

تحلیل حساسیت طبقه بندی بازده به مقیاس در DEA

فرهاد حسین زاده لطفی^۱، زهرا قلیچ بیگی^{۲*}، کبری غلامی^۳، نازیلا آقایی^۴

^۱دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، تهران، ایران

^{۲*}دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه، مبارکه، ایران

^۳دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران

^۴باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، اردبیل، ایران

رسید مقاله: بیست و ششم اردیبهشت ماه ۱۳۹۰

پذیرش مقاله: چهاردهم شهریور ماه ۱۳۹۰

چکیده

تحلیل حساسیت طبقه بندی بازده به مقیاس در DEA بوسیله ی برنامه ریزی خطی مطالعه شده است. سیفورد و همکاران [۱] تحلیل حساسیت بازده به مقیاس را براساس دو شرط بررسی کردند. در این مقاله، تحلیل حساسیت در حالت کلی بحث می شود. برای این منظور، مدل هایی ارائه داده می شود که توسط آن مدل ها نوع بازده به مقیاس و ناحیه ی پایداری طبقه بندی بازده به مقیاس مشخص می شود. اثر تغییرات خروجی روی مدل CCR ماهیت ورودی و اثر تغییرات ورودی روی مدل CCR ماهیت خروجی در نظر گرفته می شود. در این مقاله، تنها تحلیل حساسیت DMU هایی که نا کارای CCR می باشند، در نظر گرفته می شود.

کلمات کلیدی: بازده به مقیاس، DEA، تحلیل حساسیت.

۱ مقدمه

تحلیل پوششی داده ها با ارائه مدل CCR توسط چارنز و همکاران [۲] ابداع شد. سپس مدل CCR توسط بنکر و همکاران [۳] به مدل BCC گسترش یافت. هدف این دو مدل طبقه بندی واحدهای تصمیم گیرنده به دو طبقه کارا و ناکارا می باشد. یکی از موضوعات بسیار مهم در تحلیل پوششی داده ها مشخص کردن نوع بازده به مقیاس (RTS) می باشد. بنکر و همکاران [۴] با استفاده از دوال مدل BCC نوع بازده به مقیاس را مشخص کردند. سپس فار و همکاران [۵-۶] با استفاده از مقدار کارایی نوع بازده به مقیاس را مشخص کردند. مدل های ارائه شده فوق بازده به مقیاس واحدهای تصمیم گیرنده را به سه دسته صعودی، نزولی و ثابت طبقه بندی می کنند. از آنجا که نوع بازده به مقیاس در تحلیل پوششی داده ها به صورت موضعی است. بنابراین تحقیق در مورد پایداری بازده به مقیاس یک موضوع بسیار مهمی است. سیفورد و همکاران [۱] تحلیل حساسیت طبقه بندی بازده به مقیاس در تحلیل پوششی داده ها را با در نظر گرفتن دو شرط محاسبه می کند. ما در این مقاله بدون در نظر گرفتن این دو شرط ناحیه ی پایداری بازده به مقیاس را محاسبه می کنیم.

ما چندین مدل برنامه ریزی خطی را برای محاسبه پایداری بازده به مقیاس واحدهای ناکارا ارایه می دهیم. طبقه بندی بازده به مقیاس بر اساس مدل CCR ماهیت ورودی و خروجی برای واحد تصمیم گیرنده ای، امکان دارد متفاوت باشد. برای این منظور تحلیل حساسیت بازده به مقیاس بر حسب مدل CCR ماهیت ورودی و ماهیت خروجی محاسبه می کنیم.

بخش های این مقاله عبارتند از: بخش ۲: مفاهیم اولیه. بخش ۳: تحلیل حساسیت بازده به مقیاس بر حسب مدل CCR در ماهیت ورودی. بخش ۴: تحلیل حساسیت طبقه بندی بازده به مقیاس بر حسب مدل CCR در ماهیت خروجی. بخش ۵: مثال. بخش ۶: نتیجه گیری.

۱ مفاهیم اولیه

فرض کنیم DMU_j ($j=1, \dots, n$) واحد متجانس هستند که با به کار بردن بردار ورودی x_j ($j=1, \dots, n$) بردار خروجی y_j ($j=1, \dots, n$) را تولید می نمایند و $x_j \in R^{m \geq 0}$ و $y_j \in R^{s \geq 0}$ ($j=1, \dots, n$).

مدل CCR در ماهیت ورودی توسط چارنر و همکاران [۲] به صورت زیر معرفی شد:

$$\begin{aligned} \text{Min} \quad & \theta \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq \theta x_{io}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro}, \quad r = 1, 2, \dots, s, \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (1)$$

توجه کنید که مدل (۱) همواره شدنی است و $0 < \theta^* \leq 1$.

همچنین مدل CCR در ماهیت خروجی را می توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} \text{Max} \quad & \varphi \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \\ & \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{rj} \geq \varphi y_{ro}, \quad r = 1, 2, \dots, s, \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (2)$$

بنکر و همکاران [۳] با استفاده از جواب های بهین مدل (۱) نوع بازده به مقیاس را به صورت زیر مشخص کردند:

DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است اگر و فقط اگر حداقل در یکی از جواب های بهینه رابطه $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* = 1$ برقرار باشد. DMU_o دارای بازده به مقیاس صعودی است اگر و فقط اگر برای تمام جواب های بهینه رابطه $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* < 1$ برقرار باشد. DMU_o دارای بازده به مقیاس نزولی است اگر و فقط اگر برای تمام جواب های بهینه رابطه $\sum_{j=1}^n \lambda_j^* > 1$ برقرار باشد.

۲ تحلیل حساسیت بازده به مقیاس بر حسب مدل CCR در ماهیت ورودی

توجه داشته باشید که تحت مدل CCR در ماهیت ورودی اگر DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت باشد، آن گاه کاهش و افزایش خروجی ها نوع بازده به مقیاس ثابت را تغییر می دهد. اگر DMU_o دارای بازده به مقیاس صعودی باشد، کاهش خروجی ها نوع بازده به مقیاس صعودی را تغییر نمی دهد. به همین ترتیب اگر DMU_o دارای بازده به مقیاس نزولی باشد افزایش خروجی ها نوع بازده به مقیاس نزولی را تغییر نمی دهد تا هنگامی که DMU_o به مرز BCC برسد. بنابراین، ما فقط افزایش خروجی ها را برای DMU هایی که دارای بازده به مقیاس صعودی می باشند را در نظر می گیریم، کاهش خروجی ها را برای DMU هایی که دارای بازده به مقیاس نزولی می باشند در نظر می گیریم و افزایش و کاهش خروجی ها را برای DMU هایی که دارای بازده به مقیاس ثابت می باشند را در نظر می گیریم. توجه کنید که تناسب افزایش خروجی با $\alpha \geq 1$ و تناسب کاهش خروجی با $\beta \leq 1$ برای DMU_o ممکن است. افزایش و کاهش خروجی ها به ترتیب توسط α ، β به صورت αy_{ro} ، βy_{ro} ($r = 1, \dots, s$) نمایش می دهیم. حال مقدار β, α را به نحوی محاسبه می کنیم که نوع بازده به مقیاس تغییر نکند. برای محاسبه کردن β, α ابتدا مجموعه های $E_o', E_o'', E_o, T_o, T_o'$ را به صورت زیر تعریف می کنیم.

$$E_o' = \{DMU \text{ های کارای CCR}\}$$

$$E_o' = \{DMU \text{ های کارای CCR که دارای بازده به مقیاس چپ صعودی هستند}\}$$

$$E_o'' = \{DMU \text{ های کارای BCC که دارای بازده به مقیاس صعودی هستند} \cup E_o'\}$$

$$T_o = \{(x, y) : \sum_{j \in E_o} \lambda_j x_j \leq x, \sum_{j \in E_o} \lambda_j y_j \geq y, \sum_{j \in E_o} \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j \in E_o\}$$

$$T_o' = \{(x, y) : \sum_{j \in E_o''} \lambda_j x_j \leq x, \sum_{j \in E_o''} \lambda_j y_j \geq y, \sum_{j \in E_o''} \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j \in E_o''\}$$

بر اساس این دو مجموعه می توانیم مقادیر زیر را تعریف کنیم:

$$\varphi_o^* = \text{Max}\{\varphi_o : (x_o, \varphi_o y_o) \in T_o\} \quad (۳)$$

$$\phi_o^* = \text{Max}\{\phi_o : (x_o, \phi_o y_o) \in T_o'\} \quad (۴)$$

قضیه ۱.

الف) DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است اگر و فقط اگر $\phi_o^* = 1$ یا $\phi_o^* = 1$ یا $\phi_o^* < 1$ یا $\phi_o^* > 1$.
 ب) DMU_o دارای بازده به مقیاس نزولی است اگر و فقط اگر $\phi_o^* < 1$.
 ج) DMU_o دارای بازده به مقیاس صعودی است اگر و فقط اگر $\phi_o^* > 1$.

برهان. الف) (i) $(\Rightarrow)$ فرض $\phi_o^* = 1$ [۱] مشاهده شود.

(ii) $(\Rightarrow)$ فرض $\phi_o^* = 1$ ابتدا متغیرهای جدید را معرفی می‌کنیم:

$$\hat{\phi}_o = \hat{\theta}\phi_o = 1 \Rightarrow \hat{\theta} = \phi_o^{-1} > 0$$

$$\hat{\lambda}_j = \hat{\theta}\lambda_j \quad (j \in E_o'')$$

تمام محدودیت‌های (۴) را در $\hat{\theta}$ ضرب می‌کنیم و از این رو داریم:

$$\text{Min } \hat{\theta}$$

$$\begin{aligned} \text{s.t. } & \sum_{j \in E_o''} \hat{\lambda}_j x_{ij} \leq \hat{\theta} x_{io}, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j \in E_o''} \hat{\lambda}_j y_{rj} \geq y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s, \\ & \sum_{j \in E_o''} \hat{\lambda}_j = \sum_{j \in E_o''} \lambda_j \phi_o^{-1} = \phi_o^{-1} = \hat{\theta}, \\ & \hat{\lambda}_j, \lambda_j \geq 0, \quad j \in E_o''. \end{aligned} \quad (5)$$

$\phi_o^* = 1$. بنابراین $\sum_{j \in E_o} \hat{\lambda}_j^* = \hat{\theta}^* = 1$ یعنی در مدل CCR درامهیت ورودی داریم: $\sum_{j \in E_o} \hat{\lambda}_j^* = 1$ و $\hat{\theta}^* = 1$

لذا DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است.

(iii) $(\Rightarrow)$ اگر $\phi_o^* > 1, \phi_o^* < 1$ آن گاه DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است.

I) اگر $\phi_o^* < 1$ آن گاه $DMU_o' = (x_o, \phi_o^* y_o)$ را توسط (4) ارزیابی می‌کنیم و مقدار بهین آن برابر با ۱ می‌باشد. از (ii) به دست می‌آوریم $DMU_o' = (x_o, \phi_o^* y_o)$ دارای بازده به مقیاس ثابت است. پس DMU_o نمی‌تواند دارای بازده به مقیاس صعودی باشد (ما نمی‌توانیم مقدار خروجی‌ها را کاهش دهیم و باعث شود که DMU ای که دارای بازده به مقیاس صعودی است به DMU ای که دارای بازده به مقیاس ثابت است، تبدیل شود).

II) اگر $\phi_o^* > 1$ آن گاه $DMU_o' = (x_o, \phi_o^* y_o)$ را توسط (3) ارزیابی می‌کنیم و مقدار بهین آن برابر با ۱ می‌باشد. از (i) به دست می‌آوریم $DMU_o' = (x_o, \phi_o^* y_o)$ دارای بازده به مقیاس ثابت است. پس DMU_o نمی‌تواند دارای بازده به مقیاس نزولی باشد (ما نمی‌توانیم مقدار خروجی‌ها را افزایش دهیم و باعث

شود که DMU ای که دارای بازده به مقیاس نزولی است به DMU ای که دارای بازده به مقیاس ثابت است، تبدیل شود).

بنابراین از (I) و (II) به دست می آوریم، DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است. الف ($\Leftarrow$). [۱] مشاهده شود.

ب ($\Rightarrow$). فرض $\phi_o^* < 1$ آن گاه اگر $DMU_o' = (x_o, \phi_o^* y_o)$ را توسط مدل CCR در ماهیت ورودی ارزیابی کنیم مقدار بهین آن برابر با ۱ است.

بنابراین طبق قسمت (الف) DMU_o' دارای بازده به مقیاس ثابت است. پس DMU_o نمی تواند دارای بازده به مقیاس صعودی باشد (ما نمی توانیم مقدار خروجی ها را کاهش دهیم و باعث شود که DMU ای که دارای بازده به مقیاس صعودی است به DMU ای که دارای بازده به مقیاس ثابت است، تبدیل شود). هم چنین DMU_o نمی تواند دارای بازده به مقیاس ثابت باشد، زیرا از (الف) داریم DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت نیست اگر فقط اگر $\phi_o^* \neq 1$ و $\phi_o^* \neq 1$ و $(\phi_o^* > 1)$ یا $(\phi_o^* < 1)$. $\phi_o^* < 1$ بنابراین $\phi_o^* \neq 1$ می دانیم که $\phi_o^* \leq \phi_o^* < 1$ بنابراین $\phi_o^* \neq 1$ پس DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت نیست. بنابراین DMU_o بازده به مقیاس نزولی است.

ب ($\Leftarrow$). [۱] مشاهده شود.

ج ($\Rightarrow$). فرض $\phi_o^* > 1$ آن گاه اگر $DMU_o' = (x_o, \phi_o^* y_o)$ را توسط مدل CCR در ماهیت ورودی ارزیابی کنیم مقدار بهین آن برابر با ۱ است.

بنابراین طبق قسمت (الف) DMU_o' دارای بازده به مقیاس ثابت است. پس DMU_o نمی تواند دارای بازده به مقیاس نزولی باشد (ما نمی توانیم مقدار خروجی ها را کاهش دهیم و باعث شود که DMU ای که دارای بازده به مقیاس نزولی است به DMU ای که دارای بازده به مقیاس ثابت است، تبدیل شود). هم چنین DMU_o نمی تواند دارای بازده به مقیاس ثابت باشد، زیرا از (الف) داریم DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت نیست اگر و فقط اگر $\phi_o^* \neq 1$ و $\phi_o^* \neq 1$ و $(\phi_o^* > 1)$ یا $(\phi_o^* < 1)$. $\phi_o^* > 1$ بنابراین $\phi_o^* \neq 1$ می دانیم که $1 < \phi_o^* \leq \phi_o^*$ بنابراین $\phi_o^* \neq 1$ پس DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت نیست. بنابراین DMU_o بازده به مقیاس صعودی است.

برهان ج ($\Leftarrow$). برهان خلف، $\phi_o^* > 1$ نباشد، بنابراین $\phi_o^* = 1$ یا $\phi_o^* < 1$. اگر $\phi_o^* = 1$ آن گاه از (الف) نتیجه می شود که DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است که این تناقض است. اگر $\phi_o^* < 1$ آن گاه متغیرهای جدید را معرفی می کنیم:

$$\begin{aligned}\hat{\phi}_o &= \hat{\theta}\phi_o = 1 \Rightarrow \hat{\theta} = \phi_o^{-1} > 0 \\ \hat{\lambda}_j &= \hat{\theta}\lambda_j \quad (j \in E'')\end{aligned}$$

اگر تمام محدودیت های (۴) را در $\hat{\theta}$ ضرب کنیم آن گاه داریم:

$$\begin{aligned} \min \quad & \hat{\theta} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in E_o''} \hat{\lambda}_j x_{ij} \leq \hat{\theta} x_{io}, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j \in E_o''} \hat{\lambda}_j y_{rj} \geq y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s, \\ & \sum_{j \in E_o''} \hat{\lambda}_j = \sum_{j \in E_o''} \lambda_j \phi_o^{-1} = \phi_o^{-1} > 1, \\ & \hat{\lambda}_j, \lambda_j \geq 0, \quad j \in E_o''. \end{aligned}$$

از این که $\phi_o^* > 1$ ، نتیجه می‌شود $\sum_{j \in E_o} \hat{\lambda}_j > 1$. یعنی در مدل CCR در ماهیت ورودی داریم:

$$\sum_{j \in E_o} \lambda_j^* > 1 \text{ و } \hat{\theta}^* = 1 \text{ است و این تناقض با صعودی بودن بازده به مقیاس است.}$$

قضیه ۲. فرض کنید DMU_o دارای بازده به مقیاس نزولی است. اگر خروجی‌ها به $\hat{y}_{ro} = \beta y_{ro}$ تبدیل شوند که $\phi_o^* < \beta \leq 1$ ، آن گاه $DMU'_o = (x_o, \hat{y}_o)$ دارای بازده به مقیاس نزولی است. (β ضریب کاهش خروجی‌هاست)

برهان ۰ [۱] مشاهده شود.

قضیه ۳. فرض کنید DMU_o دارای بازده به مقیاس صعودی است. اگر خروجی‌ها به $\hat{y}_{ro} = \alpha y_{ro}$ تبدیل شوند که $1 \leq \alpha < \phi_o^*$ ، آن گاه $DMU'_o = (x_o, \hat{y}_o)$ دارای بازده به مقیاس صعودی است. (α ضریب افزایش خروجی‌هاست).

برهان. برهان خلف، اگر DMU'_o بازده به مقیاس صعودی نداشته باشد، بنابراین در ارزیابی DMU'_o با مدل (۴) به دست می‌آوریم، $\hat{\phi}_o^* \leq 1$ از این رو داریم:

$$\begin{aligned} \phi_o^* = \max \quad & \hat{\phi}_o \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j \in E_o''} \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \quad i = 1, \dots, m, \\ & \sum_{j \in E_o''} \lambda_j y_{rj} \geq \hat{\phi}_o \hat{\alpha} y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s, \\ & \sum_{j \in E_o''} \lambda_j = 1, \\ & \lambda_j \geq 0, \quad j \in E_o''. \end{aligned}$$

$\hat{\phi}_o^* = \frac{\phi_o^*}{\alpha}$ که ϕ^* جواب بهین مدل (۴) در ارزیابی DMU_o می‌باشد.

$$\hat{\phi}_o^* = \frac{\phi_o^*}{\alpha} = 1 \Rightarrow \phi_o^* = \alpha$$

حال اگر $\hat{\phi}_o^* \leq 1$ داریم:

$$\hat{\phi}_o^* = \frac{\phi_o^*}{\alpha} < 1 \Rightarrow \phi_o^* < \alpha$$

$$\phi_o^* \leq \alpha$$

در نتیجه:

و این تناقض است با $1 \leq \alpha < \phi_o^*$.

قضیه ۴. فرض کنید DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است. اگر خروجی ها به $\hat{y}_{ro} = \beta y_{ro}$ تبدیل شوند که $\phi_o^* \leq \chi < \phi_o^*$ ، آن گاه $DMU'_o = (x_o, \hat{y}_o)$ دارای بازده به مقیاس ثابت است. (χ ضریب تغییرات خروجی هاست)

برهان. برهان خلف، اگر DMU'_o بازده به مقیاس ثابت نداشته باشد بنابراین دارای بازده به مقیاس نزولی و یا صعودی است. اگر دارای بازده به مقیاس نزولی باشد [۱] مشاهده شود.

حال اگر دارای بازده به مقیاس صعودی باشد، بنابراین در ارزیابی DMU'_o با مدل (۴) به دست می آوریم:

$$\hat{\phi}_o^* > 1 \text{ بنابراین داریم:}$$

$$\begin{aligned} \hat{\phi}_o^* = \text{Max } \hat{\phi}_o \\ \text{s.t. } \sum_{j \in E_o''} \lambda_j x_{ij} \leq x_{io}, \quad i = 1, \dots, m, \\ \sum_{j \in E_o''} \lambda_j y_{rj} \geq \hat{\phi}_o \chi y_{ro}, \quad r = 1, \dots, s, \\ \sum_{j \in E_o''} \lambda_j = 1, \\ \lambda_j \geq 0, \quad j \in E_o''. \end{aligned}$$

که $\hat{\phi}_o^* = \frac{\phi_o^*}{\chi}$ جواب بهین مدل (4) در ارزیابی DMU_o می باشد. حال اگر $\hat{\phi}_o^* > 1$ ، آن گاه

$$\phi_o^* = \frac{\phi_o^*}{\chi} > 1 \text{ و لذا } \phi_o^* > \chi \text{ و این تناقض است.}$$

۴ تحلیل حساسیت طبقه بندی بازده به مقیاس بر حسب مدل CCR در ماهیت خروجی

اکنون آشفتگی ورودی به جای تغییرات خروجی DMU_o در نظر گرفته می شود. توجه کنید تحت مدل CCR ماهیت خروجی، اگر DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت باشد، آن گاه کاهش و افزایش ورودی ها بازده به مقیاس ثابت را تغییر می دهد. اگر DMU_o دارای بازده به مقیاس نزولی باشد آن گاه افزایش ورودی ها بازده به مقیاس نزولی را تغییر نمی دهد. به همین ترتیب، اگر DMU_o دارای بازده به مقیاس صعودی باشد آن گاه کاهش ورودی ها بازده به مقیاس صعودی را تغییر نمی دهد تا هنگامی که DMU_o به مرز CCR برسد. بنابراین فقط افزایش و کاهش ورودی ها را برای DMU های به ترتیب دارای بازده به مقیاس صعودی و نزولی را در نظر

می‌گیریم و افزایش و کاهش ورودی‌ها را برای DMU هایی که دارای بازده به مقیاس ثابت می‌باشند را در نظر می‌گیریم. توجه کنید که تناسب افزایش ورودی با $\eta \geq 1$ و تناسب کاهش ورودی با $\varepsilon \leq 1$ برای DMU_o ممکن است. افزایش و کاهش ورودی‌ها را به ترتیب توسط ε, η به صورت $\varepsilon y_{ro}, \eta y_{ro}$ ($r=1, \dots, s$) نمایش می‌دهیم. حال مقدار ε, η را به نحوی محاسبه می‌کنیم که نوع بازده به مقیاس تغییر نکند. در رابطه با محاسبه ε, η ابتدا مجموعه‌های $F_o, F'_o, T_o''', \psi_o$ و ζ_o را به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$F_o = \{ DMU \text{ های کارای CCR که دارای بازده به مقیاس راست نزولی هستند} \}$$

$$F'_o = \{ DMU \text{ های کارای BCC که دارای بازده به مقیاس نزولی هستند} \}$$

$$T_o''' = \{ (x, y) : \sum_{j \in F'_o} \lambda_j x_j \geq x, \sum_{j \in F'_o} \lambda_j y_j = y, \sum_{j \in F'_o} \lambda_j = 1, \lambda_j \geq 0, j \in F'_o \}$$

$$\psi_o^* = \max \{ \psi_o : (\psi_o x_o, y_o) \in T_o''' \} \quad (6)$$

$$\zeta_o^* = \min \{ \zeta_o : (\zeta_o x_o, y_o) \in T_o \} \quad (7)$$

به طوری که (x_o, y_o) نشان دهنده بردار ورودی و خروجی DMU_o می‌باشد.

قضیه ۵.

الف. DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است اگر و فقط اگر $\psi_o^* = 1$ یا $\zeta_o^* = 1$ یا $(\psi_o^* > 1, \zeta_o^* < 1)$.

ب. DMU_o دارای بازده به مقیاس صعودی است اگر و فقط اگر $\zeta_o^* > 1$.

ج. DMU_o دارای بازده به مقیاس نزولی است اگر و فقط اگر $\psi_o^* < 1$.

برهان. با توجه به برهان قضیه (۱) بدیهی است.

قضیه ۶. فرض کنید DMU_o دارای بازده به مقیاس صعودی است. اگر ورودی‌ها به $\hat{x}_{io} = \eta x_{io}$ تبدیل شوند

که $\zeta_o^* < \eta \leq 1$ ، آن گاه $DMU'_o = (\hat{x}_o, y_o)$ دارای بازده به مقیاس صعودی است.

برهان. با توجه به برهان قضیه (۳) بدیهی است.

قضیه ۷. فرض کنید DMU_o دارای بازده به مقیاس نزولی است. اگر ورودی‌ها به $\hat{x}_{io} = \varepsilon x_{io}$ تبدیل شوند

که $\varepsilon \leq 1 < \psi_o^*$ ، آن گاه $DMU'_o = (\hat{x}_o, y_o)$ دارای بازده به مقیاس نزولی است.

برهان. با توجه به برهان قضیه (۲) بدیهی است.

قضیه ۸. فرض کنید DMU_o دارای بازده به مقیاس ثابت است. اگر ورودی‌ها به $\hat{x}_{io} = \beta x_{io}$ تبدیل شوند

که $\psi_o^* \leq \beta \leq \zeta_o^*$ ، آن گاه $DMU'_o = (\hat{x}_o, y_o)$ دارای بازده به مقیاس ثابت است. (β ضریب تغییرات

ورودی‌هاست)

برهان. با توجه به برهان قضیه (۴) بدیهی است.

توجه داشته باشید که قضیه (۵) تنها تحلیلی برای پایداری طبقه‌بندی بازده به مقیاس نیست بلکه طبقه‌بندی بازده

به مقیاس را نیز نشان می‌دهد.

۵ مثال عددی

فرض مجموعه ی داده ها شامل ۱۰، ۶ DMU است هر کدام دارای یک ورودی و یک خروجی می باشند. مقدار داده ها در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. داده های مثال عددی

DMU	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
(x_j) ورودی	۲	۳	۶	۷	۸	۶	۸	۹	۱۰	۸
(y_j) خروجی	۱	۲	۴	۴.۲۵	۴.۵	۱	۲	۳	۴.۴	۴

DMU_3 و DMU_2 کارای CCR هستند و $E'_o = \{DMU_2\}$ و $E''_o = \{DMU_1, DMU_2\}$ و DMU_8, DMU_7 و DMU_{10} دارای بازده به مقیاس ثابت هستند و DMU_6, DMU_1 دارای بازده به مقیاس صعودی هستند و DMU_5, DMU_4, DMU_9 دارای بازده به مقیاس نزولی می باشند. جدول (۲) مقدار حساسیت بازده به مقیاس DMU های ۶ و ۷ و ۸ و ۹ و ۱۰ را هنگامی که مقدار خروجی را تغییر می دهیم نشان می دهد.

جدول ۲. مقدار حساسیت بازده به مقیاس

DMU	۶	۷	۸	۹	۱۰
حساسیت	$\phi_o^* = 2$	$\phi_o^* = 2, \phi_o^* = 1$	$\phi_o^* = 4/3, \phi_o^* = 2/3$	$\phi_o^* = 4/4.4$	$\phi_o^* = 1, \phi_o^* = 0.5$
نتیجه	$\alpha \in [1, 2)$	$\chi \in [1, 2]$	$\chi \in [2/3, 4/3]$	$\beta \in (4/4.4, 1]$	$\chi \in [0.5, 1]$

۶ نتیجه گیری

مدل هایی را ارائه دادیم که توسط آن مدل ها ناحیه ی پایداری طبقه بندی بازده به مقیاس مشخص شد. اثر تغییرات خروجی روی مدل CCR در ماهیت ورودی و اثر تغییرات ورودی روی مدل CCR ماهیت خروجی را در نظر گرفتیم. هم چنین مدل هایی که ارائه دادیم نوع بازده به مقیاس را به دست می آورد. در این مقاله تنها واحدهای ناکارا بررسی شدند. باید توجه داشت که آشفتگی واحدهای کارا ممکن است طبقه بندی بازده به مقیاس را تغییر دهد. بنابراین بررسی موقعیت هایی که واحدهای کارا و ناکارا دچار آشفتگی شوند می تواند موضوع تحقیق دیگری باشد.

منابع

- [1] Seiford, L. M., Zhu, J., (1999). Sensitivity and stability of the classifications of return to scale in data envelopment analysis. Journal of Productivity analysis 12, 55-77.
- [2] Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operation Research 2, 429-444.
- [3] Banker, R. D., Charnes, A., Cooper, W.W., (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. Management Science 30, 1078-1092.
- [4] Banker, R. D., Thrall, R. M., (1992). Estimation of returns to scale using data envelopment analysis. European Journal of Operation Research 62, 74-84.

- [5] Fare, R., Grosskopf, S., Lovell, C. A. K., (1985). The measurement of efficiency of production. Boston: Kluwer Nijhoff.
- [6] Fare, R., Grosskopf, S., Lovell, C. A. K., (1994). Production frontiers. Cambridge University Press.