

# به کارگیری روش کارایی متقاطع برای رتبه‌بندی واحدهای کارا در تنظیم پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات

مهدی بشیری،\* سمیرا ربیعی\*\*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۱/۱۵ نوع مقاله: پژوهشی

## چکیده

از آنجایی که روش تحلیل پوششی داده‌ها، به اندازه‌گیری کارایی نسبی می‌پردازد و در مواردی که بیش از یک واحد کارا به دست می‌آید، قادر به ارائه بهترین واحد کارا نیست. به همین دلیل، رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری یکی از موضوعات مهم در تحلیل پوششی داده‌ها محسوب می‌شود. یکی از راه‌حل‌های تعیین بهترین واحد کارا، به کارگیری روش کارایی متقاطع برای رتبه‌بندی واحدهای کاراست که در واقع، از روش تحلیل پوششی داده‌های توسعه‌یافته است. این مقاله، به دنبال بررسی کارایی متقاطع واحدهای کارای ارائه‌شده از روش تحلیل پوششی داده‌ها و در نهایت، ارائه بهترین واحد کارا از ترکیبات پارامتری الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات در حل سایزهای متفاوت از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز است. در این مطالعه، با استفاده از داده‌های شبیه‌سازی شده پیشین که چندین واحد کارا در ارزیابی الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات برای حل هر یک از سایزهای متفاوت مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز ارائه کرده است، به رتبه‌بندی واحدهای کارا با استفاده از روش کارایی متقاطع می‌پردازیم. نتایج نشان می‌دهد، روش کارایی متقاطع ابزاری مؤثر برای رتبه‌بندی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری محسوب می‌شود.

**واژگان کلیدی:** تحلیل پوششی داده‌ها، کارایی متقاطع، واحد کارا، رتبه‌بندی.

## مقدمه

روش کارایی متقاطع اولین بار در سال ۱۹۸۶ از سوی سکتون<sup>۱</sup> و همکارانش با توسعه روش تحلیل پوششی داده‌ها ارائه شد (سکتون، سیلکمن<sup>۲</sup>، هوگان<sup>۳</sup> ۱۹۸۶) اما بررسی‌های بیشتر با همت دوپله و گرین<sup>۴</sup> در سال ۱۹۹۶ انجام شده است (گرین، دوپله، کوک<sup>۵</sup> ۱۹۹۶). دو مزیت اصلی در به کارگیری روش کارایی متقاطع وجود دارد: (۱) امکان رتبه‌بندی واحدهای تصمیم‌گیری را فراهم می‌کند (۲) وزن‌های غیرواقعی را بدون نیاز به استخراج محدودیت‌های وزن از کارشناسان حوزه کاربردی حذف می‌کند (آندرسون<sup>۶</sup>، هالینگسورف<sup>۷</sup>، اینمان<sup>۸</sup>، ۲۰۰۲). به طور خاص می‌توان بیان کرد، از آنجایی که امتیازهای کارایی متقاطع از روش تحلیل پوششی داده‌ها به دست می‌آید، این امتیازها عموماً منحصر به فرد نیستند (واده<sup>۹</sup>، ژوو سی<sup>۱۰</sup>، ژوو جی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۵). در این مقاله، از روش کارایی متقاطع برای رتبه‌بندی ترکیب‌های کارا از پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات در حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز استفاده شده است.

## تحقیقات پیشین

از آنجایی که این روش، کارایی هر واحد را بر اساس وزن تمامی واحدها محاسبه می‌کند، بر این اساس، هر واحد تصمیم‌گیری دارای امتیاز کارایی متفاوتی خواهد بود که میانگین آنها بیانگر امتیاز کارایی متقاطع هر واحد تصمیم‌گیری است. نتایج یک ماتریس کارایی متقاطع را تشکیل می‌دهد که اعضای روی قطر اصلی ماتریس، امتیاز کارایی تحلیل پوششی داده‌ها را نشان می‌دهد و اعضای غیر قطری ماتریس، بیانگر امتیاز کارایی متقاطع هستند. در نهایت، با میانگین‌گیری از هر ستون ماتریس، کارایی متقاطع هر واحد تصمیم‌گیری محاسبه و رتبه‌بندی انجام می‌شود. در ادبیات هر دو مقدار به دست آمده کارایی متقاطع نامیده می‌شود؛ درحالی‌که در عموم فقط میانگین امتیازها به عنوان کارایی متقاطع شناخته می‌شود (واده<sup>۹</sup>، ژوو سی<sup>۱۰</sup>، ژوو جی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۵). ارزیابی به روش کارایی

- 
1. Sexton
  2. Silkman
  3. Hogan
  4. Doyle & Green
  5. Cook
  6. Anderson
  7. Hollingsworth
  8. Inman
  9. Wade
  10. Zhu C.
  11. Zhu J.
  12. Wade

متقاطع کاربردهای متفاوتی دارد؛ از جمله: انتخاب پروژه‌های تحقیق و توسعه (اورال<sup>۳</sup>، کتانی<sup>۴</sup>، لانگ<sup>۵</sup> ۱۹۹۱)، انتخاب بهترین سیستم‌های تولیدی انعطاف‌پذیر (شانگ<sup>۶</sup>، سویوشی<sup>۷</sup> ۱۹۹۵)، رای‌گیری ترجیح (گرین<sup>۸</sup>، دوپله<sup>۹</sup>، کوک<sup>۱۰</sup> ۱۹۹۶) زنجیره تأمین (یوو<sup>۱۱</sup>، تینگ<sup>۱۲</sup>، چن<sup>۱۳</sup>، ۲۰۱۰)، بازی‌های المپیک (وو<sup>۱۴</sup>، لیانگ<sup>۱۵</sup>، یانگ<sup>۱۶</sup> ۲۰۰۹)، تخصیص بهترین نیروی انسانی به سیستم‌های تولید سلولولی (ارتای<sup>۱۷</sup>، روان<sup>۱۸</sup> ۲۰۰۵). از آنجایی که کارایی متقاطع به کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری وابسته است با اضافه شدن حتی یک گزینه امتیاز کارایی متقاطع تغییر می‌کند. تاکنون روش‌های متعددی برای رتبه‌بندی ارائه شده است که عبارت‌اند از: روش فراکارایی، روش رتبه‌بندی معیار، تکنیک‌های آماری چند متغیره، رتبه‌بندی واحدهای ناکارا از طریق اقدامات مناسب تسلط ناکارایی و رویکرد ترکیب روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و ترجیحات تصمیم‌گیرنده‌های مربوطه (جیوو<sup>۱۹</sup>، وو<sup>۲۰</sup> ۲۰۱۳).

### روش کارایی متقاطع

کارایی متقاطع اطلاعات بیشتری از امتیاز کارایی نسبی واحدهای تصمیم‌گیری فراهم می‌کند (سکتون<sup>۲۱</sup>، سیلکمن<sup>۲۲</sup>، هوگان، ۱۹۸۶). این روش دارای دو فاز است: فاز اول خود-ارزیابی نامیده می‌شود که امتیاز کارایی نسبی هر واحد تصمیم‌گیری با روش تحلیل پوششی داده‌ها در حالت

1. Zhu C
2. Zhu J
3. Oral
4. Kettani
5. Lang
6. Shang
7. Sueyoshi
8. Green
9. Doyle
10. Cook
11. Yu
12. Ting
13. Chen
14. Wu
15. Liang
16. Yang
17. Ertay
18. Ruan
19. Guo
20. Wu
21. Sixton
22. Silkman

بازدهی به مقیاس ثابت (چارنز<sup>۱</sup>، کوپر<sup>۲</sup>، رودز<sup>۳</sup> ۱۹۷۸) محاسبه می‌شود. در فاز دوم، امتیاز کارایی متقاطع تمامی واحدهای تصمیم‌گیری ارزیابی شده به صورت نسبی در فاز یک ارزیابی می‌شود. در ادامه، به تشریح فاز یک و دو در این مقاله می‌پردازیم. لازم به ذکر است که در روش تحلیل پوششی داده‌ها از آنجا که مدل خطی نیست پس از تبدیل به مدل خطی به تعیین امتیازها و وزن‌های ورودی-خروجی‌ها با نرم‌افزار لینگو پرداخته می‌شود. در این مطالعه، پس از طراحی الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات برای حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز با چهار سایز متفاوت، به تعیین ورودی‌ها و خروجی‌ها برای تنظیم پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات با استفاده از مدل ورودی به محور تحلیل پوششی داده‌ها پرداخته شد که خروجی‌ها عبارت‌اند از: مسافت کل و هزینه وسایل نقلیه فعال و زمان حل به عنوان ورودی در نظر گرفته شده است. هر یک از پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات شامل: ماگزیمم تعداد تکرار، تعداد جمعیت اولیه، ضریب C1 و ضریب C2 در ۳ سطح متفاوت مقداردهی اولیه شده‌اند. این مقادیر اولیه از پارامترها در جدول ۲ ارائه شده است؛ سپس ترکیبات پارامترها به تعداد ۸۱ واحد تصمیم‌گیری، با روش تحلیل پوششی داده‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته و کارایی نسبی هر یک از ترکیبات و همچنین وزن مربوط به ورودی و خروجی‌های هر ترکیب با نرم‌افزار لینگو محاسبه شده است. اصول استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها برای ارزیابی واحدهای تصمیم‌گیرنده عبارت‌اند از: (۱) متجانس بودن: واحدهای تصمیم‌گیرنده باید متجانس باشند. واحدهای متجانس نیز عبارت‌اند از: واحدهایی که با دریافت ورودی‌های مشابه و خروجی‌های مشابه تولید شده‌اند؛ (۲) تعداد واحدهای مورد بررسی باید بزرگ‌تر از ۳ برابر مجموع ورودی‌ها و خروجی‌ها باشد. در این صورت، نتایج به دست آمده قابل قبول‌تر خواهد بود. در این تحقیق، به این اصل با در نظر گرفتن ۸۱ واحد تصمیم‌گیرنده و مجموعاً ۳ ورودی و خروجی پرداخته شده است و (۳) ارزیابی واحدها در یک زمان: در صورت عدم ارزیابی واحدها در یک زمان مقادیر کارایی اندازه‌گیری شده دور از واقعیت خواهند بود. در این مطالعه، مقطع زمانی ثابت در نظر گرفته شده است؛ به عبارت دیگر، بررسی‌ها در یک مقطع زمانی انجام شده است. در فاز دوم، نهایتاً با استفاده از روش کارایی متقاطع به رتبه‌بندی ترکیبات پارامترها در هر سایز از مسئله پرداخته می‌شود. در ادامه، تشریح روش محاسبه، با کارایی متقاطع ارائه شده است.

کارایی متقاطع  $E_{KL} (K \neq L)$  در تحلیل پوششی داده‌ها یک روش برای تشخیص واحدهای تصمیم‌گیری با بهترین عملکرد و رتبه‌بندی مؤثر واحدهای تصمیم‌گیری است (چارنز<sup>۱</sup>، کوپر<sup>۲</sup>،

- 
1. Charnes
  2. Cooper
  3. Rhodes
  4. Charnes

رودز<sup>۲</sup>، (۱۹۷۸). در واقع، روش کارایی متقاطع عملکرد یک واحد تصمیم‌گیری را با در نظر گرفتن ورودی بهینه و وزن‌های خروجی دیگر واحدهای تصمیم‌گیری ارزیابی می‌کند. در این مقاله، پس از پیدا کردن وزن‌های ورودی و خروجی‌ها با نرم‌افزار لینگو به رتبه‌بندی ترکیبات مختلف از پارامترهای الگوریتم در ۴ سایز متفاوت از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز با استفاده از روش کارایی متقاطع می‌پردازیم. در معادله (۱)  $O_{iL}$ ،  $i$  امین خروجی واحد  $L$  ام و  $I_{jL}$ ،  $j$  امین ورودی واحد  $L$  است.  $X_{iK}$  و  $X_{jK}$  به ترتیب وزن خروجی  $i$  ام و ورودی  $j$  ام واحد  $K$  ام هستند. در این صورت،  $E_{KL}$  کارایی متقاطع واحد  $L$  ام با توجه به وزن واحد  $K$  ام است؛ به عبارت دیگر، با استفاده از معادله (۱) می‌توان به محاسبه کارایی متقاطع ترکیب  $L$  ام پرداخت:

$$E_{KL} = \frac{\sum_i O_{iL} * X_{iK}}{\sum_j I_{jL} * X_{jK}} \quad (1)$$

### نتایج محاسباتی

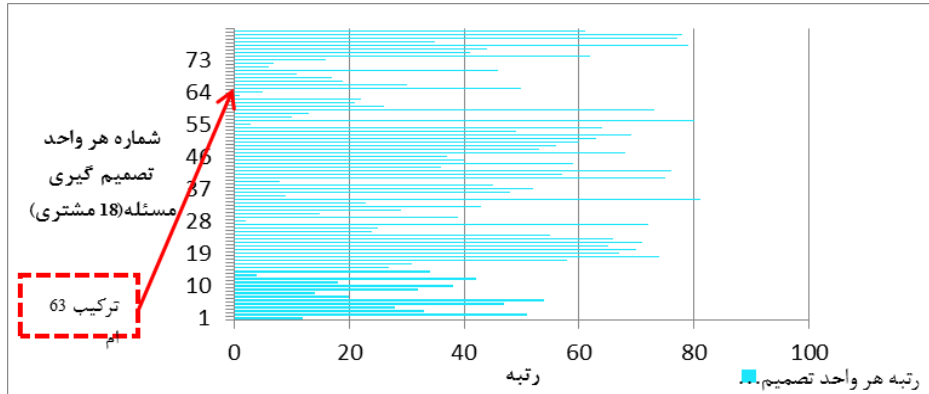
طبق نتایج جدول ۱ برای هر سایز از مسئله بهترین ترکیب پارامتری با استفاده از روش کارایی متقاطع ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، این ترکیب، دارای بالاترین امتیاز کارایی متقاطع در میان سایر ترکیبات است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، ترکیبات ارائه‌شده از روش کارایی متقاطع دارای رتبه یک هستند و بالاترین امتیاز کارایی متقاطع را به خود اختصاص داده‌اند. در جدول ۱ همچنین شناسه هر یک از ترکیبات ارائه شده است که می‌توان با توجه به شناسه مشخص کرد که ترکیب مناسب در تنظیم پارامترها دارای چه مقادیری از پارامترهاست.

جدول ۱: نتایج حاصل از کارایی متقاطع و کارایی نسبی در سایزهای متفاوت از مسائل

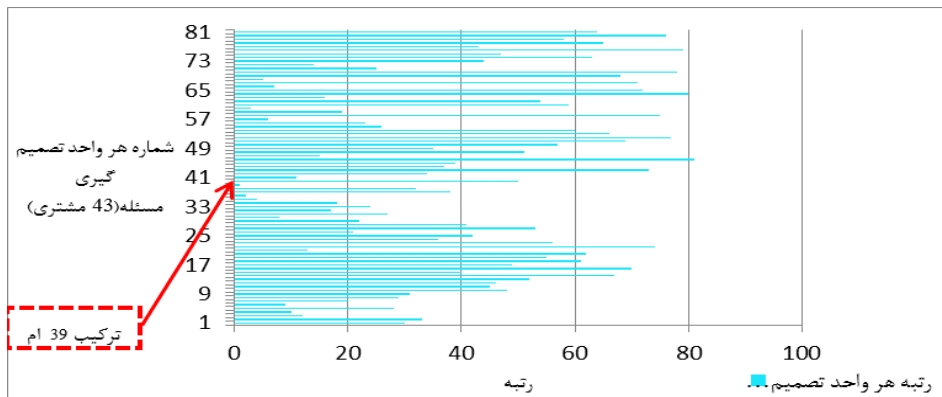
ردیف	نام مسئله	کارا ترین واحد براساس کارایی نسبی	کارا ترین واحد براساس کارایی متقاطع	مقدار امتیاز کارایی متقاطع	شناسه ترکیب
۱	P-n19-k2	۶۳-۲۸	۶۳	۰,۹۹۶۷	۳۱۳۳
۲	A-n44-k6	۶۸-۳۹-۳۶-۳۰	۳۹	۰,۹۶۴۲	۲۲۱۳
۳	A-n53-k7	۳۳-۲۹	۲۹	۰,۹۲۱۸	۲۱۱۲
۴	A-n69-k9	۶۲-۵۸	۵۸	۱	۳۱۲۱

1. Cooper
2. Rhodes

مقادیر امتیاز کارایی متقاطع در شکل‌های ۱ تا ۴ ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نمودارهای رتبه‌بندی کارایی متقاطع بر اساس شماره هر ترکیب از پارامترها و رتبه هر ترکیب برای هر سایز از مسئله ارائه شده است. در هر سایز از مسئله ترکیب با رتبه یک به‌عنوان بهترین ترکیب پارامتری است که شماره ترکیب با رتبه یک روی هر نمودار مشخص شده است.

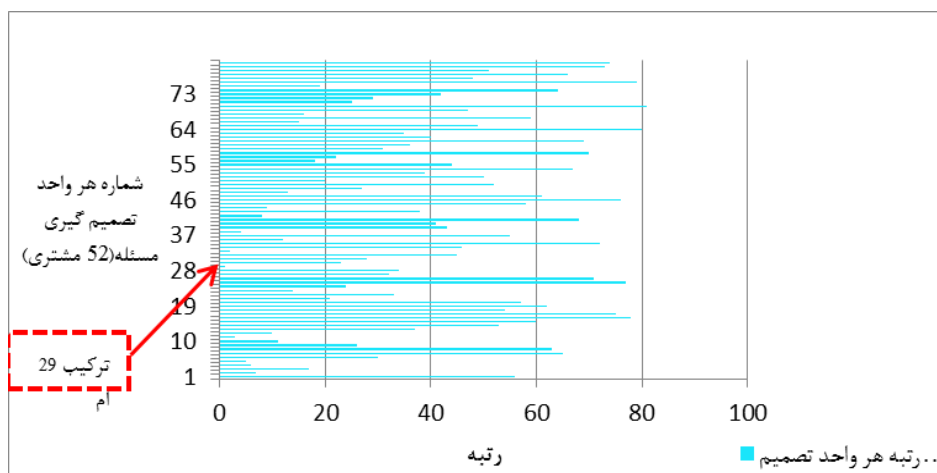


شکل ۱: رتبه‌بندی هر یک از ترکیبات پارامتری در مسئله P-n19-k2

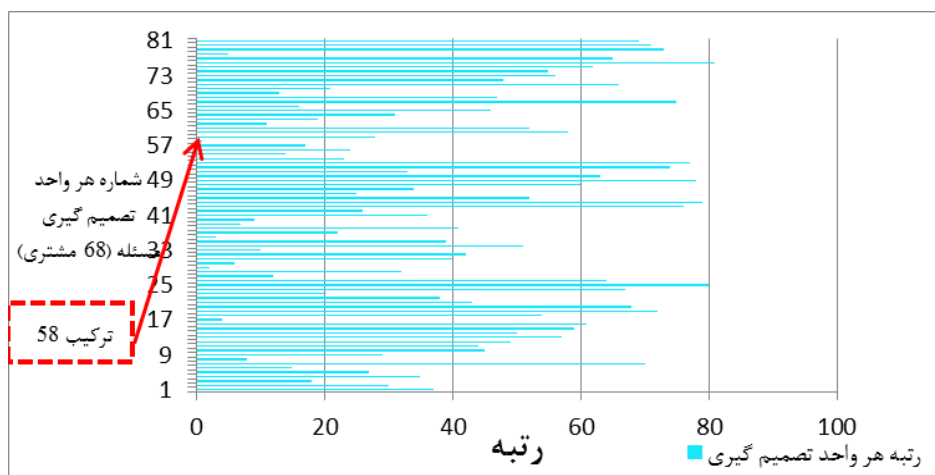


شکل ۲: رتبه‌بندی هر یک از ترکیبات پارامتری در مسئله A-n44-k6

به کارگیری روش کارایی متقاطع برای رتبه‌بندی واحدهای کارا در تنظیم پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات



شکل ۳: رتبه‌بندی هر یک از ترکیبات پارامتری در مسئله A-n53-k7



شکل ۴: رتبه‌بندی هر یک از ترکیبات پارامتری در مسئله A-n69-k9

با توجه به جدول ۲ می‌توان مشخص کرد که هر سایز از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز، کدام ترکیب بر اساس کارایی متقاطع دارای بالاترین رتبه است و به عبارت دیگر، کدام واحد بهترین ترکیب پارامتری در آن سایز از مسئله محسوب می‌شود. طبق جدول ۱ در مسئله اول با ۱۸ مشتری (P-n19-k2) ترکیب ۳۱۳۳ به عنوان بهترین تنظیم پارامتری ارائه شده که دارای پارامترها با ماگزیمم تکرار در سومین سطح یعنی ۱۶۰ تکرار و اندازه جمعیت اولیه در سطح سوم با مقدار ۲۰ و

ضریب C1 و C2 با مقدار ۱,۲ است. مقادیر مناسب پارامترها برای سایر سایزهای مسئله را به همین ترتیب می‌توان از جدول ۲ استخراج کرد. که در جدول ۳ ارائه شده است:

جدول ۲: شناسه اختصاص داده شده به مقادیر متفاوت از پارامترها

ترتیب نام گذاری	نام پارامتر	محدوده پارامتر	شناسه پارامتر
		۲۰۰	۱
شناسه اول	ماگزیمم تعداد تکرار	۱۸۰	۲
		۱۶۰	۳
		۲۰	۱
شناسه دوم	اندازه جمعیت اولیه	۳۰	۲
		۴۰	۳
		۰,۸	۱
شناسه سوم	ضریب C1	۱	۲
		۱,۲	۳
		۰,۸	۱
شناسه چهارم	ضریب C2	۱	۲
		۱,۲	۳

همان طور که مشاهده می‌شود، بهترین ترکیبات پارامتری در هر سایز از مسئله در جدول ۳ ارائه شده است. این ترکیبات بهترین تنظیمات پارامتری الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات در حل مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز با توجه به سایز مسئله هستند.

جدول ۳: بهترین تنظیمات پارامتری بر اساس کارایی متقاطع در هر سایز از مسئله

ردیف	نام مسئله	شناسه بهترین ترکیب بر اساس کارایی متقاطع	ماگزیمم تعداد تکرار	اندازه جمعیت اولیه	ضریب C1	ضریب C2
۱	P-n19-k2	۳۱۳۳	۱۶۰	۲۰	۱,۲	۱,۲
۲	A-n44-k6	۲۲۱۳	۱۸۰	۳۰	۰,۸	۰,۸
۳	A-n53-k7	۲۱۱۲	۱۸۰	۲۰	۰,۸	۰,۸
۴	A-n69-k9	۳۱۲۱	۱۶۰	۲۰	۱	۱



### نتیجه‌گیری

در این مقاله، از داده‌های شبیه‌سازی شده در ۴ سایز مختلف از مسئله مسیریابی وسیله نقلیه باز برای ارائه بهترین تنظیم پارامتری الگوریتم بهینه‌سازی تجمع ذرات استفاده شده است. در ابتدا وزن‌های هر واحد تصمیم‌گیری با مدل کلاسیک تحلیل پوششی داده‌ها و با به‌کارگیری نرم‌افزار لینگو مشخص شده است. سپس به ارزیابی کارایی متقاطع هر ترکیب از پارامترهای الگوریتم و تشکیل ماتریس کارایی متقاطع پرداخته شد. در نهایت، میانگین امتیازهای کارایی متقاطع برای واحد تصمیم‌گیری مربوطه، امتیاز کارایی متقاطع آن واحد را مشخص می‌کند که در هر سایز ترکیبات با رتبه یک بیانگر بهترین تنظیم پارامتری هستند. نتایج نشان می‌دهد که ترکیبات ارائه شده با روش کارایی متقاطع دارای بالاترین کارایی هستند و این روش، عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری را به صورت مؤثر مورد بررسی قرار می‌دهد. رتبه‌بندی عملکرد واحدهای تصمیم‌گیری برای تنظیم پارامترهای الگوریتم‌های فرا ابتکاری، از دیگر روش‌های ارائه شده در ادبیات که در این مقاله نام برده شد، می‌تواند به عنوان پیشنهادات آتی این مطالعه ارائه شود.

منابع

- Anderson TR, Hollingsworth KB, Inman LB (2002) The fixed weighting nature of a cross-evaluation model. *J Product Anal* 18(1):249–255.
- Charnes A, Cooper WW, Rhodes E (1978) Measuring efficiency of decision making units. *Eur J Oper Res* 2:429–444.
- Ertay, T., & Ruan, D. (2005). Data envelopment analysis based decision model for optimal operator allocation in CMS. *European Journal of Operational Research*, 164, 800–810.
- Green, R.H., Doyle, J.R., Cook, W.D., 1996. Preference voting and project ranking using DEA and cross-evaluation. *European Journal of Operational Research* 90, 461–472.
- Guo, D., Wu, J., (2013), A complete ranking of DMUs with undesirable outputs using restrictions in DEA models. *Mathematical and Computer Modelling* 58, 1102–1109.
- Oral, M., Kettani, O., Lang, P., 1991. A methodology for collective evaluation and selection of industrial R&D projects. *Management Science* 37, 871–885.
- Sexton, T., Silkman, R., & Hogan, A. (1986). Data envelopment analysis: Critique and extensions. In *Measuring efficiency: An assessment of data envelopment analysis*. In R.H. Silkman (Ed.). *New directions for program evaluation* (Vol. 32, pp. 73–105). San Francisco, CA: Jossey Bass.
- Shang, J., & Sueyoshi, T. (1995). A unified framework for the selection of flexible manufacturing system. *European Journal of Operational Research*, 85, 297–315.
- Wade, D., Zhu, C., Zhu, J., 2015. DEA Cross Efficiency. *International Series in Operations Research & Management Science* 221, DOI 10.1007/978-1-4899-7553-9\_2.
- Wu, J., Liang, L., Yang, F., 2009. Achievement and benchmarking of countries at the Summer Olympics using cross efficiency evaluation method. *European Journal of Operational Research* 197 (2), 722–730.
- Yu, M.M., Ting, S.C., Chen, M., 2010. Evaluating the cross efficiency of information sharing in supply chains. *Expert Systems with Applications* 37, 2891–2897.