

ارائه روش تلفیقی ارزیابی کارایی ساختارهای شبکه‌ای شامل دور و لینک تخصیصی

سید جواد صالح‌زاده^۱، سید رضا حجازی^{۲*}، علی ارکان^۳، سید مهران حسینی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع سیستم‌های اقتصادی و اجتماعی دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار دانشکده مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

از روش تحلیل پوششی داده‌ها می‌توان به عنوان یکی از پرکاربردترین روش‌های ارزیابی عملکرد یاد نمود. مدل‌های شبکه‌ای از جدیدترین مدل‌های ارائه شده در این زمینه هستند که یک واحد تصمیم‌گیرنده را با تمامی زیرواحدها و ارتباطات موجود در آن به صورت ساختار شبکه‌ای در نظر می‌گیرند. از پرکاربردترین روش‌های تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای می‌توان به روش لویس و سکستون اشاره نمود. این روش با حرکت روی مسیرهای کارا و سپس محاسبه خروجی‌های نهایی و ورودی‌های اولیه کلاسیک، کارایی هر واحد تصمیم‌گیرنده را در مقابل واحد تصمیم‌گیرنده مشابه اندازه‌گیری می‌کند. در واقعیت موارد بسیاری را می‌توان یافت که یک ورودی اولیه و یا محصول میانی به چندین زیرواحد تخصیص یابد و یا موجب تشکیل دور در شبکه گردد. در چنین شبکه‌هایی روش لویس و سکستون قادر به محاسبه کارایی نیست. لذا در این مقاله روشی ارائه گردیده که قادر است این نقاط ضعف را برطرف نموده و کارایی چنین شبکه‌هایی را محاسبه نماید.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی عملکرد، کارایی، تحلیل پوششی داده‌ها، واحد تصمیم‌گیرنده.

۱- مقدمه

امروزه ارائه خدمات و تولید محصولات متعدد، حساسیت کافی را برای بررسی تحقق اهداف، ارتقای رضایتمندی ذینفعان و عملکرد سازمان ایجاد کرده است. ارزیابی عملکرد فرایندی است که به سنجش و اندازه‌گیری، ارزش‌گذاری و قضاوت درباره عملکرد طی دوره‌ای معین می‌پردازد. در صورتی که ارزیابی عملکرد با دیدگاه فرآیندی و بطور صحیح و مستمر انجام شود، موجب ارتقا عملکرد سازمان‌ها می‌گردد. امروزه اندازه‌گیری کارایی به عنوان یکی از مهمترین روش‌های ارزیابی عملکرد مطرح شده است. نتایج حاصله از محاسبه کارایی و روش‌هایی همچون الگوبرداری، سازمان‌ها را قادر می‌سازند تا ناکارایی زیرواحدهای خود را برطرف نموده و عملکرد سازمان خود را افزایش دهند. یکی از پرکاربردترین روش‌های اندازه‌گیری کارایی روش تحلیل پوششی داده‌هاست. روش‌های تحلیل پوششی داده‌های کلاسیک توسط فارل ابداع و بوسیله چارنز، کوپر و رودز جامعیت بخشیده شد (فارل، ۱۹۵۷) و (چالز، کوپر و رولدز، ۱۹۷۸) روش کلاسیک سازمان‌ها را بصورت جعبه سیاه در نظر گرفته و محاسبات خود را به ورودی‌های اولیه و خروجی‌های نهایی محدود کرده و از فرآیندهای داخلی غفلت می‌ورزند. لذا به‌منظور بر طرف نمودن این مشکل مدل‌های مختلفی تحت عنوان تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارائه گردید. برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ فارل و گرسکوف مقاله‌ای تحت عنوان «تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای» را ارائه نمودند که در این مقاله اهمیت تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای خاطر نشان شده بود (گروسکوف، ۲۰۰۰). کاستلی، پستی و

اکویچ در سال ۲۰۰۱ مقاله‌ای تحت عنوان «مدل‌های تحت تحلیل پوششی داده‌ها^۱ برای ارزیابی کارایی واحدهای معین و وابسته» ارائه کردند. در این مقاله، مسئله ارزیابی کارایی مجموعه زیرواحدهای تصمیم‌گیری^۲ معین و به هم وابسته را که واحدهای تصمیم‌گیری بزرگتری می‌سازند، مورد بررسی قرار گرفت (کاستلی و اکویچ، ۲۰۰۱). لویس و سکستون در سال ۲۰۰۳ روش تحلیل پوششی داده‌های دو مرحله‌ای را برای اندازه‌گیری کارایی واحدهایی که در دو مرحله تولید می‌کنند، ارائه کردند (لویس و سکستون، ۲۰۰۱). سپس در سال ۲۰۰۴ مقاله‌ای تحت عنوان «تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای: تحلیل کارایی سازمان‌ها با ساختار درونی پیچیده» را ارائه نمودند؛ مدل پیشنهادی آنها در این مقاله واحدهایی شامل یک شبکه از زیرواحدهای مرتبط می‌باشد که در آن برخی از زیرواحدها، منابعی را برای دیگر زیرواحدها تولید و برخی دیگر از منابع تولید شده، توسط دیگر زیر واحدها مصرف می‌شوند. آنها مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای را برای ماهیت خروجی و ورودی فرموله نمودند (لویس و سکستون، ۲۰۰۴). در سال ۲۰۰۴ کاستلی، پستی و اکویچ مقاله‌ای به‌منظور ارزیابی کارایی واحدهای سازمان یافته سلسله مراتبی ارائه نمودند (کاستلی، پستی و اکویچ، ۲۰۰۴). پریو و زفیو در سال ۲۰۰۷ کارایی تکنیکی بالقوه را با مقایسه تکنولوژی‌های متناسب با اقتصادهای مختلف، ارزیابی نمودند (پریو و زفیو، ۲۰۰۷) در سال ۲۰۰۸ یو و لین مقاله‌ای با عنوان کارایی و اثربخشی عملکرد راه‌آهن با استفاده از یک مدل

1 Data Envelopment Analysis

2 Decision Making Sub-Units

شبکه‌ای است؛ این روش با حرکت روی مسیرهای کارا و سپس محاسبه خروجی‌های نهایی و ورودی‌های اولیه کلاسیک، کارایی هر سازمان را در مقابل سازمان‌های مشابه اندازه‌گیری می‌کند. لذا با توجه به کاربرد فراوان این روش در تحلیل کارایی سازمان‌های با حجم بزرگ و پیچیده و استفاده از این روش در بخش سوم، در ادامه به توضیحات مختصر در خصوص آن پرداخته می‌شود.

۲-۱- تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارائه شده

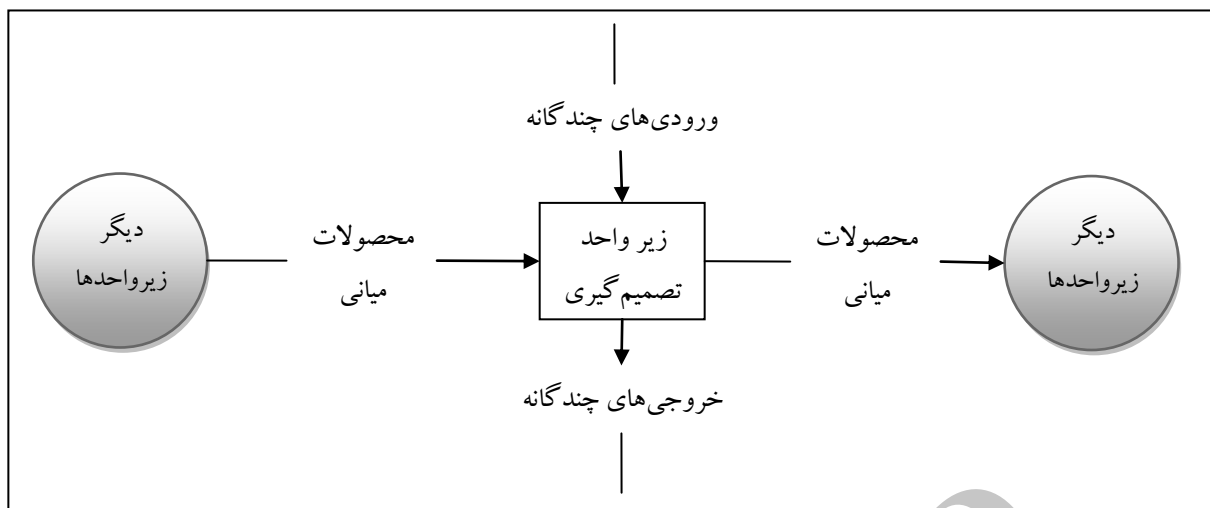
توسط لویس و سکستون

در این تحقیق لویس و سکستون فرض نمودند که سیستم تحت ارزیابی شامل چندین واحد تصمیم‌گیرنده مشابه هم باشد که هر واحد خود شامل چندین زیرواحد به هم مرتبط است. در واقع هر واحد شبکه‌ای از زیرواحدهای مرتبط به هم می‌باشد که در آن برخی از زیرواحدها منابعی را برای دیگر زیرواحدها تولید و برخی دیگر منابع تولید شده توسط دیگر زیرواحدها را مصرف می‌کنند. بدین ترتیب هر زیرواحد در یک واحد تصمیم‌گیرنده دارای ورودی (خروجی)‌های چندگانه میانی و اولیه (نهایی) از (به) درون و بیرون واحد است. شکل (۱) الگوی ورودی-خروجی یک زیرواحد در واحد تصمیم‌گیرنده را نشان می‌دهد (لویس و سکستون، ۲۰۰۴).

تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای چند فعالیته ارائه نمودند (یو و لین، ۲۰۰۸) مقاله «تجزیه کارایی در تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای: یک مدل واقعی» توسط کائو در سال ۲۰۰۹ ارائه گردید. در این مقاله هر سیستم شبکه‌ای با استفاده از فرآیندهای مجازی به یک سیستم سری تبدیل می‌شود که هر مرحله از این سیستم سری شامل ساختار موازی است؛ بدین ترتیب براساس ساختارهای سری و موازی، کارایی سیستم تولید به کارایی‌های مراحل سری و ناکارایی‌های هر مرحله این سری، به مجموع ناکارایی‌های فرآیندهای جزء که به صورت موازی به همدیگر متصل شده‌اند، تقسیم می‌شود (کائو، ۲۰۰۹). لذا در ادامه این مقاله ابتدا روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارائه شده توسط لویس و سکستون معرفی شده و سپس به بررسی دور و لینک تخصیصی در ساختار شبکه‌ای پرداخته می‌شود. در بخش ۳ روش پیشنهادی معرفی گردیده است. در ادامه و در بخش ۴ نتایج محاسباتی به منظور نمایش مدل ارائه‌شده آورده شده است و در نهایت نیز نتایج و پیشنهادات در بخش ۵ ارائه می‌شود.

۲- روش تحقیق

همانگونه که در بخش یک بیان گردید روش لویس و سکستون که در سال ۲۰۰۴ ارائه شد، یکی از مفیدترین روش‌های تحلیل پوششی داده‌های



شکل (۱): الگوی ورودی - خروجی یک زیر واحد در واحد تصمیم گیرنده (Lewis, Sexton, 2004)

۲-۱-۱- فرمول بندی مدل تحلیل پوششی داده های شبکه ای برای اندازه گیری کارایی در حالت خروجی محور

فرض می شود، تعداد D واحد وجود دارد که همگی دارای ساختار شبکه ای مشابه هم هستند و هر واحد شامل S زیر واحد به هم وابسته است، این زیرواحدها در درون واحد با ورودی - خروجی های میانی با همدیگر مرتبط هستند. هر واحد دارای I ورودی، P محصول میانی، R خروجی است. متغیرهای مدل به صورت زیر تعریف می گردد:

X_{dsi} : برابر میزان ورودی i ام که توسط زیر واحد d ام از واحد d ام مصرف شده است.

Y_{dstp} : برابر میزان محصول میانی p ام که توسط زیر واحد d ام از واحد d ام تولید شده و بوسیله زیر واحد t ام از واحد d ام مصرف می شود.

Z_{dsr} : برابر خروجی r ام که بوسیله زیر واحد d ام از واحد d ام تولید شده است.

λ_{dsk} : وزن قرار داده شده روی زیر واحد d ام از واحد k ام است.

θ_{sk} : برابر معکوس کارایی زیر واحد d ام از واحد k ام است.

اگر سازمان خروجی محور باشد آنگاه با فرض حداکثرسازی محصول، کارایی زیر واحد d ام از واحد k به صورت مدل (۱) محاسبه می شود.

$$\max \theta_{sk}$$

$$s.t.$$

$$\sum_{d=1}^D \lambda_{dsk} X_{dsi} \leq X_{ksi}; \quad i = 1, \dots, I,$$

$$\sum_{d=1}^D \lambda_{dsk} \left(\sum_{t=1}^S Y_{dstp} \right) \leq \sum_{t=1}^S Y_{ktsp}; \quad p = 1, \dots, P,$$

$$\sum_{d=1}^D \lambda_{dsk} \left(\sum_{t=1}^S Y_{dstp} \right) \geq \theta_{sk} \sum_{t=1}^S Y_{ktsp}; \quad p = 1, \dots, P,$$

$$\sum_{d=1}^D \lambda_{dsk} Z_{dsk} \geq \theta_{sk} Z_{ksr}; \quad r = 1, \dots, R,$$

$$\lambda_{dsk} \geq 0; \quad d = 1, \dots, D,$$

$$\theta_{sk} \geq 0.$$

(۱)

مقادیر ورودی و خروجی زیر واحد s از واحد k از صورت $\left(X_{ksi}, \sum_{t=1}^S Y_{kstp}, \sum_{t=1}^S Y_{kstp}, Z_{ksr} \right)$ به $\left(\sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* X_{dsi}, \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* \left(\sum_{t=1}^S Y_{dstp} \right), \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* \left(\sum_{t=1}^S Y_{dstp} \right), \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* Z_{dsr} \right)$ هدایت می‌شود. بنابراین زیر واحد s ام از واحد k ام برای بهبود کارایی خود و رسیدن به مرز کارایی باید محصولات میانی تولیدی و خروجی‌های خود را تا مقادیر مشاهده شده در روابط (۲) و (۳) افزایش دهد.

$$Y_{ksp}^* = \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* \left(\sum_{t=1}^S Y_{dstp} \right); \quad p = 1, \dots, P \quad (2)$$

$$Z_{ksr}^* = \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* Z_{dsr}; \quad r = 1, \dots, R \quad (3)$$

می‌کند. همچنین $\sum_{s=1}^S Z_{ksr}^{**}$ میزان خروجی استاندارد r ام واحد k است.

در نهایت معکوس کارایی به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود.

$$\theta_k = \min_{r=1, \dots, R} \left(\frac{\sum_{s=1}^S Z_{ksr}^{**}}{\sum_{s=1}^S Z_{ksr}} \right) \quad (4)$$

مصرف محصولات میانی بهینه تولید شده توسط زیر واحد قبلی به عنوان ورودی و تولید خروجی‌های میانی بهینه برای مصرف زیر واحد بعدی و تولید خروجی‌های نهایی بهینه برای گره مقصد

- ✓ تعیین خروجی‌های استاندارد در پایان توالی
- ✓ اندازه‌گیری کارایی واحد با استفاده از شاخص کارایی

لازم به ذکر است جهت تعیین توالی به روش مسیر بحرانی پیشرو ابتدا گراف متناظر با واحد ترسیم

چنانچه مشاهده می‌شود، این مدل تقریباً مشابه مدل خروجی محور کلاسیک است و تنها محدودیت‌های دوم و سوم مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های میانی به آن اضافه شده است، در این مدل λ_{dsk}^* به منظور الگوبرداری در افزایش کارایی، یک نقطه مرجع را به عنوان واحد مجازی کارا، زیر واحد s ام از واحد k ام معرفی می‌کند، در واقع λ_{dsk}^* سهم زیر واحد s از واحد d را در تعیین واحد مرجع را نشان می‌دهد. بدین ترتیب با حل این مدل

Z_{ksr}^{**} ، میزان استاندارد خروجی r ام زیر واحد s ام از واحد k ام است که میزان خروجی‌ای را نشان می‌دهد که واحد مورد نظر در حالت کارا تولید

به طور مختصر برای اندازه‌گیری کارایی واحد به روش سکستون در حالت خروجی محور باید به صورت زیر عمل نمود:

- ✓ ترسیم گراف متناظر با واحد تصمیم‌گیرنده
- ✓ تعیین توالی زیر واحدها به روش مسیر بحرانی^۱ پیشرو
- ✓ حرکت از گره مبدأ به گره مقصد بر اساس توالی تعیین شده و بهینه‌سازی مدل خروجی هر زیر واحد با

^۱ CPM

بگیرند. در پایان با حذف گره‌های مبدأ و مقصد، توالی مورد نظر به دست می‌آید.

۲-۱-۲- فرمول‌بندی مدل تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای برای اندازه‌گیری کارایی در حالت ورودی‌محور

اگر سازمان ورودی‌محور باشد، آنگاه با فرض مینیمم‌سازی ورودی‌ها، کارایی زیر واحد s از واحد k به صورت مدل (۵) محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} \min \quad & E_{sk} \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk} X_{dsk} \leq E_{sk} X_{kxi}; \quad i = 1, \dots, I, \\ & \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk} \left(\sum_{t=1}^S Y_{dktsp} \right) \leq E_{sk} \sum_{t=1}^S Y_{ktsp}; \quad p = 1, \dots, P, \\ & \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk} \left(\sum_{t=1}^S Y_{dstp} \right) \geq \sum_{t=1}^S Y_{kstp}; \quad p = 1, \dots, P, \\ & \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk} Z_{dsk} \geq Z_{ksr}; \quad r = 1, \dots, R, \\ & \lambda_{dsk} \geq 0; \quad d = 1, \dots, D, \\ & E_{sk} \geq 0. \end{aligned} \tag{5}$$

عنوان واحد مجازی کارایی مربوط به زیر واحد s از واحد k معرفی می‌کند، در واقع λ_{dsk}^* سهم زیر واحد s از واحد d را در تعیین واحد مرجع زیر واحد s از واحد k را نشان می‌دهد. بدین ترتیب با حل مدل (۵) زیر واحد s از واحد k با مقادیر ورودی و خروجی به صورت

$$\left(X_{kxi}, \sum_{t=1}^S Y_{ktsp}, \sum_{t=1}^S Y_{kstp}, Z_{ksr} \right)$$

به سمت واحد مرجع با ورودی و خروجی‌های متناظر

می‌شود، در این گراف گره‌ای وجود دارد که محصول میانی به آن وارد نمی‌شود، اما از آن حداقل یک یال خارج می‌شود که این همان گره مبدأ است، این گره را در اول توالی قرار داده و این گره را به همراه تمام یال‌های خارج شده از آن حذف می‌شود. مجدداً در گراف باقیمانده گره مبدأ وجود دارد که این گره، بعد از گره قبلی در توالی قرار داده می‌شود. این عمل آن قدر ادامه داده می‌شود، تا تمام گره‌ها در توالی قرار

بدین ترتیب میزان محصول میانی p ام و میزان ورودی i ام که زیر واحد s از واحد k ام برای رسیدن به مرز کارایی باید مصرف کند، به صورت روابط (۶) و (۷) تعریف می‌شود:

چنانچه مشاهده می‌شود، این مدل تقریباً مشابه مدل ورودی‌محور کلاسیک می‌باشد و تنها محدودیت‌های دوم و سوم مربوط به ورودی‌ها و خروجی‌های میانی به آن اضافه شده است، در این مدل λ_{dsk}^* همانند مدل خروجی‌محور به منظور الگوبرداری در افزایش کارایی، یک نقطه مرجع را به

✓ اندازه‌گیری کارایی واحد با استفاده از شاخص برای تعیین توالی به روش مسیر بحرانی پسرو، گراف متناظر با واحد ترسیم می‌شود، حال در این گراف گره‌ای وجود دارد که یالی از آن خارج نمی‌شود، اما به آن حداقل یک یال وارد می‌شود که این همان گره مقصد است این گره در اول توالی قرار داده و این گره به همراه تمام یال‌های وارد شده به آن از گراف حذف می‌شود. در گراف باقیمانده گره‌ای وجود دارد که یالی از آن خارج نمی‌شود، اما به آن یالی وارد می‌شود که این گره بعد از گره قبلی در توالی قرار داده می‌شود. این عمل آن قدر ادامه داده می‌شود تا تمام گره‌ها در توالی قرار بگیرد. در پایان با حذف گره‌های مبدأ و مقصد، توالی مورد نظر به دست می‌آید.

۲-۲- دور و لینک تخصیصی در ساختار شبکه‌ای در ساختارهای شبکه‌ای اگر زیرواحدهای یک واحد تصمیم‌گیرنده و ارتباط بین آنها در نظر گرفته شود، گرافی جهت‌دار تشکیل می‌شود. دنباله یال‌های گراف متناظر ممکن است به حالات مختلف ظاهر شود. یکی از این حالات دور است. یک مسیر در گراف دور نامیده می‌شود، اگر ابتدا و انتهای آن بر یکدیگر منطبق باشد. لازم به ذکر است دور شامل رأس و یال تکراری نیست. به عنوان مثال می‌توان به شکل (۲) اشاره نمود.

$$\left(\sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* X_{dsi}, \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* \left(\sum_{t=1}^S Y_{dtsp} \right), \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* \left(\sum_{t=1}^S Y_{dtsp} \right), \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* Z_{dsr} \right)$$

راهنمایی می‌شود.

$$Y_{ksp}^* = \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* \left(\sum_{t=1}^S Y_{dtsp} \right); \quad p = 1, \dots, P \quad (6)$$

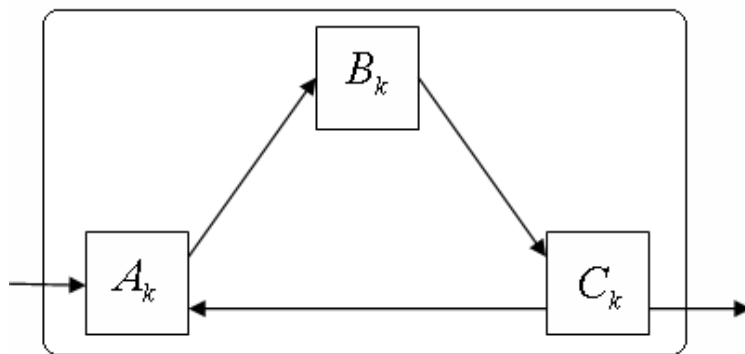
$$X_{kxi}^* = \sum_{d=1}^D \lambda_{dsk}^* X_{dsi}; \quad i = 1, \dots, I \quad (7)$$

برای تعیین کارایی واحد k ام از رابطه (۸) استفاده می‌شود و در آن X_{kxi}^{**} میزان استاندارد ورودی i ام را نشان می‌دهد که زیر واحد s ام از واحد k ام باید مصرف کند، در واقع ورودی استاندارد واحد برابر است با میزان ورودی واحد در صورتی که تمام زیرواحدهای آن کارا باشند. $\sum_{s=1}^S X_{kxi}^{**}$ نیز میزان استاندارد ورودی i ام واحد k ام را نشان می‌دهد.

$$E_k = \max_{i=1, \dots, I} \left(\frac{\sum_{s=1}^S X_{kxi}^{**}}{\sum_{s=1}^S X_{kxi}} \right) \quad (8)$$

به‌طور مختصر برای اندازه‌گیری کارایی یک واحد بایستی به صورت زیر عمل شود:

- ✓ ترسیم گراف متناظر با واحد تصمیم‌گیری
- ✓ تعیین توالی زیرواحدها به روش مسیر بحرانی پسرو
- ✓ حرکت از گره مقصد به گره مبدأ براساس توالی تعیین شده و بهینه‌سازی مدل ورودی‌محور هر زیرواحد و تعیین ورودی‌های میانی و اولیه بهینه برای تولید خروجی‌های میانی و نهایی تعیین شده و ثابت، همچنین استفاده از ورودی‌های بهینه بدست آمده از بهینه‌سازی مدل این زیرواحد به عنوان خروجی‌های میانی زیرواحدها در توالی بعدی
- ✓ تعیین ورودی‌های استاندارد در پایان توالی

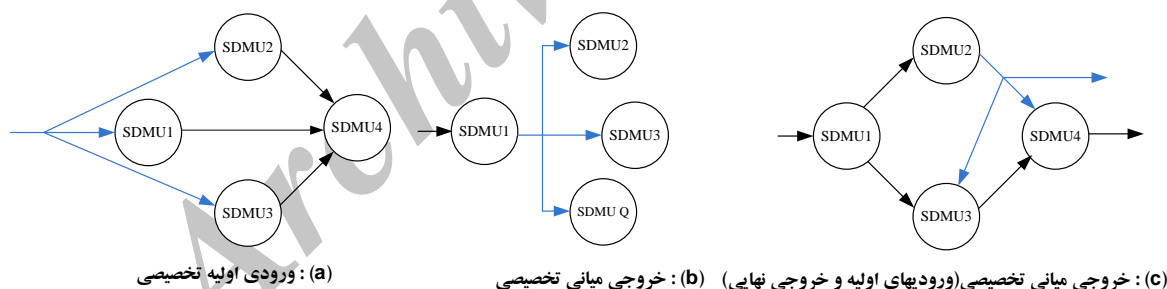


شکل (۲): دور ساده

حالت دوم (خروجی میانی): اگر خروجی میانی i ام زیر واحد k به تعداد Q زیر واحد تخصیص یابد (شکل b ۳)

حالت سوم (خروجی میانی و نهایی): اگر زیر واحد k دارای یک خروجی نهایی و Q خروجی میانی باشد (شکل c ۳).

به ورودی و یا خروجی‌هایی که در یک دوره زمانی به چندین زیر واحد اختصاص می‌یابند، لینک تخصیصی گفته می‌شود. یک لینک ممکن است به یکی از سه حالت ورودی‌های اولیه، خروجی‌های میانی و خروجی‌های میانی و نهایی تخصیص یابد. حالت اول (ورودی اولیه): در این حالت یک ورودی اولیه به چندین زیر واحد اختصاص می‌یابد (شکل a ۳).



شکل (۳): انواع لینک تخصیصی

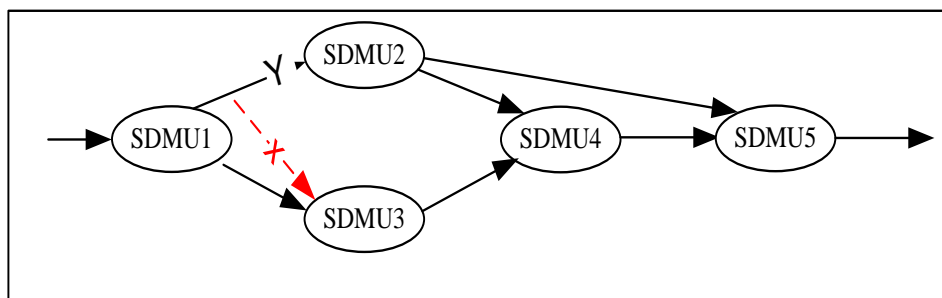
لینک تخصیصی اشاره نمود. با توجه به بندهای (۲) - (۱) و (۲-۲) می‌توان بیان داشت روش سکستون هنگامی که به دور و لینک تخصیصی مواجه می‌شود، قادر به محاسبه کارایی زیر واحدهای باقیمانده نیست. در واقع این مشکل از آنجا ناشی می‌گردد که در گراف‌های دارای دور نمی‌توان با روش مسیر بحرانی

۳- بحث (روش پیشنهادی)

همانگونه که اشاره گردید روش ارائه شده توسط سکستون یکی از پرکاربردترین روش‌ها در اندازه‌گیری کارایی ساختارهای شبکه‌ای است، اما این روش دارای نقص‌هایی نیز بوده که از آن جمله می‌توان به عدم کاربرد آن در شبکه‌های دارای دور و

به‌عنوان مثال شبکه شکل‌های (۴) و (۵) دارای دور و لینک تخصیصی هستند. روش لوپس و سکستون برای محاسبه کارایی این شبکه‌ها به صورت زیر عمل می‌کند.

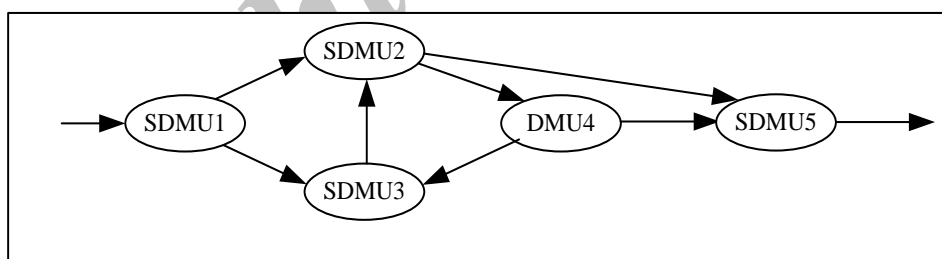
توالی مورد نظر را تعیین نمود، این درحالی است که روش مسیر بحرانی اساس حرکت‌های بهینه‌سازی در روش لوپس و سکستون است. همچنین، متشابهاً این مشکل در خصوص لینک تخصیصی نیز وجود دارد.



شکل (۴): ساختار شبکه‌ای دارای لینک تخصیصی

زیرواحدهای ۲ و ۳ به کار برد، اما در اینجا روش قادر به تعیین مقدار بهینه لینک‌های X و Y برای ادامه روند بهینه‌سازی نیست.

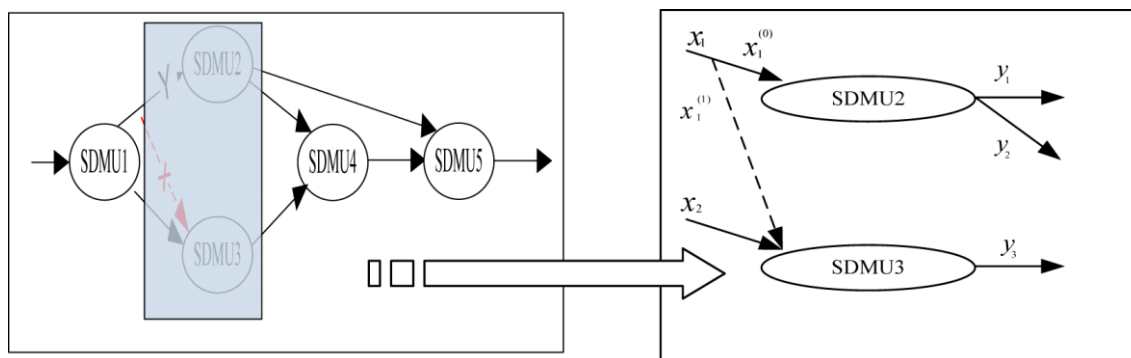
در شبکه فوق روش لوپس و سکستون بدین صورت عمل می‌نمایند که ابتدا کارایی زیر واحد ۱ و مقادیر بهینه خروجی‌های آن را محاسبه می‌کنند. سپس باید این مقادیر را به‌عنوان ورودی



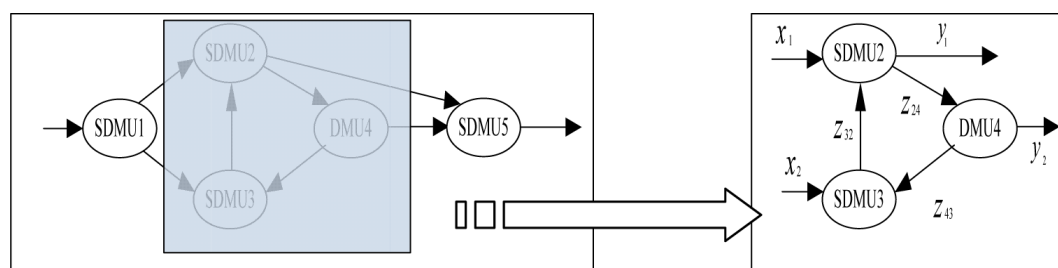
شکل (۵): وجود دور در ساختار شبکه‌ای

(۵) و ورودی‌ها و خروجی‌های مرتبط با آنها به صورت شبکه‌های مجزا در نظر گرفته می‌شوند (شکل‌های (۶) و (۷)).

به طور مشابه در شبکه شکل (۵) نیز پس از محاسبه کارایی زیرواحدها، روش مسیر بحرانی قادر به تمایز و اولویت‌بندی زیرواحدهای ۲ و ۳ نیست. لذا به منظور برطرف نمودن این دو مشکل ابتدا زیرواحدهای ۲ و ۳ در شکل (۴) و ۲، ۳ و ۴ در شکل



شکل (۶): وجود لینک تخصیصی در ساختار شبکه‌ای



شکل (۷): وجود دور در ساختار شبکه‌ای

مدل‌های (۹) و (۱۰) برای شبکه شکل‌های (۶) و (۷) به صورت زیر به دست می‌آیند.

حال اگر فرض شود n واحد مشابه جعبه سیاه فوق موجود باشند و شبکه فوق k امین آن‌ها باشد

$$\text{Max } E_k = u_1 y_{1k} + u_2 y_{2k} + u_3 y_{3k}$$

S.t:

$$v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} = 1$$

$$u_1 y_{1j} - v_1 x_{1j}^{(0)} \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$u_2 y_{2j} - (v_1 x_{1j}^{(1)} + v_2 x_{2k}) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \cdot v_1 \cdot v_2 \geq \varepsilon$$

$$\text{Max } E_k = u_1 y_{1k} + u_3 y_{2k}$$

S.t:

$$v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k} = 1$$

$$u_1 y_{1j} + u_3 y_{2k} - (v_1 x_{1k} + v_2 x_{2k}) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$u_1 y_{1j} + u_2 z_{24j} - (v_1 x_{1j} + v_3 z_{32j}) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$v_3 z_{32j} - (v_2 x_{2j} + v_4 z_{43j}) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$u_3 y_{2k} + v_4 z_{43j} - (u_2 z_{24j}) \leq 0 \quad j=1,2,\dots,n$$

$$u_1 \cdot u_2 \cdot u_3 \cdot v_1 \cdot v_2 \cdot v_3 \cdot v_4 \geq \varepsilon$$

(۹)

(۱۰)

فوق می‌توان کارایی شبکه‌هایی را که شامل دور و لینک تخصیصی هستند، را می‌توان محاسبه نمود.

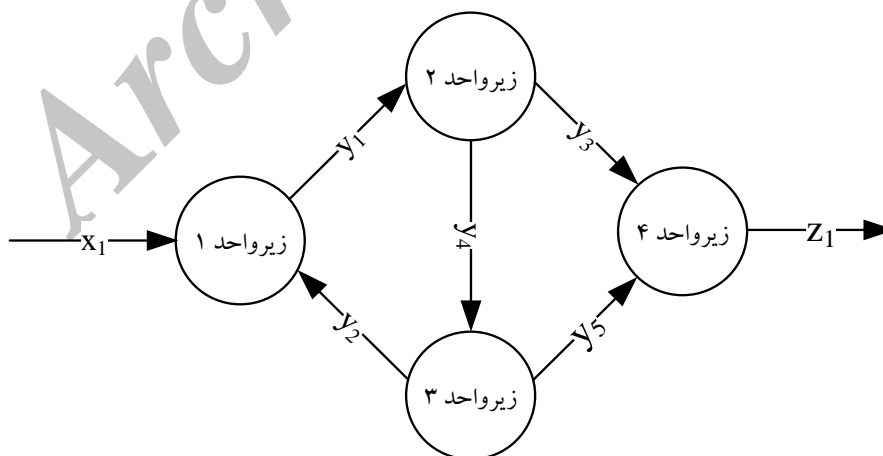
۴- مثال عددی

فرض شود اطلاعات مربوط به ۵ واحد تصمیم‌گیرنده مطابق جدول (۱) در اختیار باشد. همانگونه که در شکل‌های (۸) و (۹) مشاهده می‌شود این واحدها دارای ۴ زیرواحد می‌باشند که در دو حالت دارای لینک تخصیصی و دور در نظر گرفته شده است.

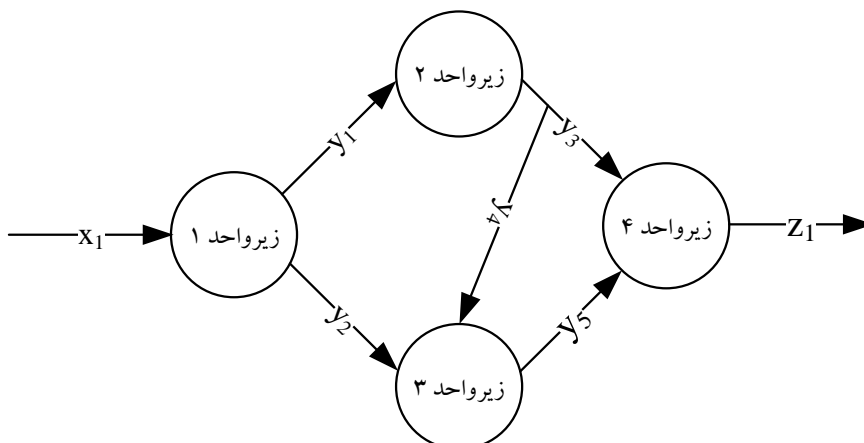
با استفاده از مسائل برنامه‌ریزی خطی فوق کارایی قسمت‌های انتخابی و میزان بهینه خروجی‌های مربوطه، محاسبه می‌گردد. سپس خروجی‌های بهینه مرحله قبل به منظور محاسبه کارایی زیرواحدهای بعدی در توالی مشخص شده توسط روش لوپس و سکستون مورد استفاده قرار گرفته و روند ادامه می‌یابد. لذا خروجی‌های بهینه در شبکه شکل (۴) جهت ورودی زیرواحدهای ۴ و ۵ و در شبکه شکل (۵) جهت ورودی زیرواحد ۵ مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین مشاهده می‌گردد با استفاده از روش

جدول (۱): داده‌های مربوط به ورودی و خروجی

	X_1	Y_1	Y_2	Y_3	Y_4	Y_5	Z_1
واحد تصمیم‌گیرنده ۱	۲	۱	۱	۲	۵	۴	۳
واحد تصمیم‌گیرنده ۲	۱	۳	۱	۱۰	۱۲	۶	۱۰
واحد تصمیم‌گیرنده ۳	۴	۵	۲	۶	۳	۵	۸
واحد تصمیم‌گیرنده ۴	۱	۲	۲	۳	۸	۳	۹
واحد تصمیم‌گیرنده ۵	۳	۳	۴	۷	۷	۶	۴



شکل (۸): ساختار واحد تصمیم‌گیرنده دارای دور



شکل (۹): ساختار واحد تصمیم گیرنده دارای لینک تخصیصی

پریتمو محاسبه گردید که در جداول (۲) و (۳) نتایج مربوط به کارایی ارائه شده است.

حال با توجه به ساختار و مفروضات فوق، کارایی واحد تصمیم گیرنده یک در مقایسه با دیگر واحدها با استفاده از روش پیشنهادی و مدل‌های کلاسیک و

جدول (۲): کارایی واحد تصمیم گیرنده ۱ در حالت دارای لینک تخصیصی با استفاده از سه روش مختلف

کارایی (واحد تصمیم گیرنده ۱)	کارایی (واحد تصمیم گیرنده ۱)	کارایی (واحد تصمیم گیرنده ۱)
۰,۰۷	۰,۰۷۵	۰,۱۴
روش پریتمو	روش تلفیقی ارائه شده (مدل ۹)	روش کلاسیک (جعبه سیاه)

جدول (۳): کارایی واحد تصمیم گیرنده ۱ در حالت دارای دور با استفاده از سه روش مختلف

کارایی (واحد تصمیم گیرنده ۱)	کارایی (واحد تصمیم گیرنده ۱)	کارایی (واحد تصمیم گیرنده ۱)
۰,۰۶۹	۰,۰۵	۰,۱۴
روش پریتمو	روش تلفیقی ارائه شده (مدل ۱۰)	روش کلاسیک (جعبه سیاه)

تأثیرگذار بوده و موجب کاهش آن می‌شود. لذا می‌توان عنوان نمود که در حالت فوق نیز ناکارایی فرآیندهای میانی موجب اختلاف میان نتایج روش کلاسیک و روش‌های پیشنهادی و پریتمو شده است. در این قسمت به منظور نشان‌دادن تغییرات ورودی و خروجی بر میزان کارایی، چند مثال حل

همانگونه که مشاهده می‌شود نتایج دو روش پیشنهادی و پریتمو در هر دو حالت بسیار نزدیک است و دارای اختلافی با حالت کلاسیک است. دلیل این اختلاف نیز در نظر گرفتن اثر محصولات میانی توسط روش کلاسیک است. در حالتی که فرآیندهای میانی ناکارا باشد، این ناکارایی بر روی کارایی کل

همانگونه که در جداول مشاهده می‌شود، مطابق انتظار در حالت‌هایی که ورودی افزایش می‌یابد، کارایی کاهش و در حالت‌هایی که ورودی کاهش می‌یابد، کارایی افزایش می‌یابد. این نتایج مطابق انتظار و قابل توجیه است، چرا که هر اندازه واحد تصمیم‌گیرنده با ورودی کمتری خروجی یکسانی را به دست آورد، کارا تر خواهد بود. در حالت تغییر خروجی نیز عکس حالت ورودی است که منطقی هستند.

شده است که به ترتیب در جداول (۴) و (۵) نشان داده شده‌اند. در هر یک از ردیف‌ها، یکی از متغیرهای ورودی یا خروجی تغییر داده شده و نتایج نهایی با ملاحظه این تغییر آورده شده است. متغیرهای تغییر داده شده شامل Z_1 و X_1 هستند، همچنین نتایج فقط برای کارایی واحد تصمیم‌گیرنده ۱ مشخص شده است که جدول (۴) کارایی واحد تصمیم‌گیرنده ۱ در حالت دارای لینک تخصیصی و جدول (۵) کارایی واحد تصمیم‌گیرنده ۱ در حالت دارای دور را بیان می‌کند.

جدول (۴): کارایی واحد تصمیم‌گیرنده ۱ در حالت دارای لینک تخصیصی

متغیر	حالت اول (مقدار فرض شده در مثال)	اگر به مقدار زیر تغییر یابد (افزایش/کاهش)	مقدار لینک تخصیصی بهینه	میزان کارایی جدید
X_1	۲	۴	۵۸,۶۶۷	۰,۰۳۷۵
X_1	۲	۰,۵	۷,۳۴	۰,۲۸۹۳
Z_1	۳	۵	۲۹,۳۲	۰,۱۲۵۲
Z_1	۳	۱	۲۹,۳۲	۰,۰۲۵

جدول (۵): کارایی واحد تصمیم‌گیرنده ۱ در حالت دارای دور

متغیر	حالت اول (مقدار فرض شده در مثال)	اگر به مقدار زیر تغییر یابد (افزایش/کاهش)	میزان کارایی جدید
X_1	۲	۴	۰,۰۲۵
X_1	۲	۰,۵	۰,۲
Z_1	۳	۵	۰,۱۲
Z_1	۳	۱	۰,۰۱۶

می‌توان به اندازه‌گیری کارایی اشاره نمود. نتایج حاصل از محاسبه کارایی، سازمان‌ها را قادر می‌سازد شناخت بهتری را از عملکرد واحدهای خود کسب نموده و با برطرف نمودن علل ناکارایی‌ها عملکرد

۵- نتیجه‌گیری
امروزه ارزیابی عملکرد و نظام‌های بازخورد به عنوان یکی از عوامل موثر در موفقیت سازمان‌ها به شمار می‌رود. از مهمترین روش‌های ارزیابی عملکرد

منابع

- Castelli, L., Pesenti, R. and Ukovich, W., (2001) "DEA-like models for efficiency evaluations of specialized and interdependent units", *European Journal of Operational Research*, 132, 274-286.
- Castelli, L., Pesenti, R. and Ukovich, W. (2004). "DEA-like models for the efficiency evaluation of hierarchically structured units", *European Journal Of Operational Research*, 154, 456-476.
- Charnes, A., Cooper, WW. And Rhodes, E. (1978) "Measurement the efficiency of decision making unit", *European Journal of Operational Research*, 2, 429-444.
- Chen, C. (2009). "A network-DEA model with new efficiency measures to incorporate the dynamic effect in production networks", *European Journal of Operational Research*, (194), 687-699.
- Fare, R., and Grosskopf, S. (2000). "Network DEA", *socio-economic plannig science*, 34, 35-49.
- Farrel, M.J. (1957). "The Measurement of Productive Efficiency", *Journal of Statistical Society, Series A, CXX, Part3*, 253-290.
- Kao, C. (2009) "Efficiency decomposition in network data envelopment analysis: A relational model", *European Journal of Operation Research*, 192, 949-962.
- Lewis H. and Sexton, T. (2004) "Network DEA: efficiency analysis of organizations with complex internal structure", *Computers & Operations Research*, (31), 1365-1410.
- Lewis H. and Sexton, T., "Two-Stage DEA: An APplication to Major League Baseball", *journal of Productivity Analysis*, Vol.19, PP.227-249, 2001.
- Prieto, A.M. and Zofio, J.L. (2007) "Network DEA efficiency in input-output models: With an aPplication to OECD countries", *European Journal of Operational Research*, 178, 292-304.
- Yu, M.-M., Lin, E.T.J. (2008) "Efficiency and effectiveness in railway performance using a multi-activity network DEA model", *Omega* (36), 1005-1017.

خود را بهبود دهند. یکی از پرکاربردترین روش‌های اندازه‌گیری کارایی روش تحلیل پوششی داده‌های شبکه‌ای ارائه شده توسط لویس و سکستون می‌باشد. این روش به منظور محاسبه کارایی یک واحد تصمیم‌گیرنده، مساله را به کارایی تک‌تک زیرواحدهای آن می‌شکند و با حرکت روی مسیرهای کارا و سپس محاسبه خروجی‌های نهایی و ورودی‌های اولیه کلاسیک، کارایی هر سازمان را در مقابل سازمان‌های مشابه اندازه‌گیری می‌کند. در دنیای واقعی موارد فراوانی وجود دارد که یک محصول به چندین حالت مختلف استفاده می‌شود و همچنین شبکه فرآیند مربوطه دارای دور است، اما روش ارائه شده توسط لویس و سکستون قادر به محاسبه کارایی شبکه‌های دارای دور و لینک تخصیصی نیست. لذا در این مقاله سعی شد روشی ارائه گردد که این نقاط ضعف را برطرف نموده و دامنه کاربرد روش را توسعه دهد. نتایج حاصل از این مدل می‌تواند در محاسبه کارایی سازمان‌های با حجم بزرگ و پیچیده بسیار پرکاربرد باشد. یکی از مسائلی که در حال حاضر از اهمیت فراوانی برخوردار است وجود اثر دینامیکی در شبکه است (چن، ۲۰۰۹). لذا در تحقیقات آتی می‌توان به بررسی کاربرد این روش در چنین شبکه‌هایی پرداخت. همچنین در این تحقیق از فرض بازده به مقیاس ثابت استفاده شده است. لذا بررسی فرض بازده به مقیاس متغیر نیز می‌تواند به عنوان پیشنهاد جهت تحقیقات آتی مطرح باشد.