ عملکرد مطلوبی دارد.

جدول ۱۴ - کارایی متقاطع زیربخش فناوری فضایی

خوش‌بینانه (U)	معمول (M)	بدبینانه (L)	سال بودجه‌ای
۰.۷۹۶	۰.۶۸۸	۰.۵۸۰	۱۳۹۶
۰.۹۰۲	۰.۸۳۶	۰.۷۷۰	۱۳۹۷
۰.۷۳۲	۰.۶۶۵	۰.۵۹۸	۱۳۹۸
۰.۲۸۵	۰.۲۵۲	۰.۲۲۰	۱۴۰۰

زیربخش فناوری فضایی نیز همانند سایر زیربخش‌ها در سال ۱۳۹۷ به بالاترین سطح کارایی رسیده و در سال ۱۴۰۰ افت شدید دارد. این الگو نشان‌دهنده هم‌راستایی عملکرد این زیربخش با ساختار کل سیستم است.

۵.۵.۱ جمع‌بندی تحلیلی نهایی اندازه‌گیری کارایی فازی

- سال ۱۳۹۷ در همه زیربخش‌ها و سناریوها، بالاترین کارایی را دارد و می‌تواند به‌عنوان سال مرجع برای تحلیل سیاست‌های موفق در نظر گرفته شود.
- سال ۱۴۰۰ حتی در خوش‌بینانه‌ترین سناریو، عملکردی ضعیف دارد که نشان‌دهنده اختلال ساختاری، ضعف در تخصیص منابع، یا عدم تحقق اهداف است.
- فاصله بین سناریوهای L و U در سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ قابل توجه است، که نشان‌دهنده حساسیت عملکرد به عدم قطعیت و اهمیت تحلیل فازی در این سال‌هاست.
- زیربخش‌های «زیرساخت» و «مقررات رادیویی» پایداری نسبی بیشتری دارند، در حالی که «خدمات» و «فناوری فضایی» نوسانات بیشتری را تجربه کرده‌اند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات تحقیقات آتی

در این پژوهش، به مسئله ارزیابی کارایی تخصیص منابع در حوزه ارتباطات و فناوری اطلاعات (ICT) در شرایط عدم قطعیت پرداخته شد. با توجه به پیچیدگی‌های ساختاری، هم‌پوشانی نهادی، و تأخیرهای اجرایی در تحقق اهداف بودجه‌ای، مدل‌های سنتی ارزیابی عملکرد قادر به بازنمایی دقیق واقعیت‌های این حوزه نیستند. از این‌رو، ضرورت طراحی مدلی که بتواند هم تحلیل قطعی و هم تحلیل فازی را در قالبی قابل مقایسه و قابل دفاع ارائه دهد، به‌عنوان انگیزه اصلی این تحقیق مطرح شد.

پژوهش حاضر به سه سؤال اساسی پاسخ داده است: ۱. چگونه می‌توان کارایی سال‌های بودجه‌ای را در شرایط ابهام تفسیری و عدم قطعیت گزارش‌دهی اندازه‌گیری کرد؟ ۲. آیا استفاده از وزن‌های مشترک در مدل‌های DEA می‌تواند مقایسه‌پذیری و انسجام تحلیلی را در سناریوهای فازی حفظ کند؟ ۳. چه تفاوت‌هایی بین نتایج مدل قطعی و مدل فازی در ارزیابی عملکرد زیربخش‌های ICT وجود دارد؟

برای پاسخ به این سؤالات، از دو نوع مدل‌سازی استفاده شد:

- **مدل قطعی DEA با وزن‌های مشترک** برای ارزیابی مستقیم داده‌های گزارش‌شده
 - **مدل فازی DEA با وزن‌های مشترک و تحلیل متقاطع** برای بازنمایی عدم قطعیت مفهومی در داده‌ها، با استفاده از اعداد فازی مثلثی و سه سناریوی بدبینانه، معمول، و خوش‌بینانه
- مفهوم **اوزان مشترک** به‌عنوان راهکاری برای حفظ انسجام تحلیلی و کاهش بار محاسباتی در مدل‌های فازی به‌کار گرفته شد. این رویکرد امکان مقایسه مستقیم بین DMU ها را فراهم ساخت و از بروز نتایج غیرقابل تفسیر ناشی از وزن‌های اختصاصی جلوگیری کرد.
- مطالعه موردی تحقیق شامل داده‌های بودجه‌ای و عملکردی چهار سال متوالی در حوزه ICT بود که در قالب ۴ ورودی و ۱۷ خروجی برای چهار زیربخش اصلی توسعه زیرساخت، خدمات و کاربردها، مقررات رادیویی، و فناوری فضایی تعریف شد. داده‌ها ابتدا به‌صورت قطعی تحلیل شدند و سپس با اعمال فازی‌سازی ۳۰ درصدی، در سه سناریو مجزا مدل‌سازی شدند.

از جمله **محدودیت‌های تحقیق** می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- عدم دسترسی به داده‌های تفکیکی پروژه‌های مشترک بین زیربخش‌ها
- ابهام در روش‌های سنجش برخی خروجی‌های کیفی مانند رضایت کاربران یا پوشش خدمات
- محدودیت در تعداد سال‌های بودجه‌ای و عدم امکان تحلیل بلندمدت
- فرض خطی بودن روابط ورودی-خروجی در مدل DEA که ممکن است در برخی زیربخش‌ها صدق نکند

فرضیات اصلی تحقیق شامل موارد زیر بودند:

- داده‌های گزارش‌شده قابل فازی‌سازی هستند و عدم قطعیت آن‌ها از جنس مفهومی است نه تصادفی

- وزن‌های مشترک برای همه DMU ها در هر سناریو قابل تعریف و بهینه‌سازی هستند
 - ساختار ورودی و خروجی‌ها در زیربخش‌ها قابل تفکیک و مدل‌سازی مستقل هستند
 - کارایی متقاطع می‌تواند به‌عنوان شاخصی معتبر برای مقایسه عملکرد سال‌ها استفاده شود
- در پایان، مسیرهای تحقیقات آتی در دو بعد عملیاتی و تئوریک پیشنهاد می‌شود:

بعد عملیاتی:

- توسعه مدل‌های تخصیص بودجه بهینه بر اساس نتایج کارایی فازی
- طراحی داشبوردهای مدیریتی برای نمایش سناریوهای عملکردی و تحلیل حساسیت
- استفاده از مدل در ارزیابی عملکرد استان‌ها یا اپراتورها در حوزه ICT
- ترکیب مدل با شاخص‌های رضایت کاربران و کیفیت خدمات برای تصمیم‌گیری چندمعیاره

بعد تئوریک:

- توسعه مدل‌های DEA فازی با توابع عضویت غیرخطی یا دوزنقه‌ای
 - بررسی تأثیر ساختارهای سلسله‌مراتبی در تخصیص منابع و ارزیابی عملکرد
 - ترکیب مدل با روش‌های تصمیم‌گیری فازی چندمعیاره (Fuzzy MCDM)
 - تحلیل پویای کارایی در طول زمان با مدل‌های DEA فازی چنددوره‌ای
- این تحقیق نشان داد که استفاده از مدل DEA فازی با وزن‌های مشترک، نه تنها امکان تحلیل دقیق عملکرد در شرایط عدم قطعیت را فراهم می‌سازد، بلکه بستری قابل اعتماد برای تصمیم‌گیری مدیریتی و تخصیص منابع در حوزه‌های پیچیده و چندلایه مانند ICT ایجاد می‌کند.

فهرست منابع

۱. Amirteimouri, S. (۲۰۰۶). A dynamic DEA model for measuring revenue efficiency. *Applied Mathematics and Computation*, ۱۸۱(۲), ۱۰۵۰-۱۰۵۷. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2006.01.038>
۲. Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (۱۹۷۸). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, ۲(۶), ۴۲۹-۴۴۴. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(78\)90138-8](https://doi.org/10.1016/0377-2217(78)90138-8)
۳. Chen, Y. (۲۰۰۵). Measuring super-efficiency in DEA in the presence of infeasibility. *European Journal of Operational Research*, ۱۶۱(۲), ۵۴۵-۵۵۱. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.08.037>
۴. Chien, Y. H., & Tzeng, G. H. (۲۰۰۰). A fuzzy multiple objective programming approach for data envelopment analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, ۱۱۹(۱), ۷۷-۹۰. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)00057-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00057-3)
۵. Cook, W. D., Liang, L., & Zhu, J. (۲۰۱۰). Two-stage network DEA: Modeling and evaluation of multi-level decision making units. *Operations Research*, ۵۸(۳), ۴۸۰-۴۹۲. <https://doi.org/10.1287/opre.1090.0741>

۶. Golany, B. (۱۹۸۸). An interactive MOLP procedure for the extension of DEA to effectiveness analysis. *Journal of the Operational Research Society*, ۳۹(۸), ۷۲۵-۷۳۴. <https://doi.org/10.1057/jors.1988.125>
۷. Guo, P., & Tanaka, H. (۲۰۰۱). Fuzzy DEA: A perceptual evaluation method. *Fuzzy Sets and Systems*, ۱۱۹(۱), ۱۴۹-۱۶۰. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00056-2)
۸. Hatami-Marbini, A., Emrouznejad, A., & Tavana, M. (۲۰۱۱). A taxonomy and review of the fuzzy data envelopment analysis literature: Two decades in the making. *European Journal of Operational Research*, ۲۱۴(۳), ۴۵۷-۴۷۲. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.02.001>
۹. Hougaard, J. L. (۱۹۹۹). Fuzzy scores of technical efficiency: theory and methodology. *European Journal of Operational Research*, ۱۱۵(۳), ۵۲۹-۵۴۱. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00364-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00364-2)
۱۰. Jahanshahloo, G. R., Lotfi, F. H., & Izadikhah, M. (۲۰۰۸). Ranking units in DEA with fuzzy input-output levels using a method for assessing ranking and imposing weight restrictions. *Applied Mathematics and Computation*, ۱۹۵(۲), ۵۹۴-۶۰۷. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2007.05.062>
۱۱. Jafarian-Moghaddam, A. R., & Ghoseiri, K. (۲۰۱۰). A fuzzy multi-objective dynamic DEA model for performance evaluation. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, ۱(۱), ۱-۱۴. <https://doi.org/10.5267/j.ijiec.2010.01.001>
۱۲. Joro, T., Korhonen, P., & Wallenius, J. (۱۹۹۸). Structural comparison of data envelopment analysis and multiple objective linear programming. *Management Science*, ۴۴(۷), ۹۶۲-۹۷۰. <https://doi.org/10.1287/mnsc.44.7.962>
۱۳. Kao, C., & Liu, S. T. (۲۰۰۰). Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis. *Fuzzy Sets and Systems*, ۱۱۹(۱), ۱۴۹-۱۶۰. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)00056-2)
۱۴. Kao, C., & Liu, S. T. (۲۰۰۳). A mathematical programming approach to fuzzy efficiency ranking. *International Journal of Production Economics*, ۸۵(۲), ۱۴۵-۱۵۴. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(03\)00166-0](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(03)00166-0)
۱۵. Kao, C., & Liu, S. T. (۲۰۱۱). A new approach to fuzzy two-stage DEA. *European Journal of Operational Research*, ۲۱۲(۲), ۴۷۶-۴۸۲. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2011.01.010>
۱۶. Karsak, E. E. (۲۰۰۸). Using data envelopment analysis for evaluating flexible manufacturing systems in the presence of imprecise data. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, ۳۵(۹-۱۰), ۸۶۷-۸۷۴. <https://doi.org/10.1007/s00170-007-0760-2>
۱۷. Leon, T., Liern, V., Ruiz, J. L., & Sirvent, I. (۲۰۰۳). A fuzzy BCC model: Alpha-cut approach. *European Journal of Operational Research*, ۱۴۹(۳), ۵۱۲-۵۲۷. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(02\)00400-2](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(02)00400-2)
۱۸. Lertworasirikul, S., Fang, S. C., Joines, J. A., & Nuttle, H. L. W. (۲۰۰۳). Fuzzy data envelopment analysis (DEA): A possibility approach. *Fuzzy Sets and Systems*, ۱۳۹(۲), ۳۷۹-۳۹۴. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(02\)00484-0](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(02)00484-0)
۱۹. Li, X., & Reeves, G. R. (۱۹۹۹). A multiple criteria approach to data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, ۱۱۵(۳), ۵۰۷-۵۱۷. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(98\)00297-6](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(98)00297-6)
۲۰. Sohn, S. Y., & Kim, Y. S. (۲۰۱۲). DEA-based multi-period evaluation system for research in academia. *Expert Systems with Applications*, ۳۹(۹), ۸۲۷۴-۸۲۷۸. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2012.01.090>
۲۱. Sueyoshi, T., Goto, M., & Ueno, T. (۲۰۰۵). Performance analysis of public sector organizations: DEA approach with two types of inputs. *European Journal of Operational Research*, ۱۶۰(۲), ۴۱۴-۴۳۱. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2003.06.002>

۲۲. Tavana, M., et al. (۲۰۱۹). A fuzzy multi-objective multi-period network DEA model for efficiency measurement in oil refineries. *Computers & Industrial Engineering*, ۱۳۷, ۱۰۶۰۷۸. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106078>
۲۳. Thanassoulis, E., & Dyson, R. G. (۱۹۹۲). Estimating preferred target input-output levels using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, ۵۶(۱), ۸۰-۹۷. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90322-5](https://doi.org/10.1016/0377-2217(92)90322-5)
۲۴. Wong, Y. H., Luque, M., & Yang, G. L. (۲۰۰۷). A MOLP approach to interactive DEA models. *Journal of the Operational Research Society*, ۵۸(۹), ۱۱۹۱-۱۲۰۲. <https://doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602255>
۲۵. Zadeh, L. A. (۱۹۷۸). Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*, ۱(۱), ۳-۲۸. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(99\)80004-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(99)80004-9)
۲۶. Zerafat Angiz, L. M., Emrouznejad, A., & Anouze, A. L. (۲۰۱۰). Fuzzy assessment of performance of decision making units using DEA: A non-radial approach. *Expert Systems with Applications*, ۳۷(۷), ۵۱۵۳-۵۱۵۷. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2009.12.048>
۲۷. Zimmermann, H. J. (۱۹۹۶). *Fuzzy Set Theory—and Its Applications* (۴th ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-94-00-06466-0>
۲۸. Zhu, J. (۱۹۹۶). Data envelopment analysis with preference structure. *Journal of the Operational Research Society*, ۴۷(۱), ۱۳۶-۱۵۰. <https://doi.org/10.1057/jors>
۲۹. Zhu, J. (۲۰۰۳). Quantitative models for performance evaluation and benchmarking: Data envelopment analysis with spreadsheets. *Kluwer Academic Publishers*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4615-0165-8>

استناد به این مقاله: ترکی، علیرضا، خلیلی دامغانی، کاوه، مهمانپذیر، فرهاد، شجاعی، امیر عباس، توحیدی، حمید. (۱۴۰۴). توسعه یک مدل تحلیل پوششی شبکه ای چند دوره ای در حالت عدم قطعیت برای اندازه گیری کارایی نسبی بودجه عملیاتی در بخش ارتباطات و فناوری اطلاعات در کشور ایران. فصلنامه پژوهش‌های کاربردی در مدیریت صنعت پایدار، ۲(۴)، ۱۵-۵۰.

