مطالعه مدل های تحلیل پوششی بدون ورودی های صریح

چکیده

در ارزیابی‌های عملکرد، داده‌های بدون ورودی‌های صریح (نظیر داده‌های شاخص، داده‌های خروجی خالص) به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. به منظور استفاده مستقیم از این داده‌ها، مقاله حاضر مطالعه‌ای را در خصوص ایجاد مدل‌های تحلیل پوششی بدون ورودی‌های صریح که موسوم به مدل‌های DEA-WEI بوده و قابل کاربرد به زمینه‌های ارزیابی‌ای است که در آن‌ها ورودی‌ها به صورت مستقیم در نظر گرفته نمی‌شوند ارائه می‌کند. ما اصل اساسی این انواع مدل‌ها را ارائه کرده و و سپس در مورد شیوه گنجاندن قضاوت‌های ارزش تصمیم گیران در این مدل‌های DEA-WEI بحث می‌کنیم. چندین مورد از این مدل‌ها استخراج می‌شوند. در نهایت، کاربرد مدل‌های DEA-WEI بررسی می‌شود.

کلمات کلیدی: ارزیابی عملکرد، داده‌های بدون ورودی صریح، تحلیل پوششی داده‌ها

1-مقدمه

در ارزیابی عملکرد، شاخص‌ها (نمایه‌ها) به طور گسترده‌ای در ارزیابی کسب و کار (برای مثال 1)، توسعه انسانی (برای مثال 2-3)، خدمات سلامت (4-5)، رقابت پذیری یا ثروت کشورها (برای مثال (6)، سالنامه رقابت پذیری جهانی 2006 توسط موسسه بین المللی توسعه مدیریت، IMD) و سایرین استفاده می‌شوند. فرض کنید که x_i و y_r ورودی و خروجی یک واحد تصمیم گیری (DMU) باشد، آنگاه داده‌های شاخص به فرم $e_{ir}=y_r/x_i$ نظیر سرانه تولید ناخالص داخلی (در صورتی که نیروی انسانی به صورت ورودی در نظر گرفته شود) و استنادها به ازای هر مقاله یا حاشیه سود و غیره خواهد بود. به علاوه، در ارزیابی کارایی یا اثر بخشی نظیر قدرت کشورها یا عملکرد دانشجویان، تنها خروجی‌ها به طور صریح استفاده می‌شوند. از این روی بازیابی رابطه صریح ورودی-خروجی میان داده‌ها، که در زمینه‌های ارزیابی مدل‌های DEA استاندارد لازم است، گاهی مواقع سخت است.

در زمینه‌های کاربردی، برخی از فنون تجمیع اغلب برای تولید یک امتیاز عملکرد از داده‌های شاخص استفاده می‌شوند. رایج‌ترین روش، محاسبه مجموع وزنی شاخص‌ها$(\sum w_{ir}e_{ir})$ برای دست یابی به شاخص ترکیبی

عملکرد DMU می‌باشد (که موسوم به رویکرد نسبت یا تحلیل جامع است). با این حال، شیوه انتخاب مناسب اوزان (w_{ir})، منبع اصلی مشکل در کاربرد این روش است. روش‌های رایج و محبوب برای تعیین اوزان شامل داوری همتا از طریق روش دلفی یا فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، روش‌های آماری نظیر تحلیل رگرسیون و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و روش آنتروپی می‌باشد. به (7-12) مراجعه کنید. اوزان یکسان برای همه DMU ها در روش‌های فوق استفاده می‌شوند. با این حال، این موضوع منشاء اختلاف نظر در خصوص نتایج ارزیابی نهایی بوده است.

تحلیل پوششی داده‌ها (DEA) یک روش غیر پارامتریک برای شناسایی مرز بهروش[1] نسبت به تمایل مرکزی بوده و تنها DMU های روی مرز به صورت کارامد طبقه بندی می‌شوند. در این روش، DMU ها می‌توانند به طور آزادانه، اوزان خود را برای بیشینه سازی امتیازهای عملکرد انتخاب کنند. چون اولین مقاله DEA در مجله EJOR در 1978(13) منتشر شد، به یک ابزار جذاب ارزیابی عملکرد در هر دو بخش‌های انتفاعی و غیر انتفاعی تبدیل شده است. مدل‌های تحلیل پوششی داده استاندارد از طریق داده‌های ورودی و خروجی DMU فرموله شده‌اند. با این حال، همان طور که در بالا گفته شد، مجموعه داده‌ها گاهی اوقات بدون ورودی هستند و یا داده‌های ورودی- خروجی اصلی نمی‌توانند به آسانی بازیابی شوند. برای مثال، در ارزیابی موسسه‌های تحقیقاتی در آکادمی علوم چین (CAS)، داده‌های شاخص شامل تعداد مقالات به ازای هر کارمند، بودجه تحقیقاتی به ازای هر کارمند، استنادات به مقالات و غیره هستند. بدیهی است که بازیابی ورودی‌ها وخروجی های اولیه به طور مستقیم از این شاخص‌ها سخت است زیرا انتشارات و مقالات هم به شکل صورت و هم به شکل مخرج استفاده می‌شوند، و این در حالی است که در این مورد خاص، ورودی‌ها و خروجی‌های اصلی در حقیقت از دیتابیس CAS قابل دسترس هستند. در برخی از موارد،CAS تنها از خروجی‌ها برای ارزیابی مؤسسات تحقیقاتی بدون در نظر گرفتن ورودی‌ها استفاده می‌کنند. به علاوه، در زمینه‌های کاربردی، اغلب تنها بخشی از نمایه‌ها قابل دسترس بوده یا معنی دار می‌باشند. در منابع DEA، مدل‌های DEA برای داده‌های شاخص نظیر (5، 15،3،14) موجود هستند.

---

[1] best-practice frontier

هدف این مقاله، ارائه یک پیش زمینه نظری سیستمی برای این مدل‌ها در مطالعات قبلی می‌باشد. این مقاله به صورت زیر سازمان دهی شده است: بخش 2، نسخه ریاضی مدل‌های DEA پایه را بدون ورودی‌های صریح ارائه می‌کند. بخش 3 به بحث درمورد قضاوت ارزش در این مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها می‌پردازد. بخش 4 یک مطالعه تجربی را در خصوص این مدل‌های DEA ارائه کرده و نتیجه گیری در بخش 5 ارائه شده است.

2- مدل‌های پایه تحلیل پوششی داده بدون ورودی‌های صریح

با استناد به زمینه‌های متفاوت فوق الذکر، ما به بررسی مدل‌های DEA بدون ورودی‌های صریح (موسوم به مدل‌های WEI-DEA) با اتخاذ یک رویکرد بدیهی برای پوشش دادنزمینه های مختلف (16،13، 17) برای جزییات رویکرد بدیهی برای مدل‌های DEA کلاسیک) می‌پردازیم. بدیهی است که این مدل‌های DEA را می‌توان برای ارزیابی کارایی و نیز اثربخشی استفاده کرد که در آن ورودی‌ها همانند ارزیابی عملکرد ارزیابی دانشجویان و یا قدرت اقتصادی کل کشورها در نظر گرفته نمی‌شوند. برای این منظور، ما ابتدا موارد زیر را تعریف می‌کنیم:

تعریف 1(مجموعه قابل حصول): یک مجموعه قابل حصول AS، یک زیر مجموعه ناتهی در R_+^n است. در صورتی که مؤلفه $Y \in AS, \ \ Z \le Y,$ باشد به صورت لایه دسترس آزاد[2] در نظر شده و آنگاه $Z \in AS$ می‌باشد. اگر $Z, \ \ Y \in AS,$ باشد به صورت محدب بوده و سپس $\lambda Z + (1-\lambda)Y \in AS,$ به ازای هر $0 \le \lambda \le 1$ است.

فرض کنید که $\{Y_j | j = 1, \ldots, n\}$ گروهی از داده‌ها در R_+^n باشد. آنگاه، کوچک‌ترین مجموعه قابل حصول دسترس ازاد و محدب بسته که در بر گیرنده مشاهدات است را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$AS = \left\{ Y \middle| Y \le \sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_j, \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \lambda_j \ge 0. \right\}$$

آنگاه مدل تحلیل پوششی داده‌ها برای مشاهده تحت ارزیابی (Y_0) ، شناسایی عناصر واقعی در as با بیشترین عملکرد باقی مانده (با شاخص معین) نسبت به Y_0 است. به (18) مراجعه کنید. با استفاده از شاخص شعاعی و استدلال‌های کلاسیک اقتصاد، مدل DEA-WEI را بدست می اوریم: $\max\{\theta | \theta Y_0 \in AS\}$، یعنی

---

[2] Free-disposal

$$\theta^* = \max \quad \theta$$

مشروط بر این که

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j Y_j \geq \theta Y_0, \qquad (1)$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0,$$
$$j = 1, \ldots, n.$$
باشد.

توجه کنید که ما صریحاً متغیرهای ورودی در مجموعه قابل حصول را در نظر نمی‌گیریم. از این روی ما تنها مجموعه‌های قابل حصول محدود را در نظر خواهیم گرفت زیرا در غیر این صورت راه حل‌های بیکران در نظر گرفته شده و یا برنامه غیر عملی خواهد بود. در قضیه زیر، ما فهرستی از شیوه‌های ایجاد یک مجموعه قابل حصول را ارائه کرده‌ایم.

قضیه 1: اگر $P=\{(X,Y)\}$ مجموعه احتمال تولید کران دار (PPS) باشد، که یک مجموعه فناوری محدب بسته و دسترس آزاد باشد. آنگاه، مجموع همه خروجی‌ها:

ASI=(Y: یک X وجود دارد به طوری که $(X,Y) \in P$ باشد)، تعریف کننده یک مجموعه قابل حصول دسترس آزاد و محدب بسته کرانداراست.

فرض کنید که $\{(X_j,Y_j)|j=1,...,n\}$ گروهی از داده‌های ورودی وخروجی باشد. آنگاه:

$$ASII = \left\{ F \leq \sum_{j=1}^{n} \lambda_j \frac{Y_j}{X_j}, \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0 \right\}$$

مجموعه قابل حصول دسترسی آزاد و محدب بسته کراندار را تعریف می‌کند که در آن داده‌های تقسیمی

$$\left\{ \frac{Y}{X} = \left(\frac{y_1}{x_1}, \frac{y_2}{x_1}, \ldots, \frac{y_s}{x_1}, \frac{y_1}{x_2}, \ldots, \frac{y_s}{x_2}, \ldots, \frac{y_1}{x_m}, \ldots, \frac{y_s}{x_m} \right) \right\}$$

بردارهای با ابعاد $s \times m$ با $X = (x_1, x_2, \ldots, x_m)$ و $Y = \quad (y_1, y_2, \ldots, y_s)$ می‌باشند.

اثبات: ما ابتدا نتیجه گیری یک را نشان می‌دهیم:

P کران دار است، بنابر این زیر مجموعه ASI است. اگر $Z,\ Y\in ASI,$ باشد، آنگاه X,W وجود دارد به طوری که $\lambda(W,Z)+\ \ (1-\lambda)(X,Y)\in P,$ است. چون P محدب است به طوری که $(W,Z),\ (X,Y)\in P$ به ازای $0\leq\lambda\leq 1$ است. از این روی $\lambda Z+(1-\lambda)Y\in ASI$ بر طبق تعریف خواهد بود. در نهایت اگر $Y\in ASI$ و $Z\leq Y$ باشد، از تعریف $X:(X,Y)\in P$ پیروی می‌کند. چون P دسترسی آزاد است، لذا $(X,Z)\in P$ و $Z\in ASI$ می‌باشد.

به ازای ASII، بدیهی است که این کران دار و دسترس آزاد است. فرض کنید که $F^1,F^2\in ASII$ باشد. آنگاه

$$F^1\leq\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1\frac{Y_j}{X_j},\ \ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^1=1,\lambda_j^1\geq 0,$$
$$F^2\leq\sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2\frac{Y_j}{X_j},\ \ \sum_{j=1}^{n}\lambda_j^2=1,\lambda_j^2\geq 0.$$

لذا به ازای هر $0\leq\lambda\leq 1$ داریم

$$\lambda F^1+(1-\lambda)F^2\leq\sum_{j=1}^{n}(\lambda\lambda_j^1+(1-\lambda)\lambda_j^2)\frac{Y_j}{X_j},$$
$$\sum_{j=1}^{n}(\lambda\lambda_j^1+(1-\lambda)\lambda_j^2)=1.$$

از این روی، $\lambda F^1+(1-\lambda)F^2\in ASII$ خواهد بود.

بدیهی است که استفاده از ASI منجر به مدل‌های DEA-WEI می‌شود که برای ارزیابی کارایی یا اثر بخشی استفاده می‌شود، در حالی که ASII برای کاربرد داده‌های شاخص استفاده می‌شود، اگرچه آن‌ها هر دو دارای یک فرم هستند. می‌توان استدلال کرد که در ASII، بازده ثابت نسبت به مقیاس (CRS) فرض می‌شود.

مدل (1) توسط لاول و پاستور (19) استفاده شد که در آن محققان این مدل را به صورت مدل BCC خروجی محور با برابر قرار دادن ورودی‌ها برابر با 1 در نظر گرفتند. پیشرفت‌های بیشتر توسط هالینگورث و اسمیت (20) انجام شد. هالکوس و سالماریوس (1) اندازه گیری ارزیابی بانک‌های تجاری یونان را با استفاده از مدل (1) با شش نسبت مالی (داده‌های شاخص) نظیر سود و زیان به ازای هر کارمند، بازده کل دارایی، حاشیه نرخ بهره حالص و سایرین، پیشنهاد کرده‌اند.

از سوی دیگر، امکان استفاده از اصل DEA برای مدیریت مستقیم نمایه‌ها و شاخص‌ها وجود دارد. به ازای $j=1,\ldots,n,$ ، فرض کنید که $(x_1^j,x_2^j,\ldots,x_m^j)$ به صورت ورودی و $(y_1^j,y_2^j,\ldots,y_s^j)$ به صورت خروجی‌های DMU_j باشد. مدل‌های DEA برای داده‌های شاخص، به طور مستقیم از برخی از نمایه‌ها استفاده می‌کنند: $e_{ir}^j=y_r^j/x_i^j$(شاید همه این نمایه‌ها مناسب نباشند) برای ارزیابی عملکرد DMU ها استفاده می‌شوند. در این جا فرض می‌شود که همه ورودی‌ها و خروجی‌ها مطلوب می‌باشند به طوری که هدف بیشینه سازی مجموع وزنی است. در نتیجه، امکان برآورد امتیاز عملکرد با حل مدل DEA زیر وجود دارد:

$$\begin{aligned}&h=\sum w_{ir}e_{ir}^0\\&\sum w_{ir}e_{ir}^j\le 1,\quad j=1,\ldots,n,\\&w_{ir}\ge 0,\quad i=1,\ldots,m,\quad r=1,\ldots,s.\end{aligned}\tag{2}$$

لذا، اوزانw_{ir} ، حداکثر امتیاز را برای DMU0 می‌دهد. این مدل اولین بار توسط فرناندز-کاسترو و اسمیت (21) بحث شده و سپس در (14) استفاده شد. مدل 2 نیز همانند مدل DEA بدون ورودی است. به (2-3) مراجعه کنید.

ما سپس به بررسی رابطه دو مدل می‌پردازیم. نسخه دیگر مدل 2 به صورت زیر نوشته می‌شود:

حداقل $\sum_{j=1}^{n}\lambda_j$ مشروط به

$$\begin{aligned}&\sum_{j=1}^{n}\lambda_jY_j\ge Y_0,\\&\lambda_j\ge 0,\quad j=1,\ldots,n\end{aligned}\tag{3}$$

است.

در صورتی که فرض شود $t=\sum_{j=1}^{n}\lambda_j,\lambda_j'=\lambda_j/t,$ و$\theta=1/t,$ می‌باشد، و λ_j باλ_j' جایگزین شود، آنگاه مدل 3 را می‌توان به صورت زیر بیان کرد

مقدار بیشینه θ

$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} \geq \theta y_{r0},$$
$$\sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \quad \lambda_j \geq 0,$$
$$j = 1,\ldots,n, \quad r = 1,\ldots,s.$$

مشروط بر

می‌باشد. که همان مدل (1) است. از این رو، مقدار بهینه مدل (1) در طرف مقابل مدل (2) با $h^* = 1/\theta^*$ است. از این روی، مدل‌های DEA-WEI با فرم مضرب فاقد رابطه مستقیم دودویی با فرم پوششی همانند مدل‌های DEA استاندارد می‌باشد.

به علاوه، ما در مورد رابطه بین مدل‌های فوق و مدل‌های DEA استاندارد بحث می‌کنیم. اکنون فرض کنید که DMU دارای ورودی واحد و خروجی نمایه y_{rj}. است. سپس، مدل CCR DEA نسبت استاندارد به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\begin{aligned} &\max && h_0 = \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^{m} v_i} \\ &\text{subject to} && \frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i} \leq 1, \quad j = 1,\ldots,n, \\ &&& v_i, u_r \geq 0, \quad i = 1,\ldots,m, \quad r = 1,\ldots,s. \end{aligned} \tag{4}$$

با در نظر گرفتن اوزان جدید، داریم

$$\begin{aligned} &\max && h_0 = \sum_{r=1}^{s} \mu_r y_{r0} \\ &\text{subject to} && \sum_{t=1}^{s} \mu_r y_{rj} \leq 1, \quad j = 1,\ldots,n \\ &&& v_i, \mu_r \geq 0, \quad i = 1,\ldots,m, \quad r = 1,\ldots,s. \end{aligned}$$

این دقیقاً مشابه با مدل (2) است.

اگر اکنون مدل BCC خروجی محور مضربی را بررسی کنیم:

$$\begin{aligned}
\min \quad & h=\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0}+u_0 \\
\text{subject to} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}-\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}-u_0 \le 0, \quad j=1,\ldots,n, \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}=1, \\
& u_r, v_i \ge 0, \quad u_0 \text{free}
\end{aligned}$$

اکنون فرض کنید که ورودی برابر با 1 باشد و با استفاده از متغیر غیر منفی جدید، $\sum_{i=1}^{m} v_i+u_0=\lambda,$ ، مدل به صورت زیر نوشته می‌شود

$$\begin{aligned}
\min \quad & \lambda \\
\text{subject to} \quad & \sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} \le \lambda, \quad j=1,\ldots,n, \\
& \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}=1, \\
& u_r, \lambda \ge 0.
\end{aligned}$$

سپس با اختیار کردن اوزان جدید $w_r=u_r/\lambda,$ ، داریم

$$\begin{aligned}
\max \quad & \sum_{r=1}^{s} w_r y_{r0} \\
\text{subject to} \quad & \sum_{r=1}^{s} w_r y_{rj} \le 1, \quad j=1,\ldots,n, \\
& w_r \ge 0.
\end{aligned}$$

این دقیقاً همان مدل (2) است. به طور مشابه می‌توان نشان داد که مدل BCC یا CCR خروجی محور به مدل (1) بر اساس این واقعیت که قید $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j=1$ در مدل (1) می‌تواند به طور معادل با $\sum_{j=1}^{n} \lambda_j \le 1$ جایگزین شود کاهش می‌یابد.

در این صورت، مدل DEA-WEI افزایشی دارای فرم زیر است:

$$
\begin{aligned}
\max \quad & \sum_{r=1}^{s} s_r^+ \\
\text{subject to} \quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0}, \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \\
& s_r^+ \geq 0, \quad r = 1,\ldots,s, \\
& \lambda_j \geq 0, \quad j = 1,\ldots,n.
\end{aligned} \tag{5}
$$

توجه کنید که هیچ گونه متغیر مجازی ورودی در مدل فوق وجود ندارد، و می‌توان از فرمول SBM برای جایگزین کردن تابع هدف در (5) برای داشتن مدل SBM DEA-WEI استفاده کرد.

(4)

$$
\begin{aligned}
\min \quad & e = \frac{1}{1 + (1/s) \sum_{r=1}^{s} (s_r^+ / y_{r0})} \\
\text{subject to} \quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{rj} - s_r^+ = y_{r0}, \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \\
& s_r^+ \geq 0, \quad r = 1,\ldots,s, \\
& \lambda_j \geq 0, \quad j = 1,\ldots,n.
\end{aligned} \tag{6}
$$

مدل (5) مدل DEA-WEI افزایشی است که توسط کای و وو (22) برای ارزیابی موقعیت مالی یازده شرکت فناوری اطلاعات استفاده شده است که در آن چهار شاخص مالی سنتتیک استفاده گردید. محققان از این مدل با برابر قرار دادن ورودی با مقدار یک استفاده کردند ولی توضیحی در مورد دلیل استفاده از این مدل وجود ندارد. یکی از مزایای این مدل این است که قادر به مدیریت مستقیم داده‌های منفی است. برای مدیریت داده‌های منفی با استفاده از مدل (1)، امکان استفاده از تبدیل مناسب یا فاصله جهت دار وجود دارد. به (23) برای کسب جزییات بیشتر مراجعه کنید. به طور مشابه امکان بحث مدل DEA-WEI با استفاده از اندازه گیری راسل وجود دارد (به مدل 14 در بخش 3 مراجعه کنید).

اگر اکنون فرض نکنیم که ورودی‌ها برابر با مقدار واحد هستند، و فرض کنیم که متغیر ورودی، تکین است، آنگاه مدل CCR خروجی محور به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$
\begin{aligned}
\max \quad & \theta \\
\text{subject to} \quad & \sum_{j=1}^{n} x_{1j}\lambda_j' = x_{10}, \\
& \sum_{j=1}^{n} z_{rj}\lambda_j' \geq \theta z_{r0}, \\
& \lambda_j' \geq 0, \quad r=1,\ldots,s, \quad j=1,\ldots,n.
\end{aligned}
$$

توجه کنید که محدودیت برای ورودی بایستی الزام آور باشد و بنابر این با معادله جایگزین می‌شود. فرض کنید که $y_{rj}=z_{rj}/x_{1j},\ y_{r0}=z_{r0}/x_{10}$ و $\lambda_j = x_{1j}\lambda_j'/x_{10}$، باشد، آنگاه می‌توان دید که این دقیقاً مدل (1) است. با این حال، امکان تبدیل مشابه برای مدل دو دویی BCC وجود ندارد. بنابر این نشان می‌دهد که مفهوم بازده نسبت به مقیاس در مدل‌های DEA برای داده‌های شاخص مبهم است زیرا آن‌ها شامل مواردی هستند که در آن‌ها ورودی‌ها در نظر گرفته نمی‌شوند. در حقیقت، مقیاس بندی مجدد خروجی‌ها در این مدل‌های DEA، مناسب نیست.

به طور خلاصه، با استفاده از مدل‌های تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک با ورودی‌های واحد، امکان استخراج مدل‌های DEA-WEI متناظر وجود دارد. در این صورت، هر دو مدل CCR و bcc به اشکال یکسان مدل‌های DEA-WEI کاهش می‌یابند. در صورتی که PPS نوع ASII استفاده شود؛ آنگاه CRS به طور ضمنی فرض می‌شود. در مورد ورودی تکین، م امکان تبدیل مستقیم مدل CCR به مدل DEA-WEI وجود دارد. با این حال مدل‌های (1) و (2) زمینه‌های بیشتری را پوشش می‌دهند (برای مثال، تنها موارد مربوط به داده‌های خروجی).

در نهایت ما به طور مختصر در مورد مسئله داده‌های دارای همبستگی بحث می‌کنیم. اگرچه داده‌های شاخص مربوط به بخش‌های مختلف داده‌های اصلی می‌باشد و موجب افزایش همبستگی میان داده‌های تقسیمی می‌شود، با این حال از هم ارزی بین CCR و مدل (1) با ورودی تکین پیروی می‌کند که در آن اثرات احتمالی بر روی نتایج اثر بخشی DEA نهایی بایستی مشابه با مورد CCR استاندارد باشد که در (24) بحث شده است و به این ترتیب، حذف متغیرهای همبستگی بایستی اجتناب شود.

3- قضاوت ارزشی در مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها بدون ورودی‌های صریح

همان طور که در بالا نشان داده شد، گاهی اوقات استفاده از نسبت‌ها در شرایط واقعی اجتناب ناپذیر است. این خود یک سری ملاحظات مهمی را در اختیار می‌گذارد که مستلزم توجه دقیق هستند و اولین بار توسط فرناندز کاسترو و اسمیت (21) خاطر نشان شده است. یک نکته ویژه بحث شده این است که مفهوم بازده نسبت به مقیاس به طور کلی در مدل‌های DEA-WEI مبهم است. دیگر مسئله مهم، قضاوت ارزشی است که در زیر بررسی خواهد شد.

در بسیاری از زمینه‌های DEA، قضاوت‌های ارزشی تصمیم گیران (DM) بایستی لحاظ شود. ماهلبرگ و ابرستینر (2) و دسپاتیس (3-15) به بررسی کاربرد این مدل در تحلیل توسعه انسانی پرداختند که در آن سه شاخص- طول عمر، دستاورد تحصیلی و استاندارد زندگی به عنوان سه خروجی برای منعکس کردن ابعاد اصلی توسعه انسانی استفاده شدند. در این مدل‌ها، هر نمایه دارای اهمیت منحصر به فردی بوده و قابل جایگزین نیست، به طوری که در آن‌ها DMU0 ها در صورتی می‌توانند کارامد باشند که تنها یکی از سه خروجی به شدت بالا باشد. با این حال، دو فرض ممکن است در بسیاری از شرایط به دلیل قضاوت‌های ارزشی تصمیم گیران (DM ها) مناسب نباشد و این موضوع در (25، 26 و 18) نشان داده شده است. ما در مورد این مسائل از طریق فرم پوششی مدل‌هایDEA-WEI در این بخش بحث می‌کنیم که مستقیماً از قضاوت‌های ارزشی با تغییر اولویت‌ها استفاده می‌کند که در (27-29) نشان داده شده است.

اگر بردار سه بعدی Y_i بیانگر نمرات ریاضی، فیزیک و شیمی دانشجوی i در دانشکده ریاضیات باشد. فرض کنید که دانشکده اکنون در صدد ارزیابی عملکرد دانشجویان است. عرفا این ارزیابی بدون در نظر گرفتن ورودی‌ها انجام خواهد شد و به این ترتیب مدل‌های DEA-WEI را می‌توان استفاده کرد. در صورتی که همه نمرات دارای اهمیت برابر و غیر قابل جایگزین باشد، مدل‌های DEA اولیه بحث شده در بخش 2 کافی خواهد بود. با این حال، این مسئله همیشه صادق نیست. برای مثال، دانشکده ممکن است فکر کند که نمرات ریاضی مهم‌تر باشد. یک رویکرد احتمالی، استفاده از محدودیت‌های وزنی در مدل (2) است. در این جا ما تنها به بررسی مفیدترین نوع می‌پردازیم. اغلب اوقات، این قضاوت ارزشی با افزودن محدودیت‌های $(\mu_1/\mu_2) \geq \alpha, (\mu_2/\mu_3) \geq \beta$ در مدل (2) نشان داده می‌شود که در آن $\alpha, \beta \geq 1$ ثابت است: منطقه اطمینان نوع 1(ARI)(25). به منظور درک معانی ضمنی در این مدل، ما ابتدا معادله زیر را استخراج می‌کنیم:

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta \\ \text{subject to} \quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{1j} \geq \theta y_{10} + \gamma_1, \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{2j} \geq \theta y_{20} - \alpha\gamma_1 + \gamma_2, \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{3j} \geq \theta y_{30} - \beta\gamma_2, \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \quad \gamma_1, \gamma_2, \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \ldots, n. \end{aligned}$$

سپس، ما مدل فوق را به معادله زیر تبدیل می‌کنیم

$$\begin{aligned} \max \quad & \theta \\ \text{subject to} \quad & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j y_{1j} \geq \theta y_{10}, \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j (\alpha y_{1j} + y_{2j}) \geq \theta(\alpha y_{10} + y_{20}), \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j (\beta\alpha y_{1j} + \beta y_{2j} + y_{3j}) \geq \theta(\beta\alpha y_{10} + \beta y_{20} + y_{30}), \\ & \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \quad \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, \ldots, n. \end{aligned} \tag{7}$$

بدیهی است که سه مجموع وزنی نمرات برای مقایسات در این مدل تحلیل پوششی داده‌ها استفاده می‌شود و معنی دقیق "نمره ریاضی مهم‌تر هستند" مشهودتر است. برای مدل عمومی ARI، امکان پیروی از چارچوب مدل نسبت مخروطی توسط کارنز و همکاران (30) برای فرموله کردن مدل DEA-WEI نسبت مخروطی معادل وجود دارد که اوزان را در مخروط U محدود می‌کنند:

$$\begin{aligned} \max \quad & u^T y_0 \\ \text{subject to} \quad & u^T y_j \leq 1, \quad j = 1, \ldots, n, \\ & u \in U \subset R_s^+. \end{aligned} \tag{8}$$

وقتی که $U = R_s^+$ باشد، به مدل تحلیل پوششی داده‌های (2) تبدیل می‌شود. در شرایط عملی، قضاوت‌های ارزشی در مدل با تعریف یک مخروط پلی هدرال یا چند وجهی مناسب U قرار می‌گیرند.

می‌توان گفت که مخروط $U \subset R_s^+$ یک مخروط چند وجهی است اگر دارای فرم نیم فضا[3] باشد. $U = \{u | Du \geq 0\}$ که در آن D ماتریس $l \times s$ باشد و U یک بردار $s \times 1$ است. به طور کلی‌تر، محدودیت‌های ARI می‌توانند به این ترتیب در قضاوت ارزشی به کار روند. برای کسب جزییات بیشتر به (25-26) مراجعه کنید. می‌توان به آسانی ماتریس D را در مثال فوق شناسایی کرد.

با این حال، همیشه یافتن نسخه معادل مدل (8) وجود ندارد. در صورتی که مخروط با مجموعه محدودی از بردارها تولید شوند، می‌تواند به صورت زیر بازنویسی شود:$U = \{u | u = B^t\gamma, \gamma \geq 0\}$، که در آن B^T ماتریس $s \times l$ است و γ، بردار $l \times 1$ است سپس با استفاده از تبدیل داده امکان بازنویسی مدل 8 به صورت مدل 9 وجود دارد و سپس مدل دوگانه (10) آن به صورت زیر یافته می‌شود:

مدل فرم نسبت مخروط	مدل فرم پوششی نسبت مخروط
$$\begin{aligned} \max \quad & h = \gamma^T (BY_0) \\ \text{subject to} \quad & \gamma^T (BY) \leq 1, \\ & \gamma \geq 0. \end{aligned} \qquad (9)$$	$$\begin{aligned} \max \quad & \theta \\ \text{subject to} \quad & (BY)\lambda \geq \theta (BY_0), \\ & \lambda^T e = 1, \quad \lambda \geq 0. \end{aligned} \qquad (10)$$

که مقدار بهینه مدل (9)، در طرف مقابل مدل (10) قرار داشته و با $h^* = 1/\theta^*$ بیان می‌شود.

در مثال مربوط به ارزیابی عملکرد دانشجویان،B $\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \alpha & 1 & 0 \\ \alpha\beta & \beta & 1 \end{pmatrix}$ است. متاسفانه، امکان یافتن ماتریس B برای بازنویسی U در فرم $U = \{u | u = B^T\gamma,\ \gamma \geq 0\}$ وجود ندارد. کارنز و همکاران (31) و براکت و همکاران (40) در مورد روابط بین ماتریس‌های B و D تحت شرایط مختلف بحث کرده‌اند. برای مثال، اگر D برابر با $s \times s$ باشد و دارای یک اینورس باشد، آنگاه $B^T = D^{-1}$ را اختیار می‌کنیم.

---

[3] half space

در زیر امکان بیان قضاوت‌های ارزشی از طریق اولویت‌ها وجود دارد. یک اولویت، رابطه دقیق برای شفاف سازی معانی برای عبارت‌های مبهم نظیر " بهتر، بدتر" است. پر واضح است که بایستی دانش کافی در خصوص این معانی قبل از انجام ارزیابی وجود داشته باشد. کلاسیک‌ترین نمونه از اولویت‌ها، اترتیب عددی برای اعداد حقیقی نظیر "$5 > 3$" و "$4 < 6$" است. این ترتیب را می‌توان به ستون و یا جدول اعداد حقیقی نظیر اولویت پارتو که در اقتصاد استفاده شده و هر یک از مؤلفه‌های بردارها را مقایسه می‌کند تعمیم داد. در مثال فوق، دانشکده ممکن است که تصور کند اگر نمرات ریاضی و نمره کل بالاتر باشد، دانشجوی **i** از دانشجوی **j** بهتر است، یعنی اولویت به صورت زیر نوشته می‌شود دانشجوی **i** بهتر از دانشجوی **j** است اگر:

$$\begin{aligned} y_{1i} &\geq y_{1j} \\ y_{1i}+y_{2i}+y_{3i} &\geq y_{1j}+y_{2j}+y_{3j} \end{aligned} \qquad (11)$$

در صورتی که دانشکده تصور کند که همه نمرات اهمیت برابر داشته و قابل جایگزین هستند، آنگاه جمع نمرات برای مقایسه استفاده می‌شود به طوری که دانشجوی **i** بهتر از دانشجوی **j** است اگر

$$y_{1i}+y_{2i}+y_{3i} \geq y_{1j}+y_{2j}+y_{3j} \qquad (12)$$

نامساوی‌های فوق را می‌توان به صورت ماتریس نوشت. به ازای معادله 11، می‌توان داشت $B=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$، به این ترتیب عملکرد دانشجوی **i** بهتر از عملکرد دانشجوی **j** در ماتریس اولویت خواهد بود اگر و تنها اگر شرط $BY_i \geq BY_j$ در اولویت پارتو برقرار باشد. برای اولویت میانگین (12)، $B=(1 \quad 1 \quad 1)$. است. در نهایت، اگر فرض کنیم که $B=I=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$ یا $B=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ \alpha & 1 & 0 \\ \alpha\beta & \beta & 1 \end{pmatrix}$ باشد آنگاه اولویت ماتریس تها اولویت پارتو یا اولویت مورد استفاده در مدل (7) است. به طور دقیق‌تر در مدل (7) فرض می‌شود که اولویت به صورت زیر بیان می‌شود: برای یک سطح ورودی معین، DMU_i بهتر از DMU_j است اگر و تنها اگر شرط زیر برقرار باشد

$$
\begin{array}{rcl}
y_{1i} & \geq & y_{1j} \\
\alpha y_{1i}+y_{2i} & \geq & \alpha y_{1j}+y_{2j} \\
\beta\alpha y_{1i}+\beta y_{2i}+y_{3i} & \geq & \beta\alpha y_{1j}+\beta y_{2j}+y_{3j},
\end{array}
$$

در حقیقت اولویت‌های مفیدتری همانند اولویت واژگانی وجود دارد به (18-28) برای کسب جزییات بیشتر مراجعه کنید.

به این ترتیب، قضاوت‌های ارزشی را می‌توان از طریق اولویت‌ها بیان کرد. ما از یک رویکرد دیگر برای استفاده از قضاوت ارزشی استفاده می‌کنیم: استفاده از شاخص‌ها و اولویت‌ها در مدل‌های تحلیل پوششی داده دوگانه نظیر مدل 1 برای استفاده از قضاوت‌های ارزش (به 27 برای کسب جزییات بیشتر مراجعه کنید). برای مثال، با جایگزینی اولویت پارتو با اولویت ماتریس در مدل 1، می‌توان مدل DEA زیر را داشت:

$$
\begin{array}{ll}
\max\limits_{\theta,\lambda} & \theta \\
\text{subject to} & \sum\limits_{j=1}^{n} BY_j\lambda_j \geq \theta\, BY_0, \\
& \sum\limits_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \quad \lambda_j \geq 0.
\end{array}
\qquad (13)
$$

که B ماتریس در تعاریف اولویت ماتریس برای تعیین جبران بین این خروجی‌هاست. فرض کنید که مدل 12 مشابه با مدل 10 باشد، با این حال بایستی از U در مدل 10 استفاده کرد، در حالی که مدل (13) در صورتی می‌تواند مستقیماً استفاده شود که قضاوت ارزشی در اولویت ماتریس همانند فوق بیان شود. این مدل در بخش 4 استفاده خواهد شد.

به علاوه، در بسیاری از زمینه‌ها، فرض انبساط یا انقباض شعاعی، منطقی نیست به (32) مراجعه کنید. سپس می‌توان از شاخص اندازه گیری راسل استفاده کرده و مدل زیر را باید در نظر گرفت:

$$
\begin{array}{ll}
\max & \frac{1}{s}\sum\limits_{r=1}^{s}\theta_r \\
\text{subject to} & \sum\limits_{j=1}^{n}\lambda_j y_{rj} = \theta_r y_{r0} \\
& \sum\limits_{j=1}^{n}\lambda_j = 1 \\
& \theta_r \geq 1, \quad r=1,\ldots,s \\
& \lambda_j \geq 0, \quad j=1,\ldots,n.
\end{array}
\qquad (14)
$$

اگر محدودیت $\theta_r \geq 1$ با $\theta_r \geq 0$ در این مدل جایگزین شود، آنگاه اولویت میانگین در واقع برای خروجی‌ها استفاده می‌شود. به طور مشابه می‌توان از مدل‌های DEA-WEI ازنوع SBM برای رسیدگی به این شرایط استفاده کرد. توجه کنید که مدل‌های SBM DEA را می‌توان به مدل‌های DEA راسل با استفاده از تبدیل متغیر، تبدیل کرد (برای کسب جزییات بیشتر به 33 مراجعه کنید).

مدل‌های فوق را می‌توان برای ارزیابی‌های اثر بخشی استفاده کرد که در آن تنها خروجی‌ها بایستی ارزیابی شوند.

4- مطالعات تجربی

در این بخش، ما مطالعات تجربی را در زمینه مدل‌های DEA-WEI ارائه می‌کنیم. ما ابتدا مدل‌های DEA-WEI و DEA استاندارد را مقایسه می‌کنیم و این اساساً به این معنی است که ما از مدل‌های DEA استاندارد با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی استفاده می‌کنیم. سپس، ما داده‌های اصلی را استاندارد سازی کرده و از مدل‌های DEA-WEI استفاده می‌کنیم. سپس از مدل‌های DEA-WEI در مطالعه موردی در زمینه ارزیابی عملکرد مؤسسات تحقیقاتی در آکادمی علوم چین استفاده می‌کنیم که در آن قضاوت‌های ارزش بایستی در ارزیابی گنجانده شوند.

4-1 مقایسات مدل‌های DEA-WEI و DEA استاندارد

گرینبرگو نانمیکر (4) خاطر نشان کرده است که استفاده از شاخص‌های عملکرد سنتی ونسبت ها بایستی موجب بهبود پذیرش عملی رویکرد DEA شود زیرا این روش بر معایب تحلیل نسبت غلبه می‌کند. گرینبرگ و نانمیکر (4) و تانسولیس و همکاران (5) اقدام به مقایسه DEA با رویکرد نسبت کردند که در آن مدل‌های DEA استاندارد توسط برخی شاخص‌ها به صورت ورودی و خروجی استفاده شدند. در (34)، رابطه ذاتی و درونی بین DMU مرز DEA و نسبت ورودی-خروجی بحث شد به طوری که گاهی اوقات می‌توان مرزهای DEA را مستقیماً از تحلیل بدست آورد. در (35)، رابطه بین برآوردهای کارایی DEA و نسبت‌های مالی بحث می‌شود.

زو (36) بین DEA و PCA در تجمیع ورودی‌ها وخروجی ها در ارزیابی DMU ها مقایسه‌ای را انجام داد. در مقاله زو (36)، نمرات ابر کارایی اولین بار از طریق مدل CCR ورودی محور اصلاح شده محاسبه شد که در آن DMU تحت ارزیابی ازمجموع واقعی حذف شد. هدف این حذف، تمایز این DMU های کارامد می‌باشد. سپس

نمایه‌ها و شاخص‌ها با استفاده از سه خروجی تقسیم بر هر دو ورودی تعریف شده و مؤلفه‌های اصلی شاخص‌های تعریف شده نیز تعیین شد. در نهایت یک امتیاز با جمع مؤلفه‌های اصلی وزن شده بدست آمد که در آن اوزان از طریق مقادیر ویژه تعیین می‌شود. نتایج نشان داد که رتبه بندی از طریق DEA مطابق با رتبه بندی PCA است، اگرچه هیچ گونه شگفتی در این روش هاوجود نداشته است. در این جا ما مقایسه را با استفاده از مدل‌های DEA استاندارد (CCR، BCC و SBM)، مدل زو، مدل DEA-WEI شعاعی (مدل 1) و مدل DEA-WEI SBM برای ارزیابی این 18 شهر توسعه می‌دهیم. هر دو مدل‌های مبتنی بر خروجی و ورودی برای مدل‌های DEA استاندارد محاسبه شده و تفاوت اندکی مشاهده شد. از این روی ما نتایج را با مدل‌های خروجی محور ارائه می‌کنیم. برای مدل‌های DEA استاندارد، ما مستقیماً از داده‌های ورودی وخروجی استفاده می‌کنیم. برای استفاده از مدل‌های DEA-WEI، ما خروجی‌ها را با هر ورودی برای تشکیل داده‌های شاخص تقسیم می‌کنیم. امتیازات کارایی در جدول 1 نشان داده شده‌اند.

جدول 1: نتایج مقایسه

	شهرها	امتیاز CCR	امتیاز BCC	امتیاز زو	مدل 1	امتیاز SBM	مدل 6

2	QingHuangDao	1.0000	1	12.6785	1.0000	1	1
10	WenZhou	1.0000	1	2.2848	1.0000	1	1
6	WeiHai	1.0000	1	1.6724	1.0000	1	1
12	ZhangJiang	0.7866	0.9202	0.7866	0.7866	0.4133	0.24049
13	BeiHai	0.7514	1	0.7513	0.7514	0.3888	0.25531
9	NingBo	0.6577	1	0.6577	0.6869	0.4810	0.37556
5	YanTai	0.6311	1	0.6311	0.6485	0.4735	0.35018
4	Qingdao	0.5022	0.9421	0.5022	0.5022	0.3058	0.16268
8	LianYunGang	0.4959	0.5148	0.4959	0.4959	0.3366	0.23701
16	ShanTou	0.4704	1	0.4704	0.4704	0.1392	0.03012
1	Dalian	0.4691	1	0.4691	0.4691	0.2797	0.1429
7	ShangHai	0.3580	1	0.3581	0.3580	0.1823	0.07041
17	XiaMen	0.3059	0.3095	0.3060	0.3059	0.1172	0.01424
11	GuangZhou	0.3010	1	0.3010	0.3010	0.1693	0.07997
3	TianJin	0.2779	0.8656	0.2779	0.2779	0.0918	0.03498
18	HaiNan	0.1953	0.1967	0.1953	0.1953	0.0861	0.03834
15	ZhuHai	0.1867	0.2040	0.1867	0.1867	0.0525	0.00808
14	ShenZHen	0.1366	0.2625	0.1382	0.1366	0.0454	0.01159

در بخش 2، مشاهده شد که برای مورد ورودی تکین، مدل CCR استاندارد معادل با مدل DEA-WEI است، در حالی که این موضوع برای مدل BCC صادق نیست. ازمایش فوق تصویر مشابهی را نشان داد و این در حالی است که این بار، مدل CCR دارای دو ورودی است. در جدول 1، نمرات کارایی مدل (1) DEA-WEI تقریباً برابر با نتایج مدل CCR است. برای DMU ناکارامد، نمرات کارایی اندکی متفاوت هستند، با این حال رتبه‌های آنها یکسان است. به علاو، ما DMU مورد ارزیابی را از مجموع در مدل DEA-WEI حذف کردیم (از این روی

امتیازات ابر کارایی DEA-WEI را داریم)، و رتبه دقیق را به صورت زو بدست اوردیم. با این حال، امتیازات مدل BCC، کاملاً متفاوت از امتیازات تولید شده توسط مدل (1) است.

ما هم چنین مدلSBM استاندارد و مدل (6) با استفاده از فرمول امتیاز SBM را تست می‌کنیم. این بار، اکرچه امتیازات دو مدل کاملاً متفاوت است، رتبه‌های تولید شده توسط دو امتیاز بسیار مشابه است. ضریب همبستگی اسپیرمن بین دو رتبه در واقع 0.977 است. مدل (14) تولید نتایج مشابه با مدل (6) می‌کند.

2-4 مطالعه موردی

در این بخش، ما یک مطالعه ازمایشی را با استفاده از روش DEA برای ارزیابی عملکرد 15 موسسه تحقیقاتی در اکادمی علوم چین انجام داده و نیز مدل‌های CCR، BCC و دو مدل DEA-WEI را مقایسه کردیم. از اواخر دهه 1990 میلادی، CAS مجموعه‌ای از ارزیابی‌های عملکرد را برای مؤسسات تحقیقاتی خود انجام داده است. ارزیابی‌های مورد استفاده متشکل از بخش کمی و کیفی هستند (عمدتاً داوری‌های همتا). از 2002، سیستم ارزیابی CAS بر نه تنها اثر بخشی بلکه بر کارایی نیز تاکید داشته‌اند. شاخص‌های کمی کم و بیش پایدار بوده‌اند. با این حال، یکی از نقدهای اصلی وارده بر این سیستم ارزیابی، برابر بودن انتخاب اوزان است که از زمان شروع ارزیابی زیر سؤال رفته است. یک نقد دیگر این است که شاخص‌های مورد استفاده برای اندازه گیری کارایی سرمایه گذاری تحقیقاتی نظیر تعداد انتشارات به ازای هر کارمند، تعداد انتشارات به ازای هزینه‌ها، ثبت نام دوره‌های لیسانس توسط کارمندان هر ساله تغییر می‌کنند. در این مطالعه موردی، ما تلاش می‌کنیم تا به بررسی احتمال استفاده از مدل‌های DEA-WEI به عنوان ابزار رتبه بندی احتمالی در ارزیابی کارایی موسسه تحقیقاتی CAS برای حل مسئله انتخاب اوزان بپردازیم. در این جا ما مهم‌ترین ورودی‌ها وخروجی ها را انتخاب کرده و مقایساتی را بین نتایج اصلی و نتایج با استفاده از مدل‌های DEA-WEI انجام می‌دهیم.

جدول 2: ورودی‌ها و خروجی‌های مؤسسات تحقیقات در CAS

DMU	Staff	Res. Expen.	SCI Pub.	High Pub.	Grad. Enroll.	Exter. Fund.
Unit 1	380	59,880	201	28	386	35,368
Unit 2	418	79,910	480	196	354	69,763
Unit 3	68	13,150	78	72	57	5747
Unit 4	1105	92,710	153	45	642	49,074
Unit 5	248	18,920	68	18	165	13,801
Unit 6	828	134,240	167	64	229	73,748
Unit 7	481	52,460	38	13	136	32,797
Unit 8	493	40,840	94	6	115	12,743
Unit 9	198	23,110	43	16	79	15,964
Unit 10	243	32,580	42	11	48	20,731
Unit 11	553	62,100	156	34	105	67,927
Unit 12	347	49,510	64	8	190	31,616
Unit 13	445	78,280	440	162	529	62,448
Unit 14	260	27,530	113	23	137	33,952
Unit 15	304	59,450	94	19	263	70,015

واحد تصمیم گیری، کارکنان، مخارج پژوهش، انتشارات SCI، انتشارات بالا، ثبت نام در دوره‌های کارشناسی، سرمایه خارجی

اغلب، تعداد کارکنان پژوهشی تمام وقت و کل مخارج پژوهش، ورودی‌های تحقیقاتی اصلی هستند، در حالی که خروجی‌های تحقیقات، بسته به دیدگاه ذی نفعان، کاملاً متغیر می‌باشند. در زیر یک دیدگاه از سطح دفتر تحقیقات پایه در CAS ارائه شده است که در آن انتشارات شامل مقالات بین المللی نمایه بندی شده توسط شاخص استناد علمی (SCI Pub) است، مقالات با کیفیت بالای منتشر شده در مجلات پژوهشی برتر (high pub)، ثبت نام دانشجویان کارشناسی (Grad. Enroll) و بودجه تحقیقات خارجی (Exter. Fund) شاخص‌های اصلی قضاوت عملکرد می‌باشند. این‌ها شاخص‌های کلیدی برای ارزیابی مؤسسات پایه در سیستم ارزیابی جامع CAS در 2002 می‌باشند. اگرچه تنها داده‌های نمایه و شاخص برای مدل‌های DEA-WEI مورد نیاز است، ما مقایساتی را بین مدل‌های DEA استاندارد و DEA-WEI انجام می‌دهیم. از این روی، داده‌های ورودی- خروجی اولیه در جدول 2 ارائه شده‌اند که مربوط به CES از CAS در 2002 است.

همان طور که در جدول 2 نشان داده شده است، واحد 4 دارای بزرگ‌ترین اندازه و بیشترین ثبت نام دانشجویان کارشناسی است. واحد 6 حداکثر بودجه تحقیقات خارجی را کسب کرد، در حالی که مخارج تحقیقاتی آن نیز بیشترین بود. واحد 2 بر طبق مقالات SCI و مقالات با کیفیت بالا، در رأس قرار داشت. در این مطالعه، ما از مدل‌های CCR، BCC و DEA-WEI خروجی محور برای تحلیل مقایسه استفاده می‌کنیم. برای استفاده از

مدل‌های DEA-WEI، ما این شاخص‌ها را به نمایه‌ها با استفاده از ورودی‌ها/ خروجی‌ها به طور جداگانه ترجمه کرده و دارای 8 نمایه می‌باشیم که به صورت $Y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots ,y_{8j})^T$ تعریف شده‌اند که در آن‌ها

y_{1j}	مقالات SCI به ازای هر یک از کارکنان
y_{2j}	مقالات SCI به ازای مخارج پژوهش
y_{3j}	انتشارات (مقالات) زیاد به ازای هر یک از کارکنان
y_{4j}	انتشارات (مقالات) زیاد به ازای هر یک از کارکنان
y_{5j}	بودجه خارجی/ کارکنان
y_{6j}	ثبت نام مقطع کارشناسی/ کارکنان
y_{7j}	بودجه خارجی/ مخارج تحقیق
y_{8j}	ثبت نام مقطع کارشناسی/ مخارج تحقیق

چون درصد بودجه خارجی مورد استفاده برای تحقیق نامشخص است و هزینه تحصیل درچین طبیعتاً پایین است، ما y_{7j} و y_{8j}، حذف کرده و این نمایه‌ها در CES 2002 نیز حذف شده‌اند.

جدول 3 نمایه‌های استاندارد را نشان می‌دهد. فرمول استاندارد سازی این نمایه‌ها $y_{ri} = (y_{ri}/\mathrm{Max}y_{ri}) \times 100$ است. هدف استاندارد سازی نمایه‌ها، حذف تفاوت‌های اندازه گیری در این مجموع‌های وزنی است.

ما در ابتدا از مدل CCR و BCC برای ارزیابی عملکرد این مؤسسات استفاده می‌کنیم. نتایج CCR و BCC به جز واحد 4 که در BCC کارامد است ولی در CCR به 82.37 درصد می‌رسد، کاملاً نزدیک است. از این روی، ما تنها نتایج BCC را در دومین ستون جدول 4 برای مقایسه بیشتر ارائه می‌کنیم. سپس، با استفاده از اندازه گیری شعاعی و اولویت پارتو، و اندازه گیری راسل و الویت پارتو (37، 38)، ما از مدل 1 و مدل 14 برای داده‌های نمایه استفاده می‌کنیم. نتایج در جدول 4 نشان داده شده‌اند.

در این مدل‌ها، همه خروجی‌ها و شش نمایه به صورت غیر قابل جایگزین و مهم قلمداد شده‌اند.. با این حال، این ارزیابی برای شرایط فعلی در CAS مناسب نیست. برای مثال، بر طبق تحلیل پرسش نامه در (39)، دو گروه از مؤسسات تحقیقات پایه وجود دارند. یک گروه بر انتشار مقالات در مجلات با کیفیت تاکید دارند، در حالی که

گروه دیگر هنوز در مرحله توسعه کمیت با افزایش انتشارات SCI است. از این روی ما بایستی هر دو نمایه‌ها را در نظر گرفته و y_{1j} و y_{3j} را به طور مستقیم برای بررسی یکسان هر دو گروه، قابل جایگزین در نظر می‌گیریم. در عین حال، بودجه تحقیقات خارجی به ازای هر یک از کارکنان y_{5j} توسط DM به صورت مهم و غیر قابل جایگزین در نظر گرفته می‌شوند زیرا نشان دهنده رقابت پذیری مؤسسات است. به علاوه، مجموع این نمایه‌ها نشاندهنده عملکرد کلی است. به این ترتیب، ما شش نمایه را به سه نمایه با اهمیت برابر و نمایه‌های غیر قابل جایگزین ترکیب کرده و مدل زیر را داریم

$$
\begin{aligned}
\underset{\theta,\lambda}{\text{Max}} \quad & \theta \\
\text{Subject to} \quad & BY\lambda \geq \theta\, BY_0, \\
& \sum_{j=1}^{n} \lambda_j = 1, \quad \lambda_j \geq 0, \\
& B = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}
\end{aligned}
\tag{15}
$$

نمرات کارایی توسط مدل (15) در پنجمین ستون جدول 4 نشان داده شده است. در جدول 4، 15 واحد تصمیم گیری از طریق نمرات مدل (!5) رتبه بندی شده و به سه گروه (ABC) برای مقایسات شفاف‌تر تقسیم بندی می‌شوند.

جدول 3: نمایه‌های استاندارد شده

DMU	y_{1j}	y_{2j}	y_{3j}	y_{4j}	y_{5j}	y_{6j}
Unit 1	46.06	55.88	6.96	8.54	40.41	85.45
Unit 2	100.00	100.00	44.28	44.80	72.46	71.24
Unit 3	99.89	98.75	100.00	100.00	36.70	70.51
Unit 4	12.06	27.47	3.85	8.86	19.28	48.87
Unit 5	23.88	59.83	6.85	17.38	24.16	55.97
Unit 6	17.56	20.71	7.30	8.71	38.67	23.27
Unit 7	6.88	12.06	2.55	4.53	29.61	23.78
Unit 8	16.60	38.32	1.15	2.68	11.22	19.62
Unit 9	18.91	30.98	7.63	12.64	35.01	33.56
Unit 10	15.05	21.46	4.28	6.17	37.04	16.62
Unit 11	24.57	41.82	5.81	10.00	53.33	15.97
Unit 12	16.06	21.52	2.18	2.95	39.56	46.06
Unit 13	86.10	93.57	34.38	37.80	60.93	100.00
Unit 14	37.85	68.33	8.35	15.26	56.70	44.33
Unit 15	26.93	26.32	5.90	5.84	100.00	72.78

جدول 4: امتیازات کارایی بر اساس مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها

DMU	BCC	Model (1)		Model (14)		Model (15)	
	Scores	Scores	Ranks	Scores	Ranks	Scores	Ranks
Unit 2	100	100	A	100	A	100	A
Unit 3	100	100	A	100	A	100	A
Unit 15	100	100	A	100	A	100	A
Unit 13	100	100	A	100	A	92.5	A
Unit 14	100	74.87	B	30.82	B	66.85	B
Unit 11	65.12	62.78	B	18.71	B	56.27	B
Unit 1	93.15	85.45	B	25.46	B	56.1	B
Unit 12	65.12	51.68	B	6.7	C	43.18	B
Unit 6	54.6	42.98	C	15.42	B	41.45	B
Unit 5	100	62.40	B	20.72	B	40.88	B
Unit 9	54.57	43.48	B	18.39	B	40.87	B
Unit 10	98.28	41.03	C	10.74	C	38.68	C
Unit 7	42.23	31.85	C	6.8	C	30.56	C
Unit 4	100	48.87	B	11.43	B	27.51	C
Unit 8	66.61	38.32	C	4.29	C	19.37	C
Average scores	82.64	65.58		37.97		56.95	

مدل، امتیازات، رتبه‌ها، واحد، امتیازات متوسط

گروه A بیانگر 25 درصد بالای مؤسسات تحقیق می‌باشد، در حالی که گروه C نشان دهنده 25 درصد پایین است. از این روی، DMU های چهار موسسه تحقیقات برتر به صورت A طبقه بندی می‌شود، چهار موسسه بدتر در گروه C قرار گرفته و بقیه در گروه B قرار می‌گیرند. همانطور که جدول 4 نشان می‌دهد، هفت DMU کارامد با استفاده از مدل BCC استاندارد با امتیاز متوسط 82.64 درصد وجود دارد. نتایج حاصل از مدل CCR تقریباً برابر است. این نشان می‌دهد که تعداد زیاد شاخص‌ها موجب کاهش تفاوت DEA می‌شود، و این در حالی است که این موضوع را می‌توان با محدودیت‌های اوزان برطرف کرد.

با استفاده از مدل DEA-WEI با اندازه گیری شعاعی (مدل 1) و اندازه گیری راسل (مدل 14)، امتیازات کارایی مدل BCC کاملاً کاهش یافته است. وقتی که مدل (15) استفاده می‌شود، تنها واحدهای 2، 3 و 15 کارامد هستند. مدل (15) این امکان را می‌دهد که نمایه‌های y_{1j} و y_{3j} به طور مستقیم یک دیگر راجبران کنند و به این ترتیب تنها بر سطح میانگین بر طبق قضاوت‌های ارزشی DM تاکیددارد. به علاوه، نمایه y_{5j}(بودجه تحقیقات خارجی به ازای هر یک از کارکنان) مورد تاکید واقع می‌شود. چون قضاوت‌های ارزشی در مدل قرار می‌گیرند وچایگزین های احتمالی در میان نمایه‌ها در نظر گرفته شده‌اند، قدرت تمایز و تشخیص این مدل DEA-WEI بیشتر و بیشتر بهبود می‌یابد.

جدول 5 امتیازات ارزیابی اولیه Ces 2002 مربوط به 15 موسسه تحقیقاتی پایه را نشان می‌دهد. دومین ستون، امتیازات نهایی تجمیعی e را نشان می‌دهد که ترکیبی از امتیازات در ارزیابی‌های کمی و کیفی است و تولید رتبه E را می‌کند. چهارمین ستون، امتیازات E1 را نشان می‌دهد که منعکس کننده ارزیابی خروجی کمی مؤسسات تحقیق بدون در نظر گرفتن ورودی‌ها بوده و تولید رتبه 1 می‌کند. ششمین ستون امتیازات E2 را برای ارزیابی پایداری تحقیق نشان می‌دهد که کم و بیش یک ارزیابی کارایی CES بوده و تولید رتبه 2 می‌کند. در جدول 5، 15 موسسه تحقیق اصلی بر طبق رتبه 2 کارایی تحقیق برای مقایسات اسان با جدول 4 رتبه بندی می‌شود. جدول 5 و 2 به طور شفاف نشان می‌دهند که مؤسسات مختلف دارای امتیازات کل بیشتری به دلیل اندازه بزرگ خود هستند. برای مثال، واحد 6 به دلیل امتیاز خروجی‌های تحقیق بالای خود رتبه A را گرفت. واحدهای 4-5، 7-8 همگی به صورت C از نظر کارایی رتبه بندی شدند ولی سه مورد از آن‌ها به دلیل امتیازات خروجی، رتبه B را اختیار کردند.

جدول 5: امتیازات ارزیابی اولیه CES 2002

DMU	امتیازات نهایی ترکیبی	رتبه E	خروجی‌های تحقیق (E1)	رتبه 1	پایداری تحقیق (E2)	رتبه 2	فرهنگ نواورانه (E3)
واحد 3	66.53	A	51.19	B	79.09	A	93
واحد2	83.63	A	85.91	A	78.44	A	93
واحد13	82.75	A	91.77	A	68.4	A	95
واحد15	60.79	B	48.81	B	68.21	A	91
واحد1	57.21	B	42.41	B	66.49	B	94
واحد6	67.44	A	67.32	A	61.94	B	90
واحد12	50.08	C	37.48	C	56.6	B	87
واحد11	51.34	C	39.13	C	56.44	B	92
واحد10	51.63	B	40.84	B	56.26	B	87
واحد9	47.71	C	33.86	C	54.19	B	91
واحد14	58.3	B	56	B	53.75	B	88
واحد7	58.77	B	58.12	B	51.78	C	90
واحد5	47.56	C	35.78	C	50.94	C	93
	55.04	B	53.82	B	48.09	C	89
	52.89	B	50.89	B	45.87	C	91

واحد4 واحد8							

ما سپس، نتایج DEA را با نتایج ارزیابی پایداری تحقیق CES(رتبه 2) مقایسه می‌کنیم که در آن مجموع وزنی شش نمایه در جدول 3 به صورت امتیاز در نظر گرفته شده است. در ابتدا، ما رتبه بندی گروه را بر اساس مدل (14)) رتبه‌های مدل 14) در جدول 4 و رتبه 2 بر اساس پایداری تحقیقات مؤسسات در جدول 5 مقایسه می‌کنیم. برای بدترین DMU ها، واحد 4 و 5 رتبه B را در رتبه‌های مدل 14 داشتند، در حالی که واحدهای 10 و 12 به طور متفاوت رتبه بندی می‌شوند. از این روی، تفاوت‌های معنی داری در طبقه بندی گروه C از طریق دو رویکرد وجود دارد (چهار مورد از هشت مورد، 50 درصد). این نتایج قابل توجیه هسنند زیرا دو رویکرد بر اساس اصول بسیار متفاوت هستند.

ما سپس به مقایسه رتبه‌های مدل (15) در جدول 4(رتبه مدل 1 بسیار مشابه است) با رتبه 2 در جدول 5 می‌پردازیم. مؤسسات تحقیقاتی در گروه A از مدل 15 هنوز مشابه با رتبه 2 است. طبقه بندی‌های گروه C تحت دو رویکرد بسیار نزدیک بوده و تنها تفاوت 25 درصدی را دارد. برای مثال، واحد 12 در گروه C با استفاده از مدل (14) قرار دارد، با این حال دارای عملکرد نسبتاً قوی در دست یابی به بودجه‌های تحقیقات خارجی به ازای هر یک از کارکنان است. این خود به صورت B با استفاده از مدل (15) رتبه بندی می‌شوند. از حیث رتبه بندی گروه، دو رتبه بالا متناسب هستند. از این روی، ما بر این باوریم که این مدل DEA قابل کاربرد به ارزیابی کارایی CAS است. رتبه‌های مؤسسات تحقیقات در یک گروه کاملاً متفاوت هستند. با این وجود، رتبه‌های مشابه انتظار نمی‌رود زیرا دو رویکرد بسیار متفاوت استفاده می‌شوند. به طور خلاصه ما تصور می‌کنیم که استفاده از DEA-WEI در ارزیابی عملکرد CAS آینده عملی است و به این ترتیب استفاده از مدل‌های DEA-WEI با قضاوت‌های ارزشی DM لازم و ضروری است.

5- نتیجه گیری

با استناد به مقالات مختلف مربوط به مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها بدون ورودی‌های صریح، در این مقاله ما از یک رویکرد بدیهی برای بررسی این مدل‌های DEA به طور گسترده استفاده می‌کنیم. این رویکرد منجر به نمایش یکنواخت مدل‌هایDEA-WEI می‌شود که برخی از آن‌ها صریحاً در این مقاله استخراج شده‌اند. یک مزیت این است که استفاده از این مدل‌ها، در زمانی که تنها نمایه‌ها موجود هستند آسان‌تر می‌باشد. به علاوه، این مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها قابل کاربرد به ارزیابی‌های کارایی می‌باشند که در آن‌ها ورودی‌ها به طور مستقیم در نظر گرفته نمی‌شوند. مدل‌های فرم مضربی DEA-WEI مشابه با رویکرد نسبت هستند با این حال موجب انعطاف پذیری انتخاب اوزان برای DMU های ارزیابی شده می‌شوند.

به علاوه، ما در مورد شیوه استفاده از قضاوت ارزش DM در این مدل‌های DEA با استفاده از اولویت‌ها و محدودیت‌های وزنی بحث می‌کنیم و سپس کاربرد عملی ارزیابی تحقیق را در CAS تشریح می‌کنیم. نتای]نشان داد که مدل‌های DEA بدون ورودی‌های صریح دارای مزایای منحصر به فرد بوده و قابل کاربرد به شرایط واقعی هستند. این نتایج تجربی نشان دهنده آن است که استفاده از DEA-WEI در ارزیابی CAS در آینده عملی است و استفاده از قضاوت‌های ارزشی DM در مدل‌های DEA-WEI لازم و ضروری می‌باشد. به این ترتیب، این مدل‌های DEA-WEI رویکرد ممکن را برای مقابله با اختلافات موجود در ارزیابی تحقیقات CAS در اختیار می‌گذارند.