مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال دوازدهم، شماره اول (پیاپی ٤٤)، بهار ٩٤، ص ص ٩٣-٧٩
شاپا ٧٢٨٦-٢٢٥١

ارایه یک مدل دوهدفه‌ی ادغامی تحلیل پوششی داده و مکان‌یابی-تخصیص تک منبعی چند محصولی بدون محدودیت ظرفیت

مازیار صلاحی*[1]، علی جمالیان[2]
۱- دانشیار، دانشگاه گیلان، دانشکده علوم ریاضی، رشت، ایران
۲- دانشجوی دکتری، دانشگاه گیلان، دانشکده علوم ریاضی، رشت، ایران

رسید مقاله: ۲۹ مرداد ۱۳۹۳
پذیرش مقاله: ۱۸ آذر ۱۳۹۳

چکیده
مکان‌یابی سرویس‌دهندگان یکی از مهم‌ترین و کاربردی‌ترین مباحث در حوزه مسایل تصمیم گیری است که معیارهای زیادی در تحلیل آن موثر می‌باشد. هزینه‌ها و کارایی سیستم از مهم‌ترین معیارهای موثر در فرایند تصمیم‌گیری است. لحاظ نمودن این معیارها به صورت همزمان در مدل مسایل مکان‌یابی به تصمیم گیران کمک کند تا با اطلاعات بیش‌تر و تحلیل عمیق‌تر با موضوع مواجه شده و نتایجی را که به طور مستقیم از ابزارهای تحلیلی دیگر به دست نمی‌آیند در اختیار قرار دهد. در این مقاله، مفهوم کارایی با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها در مدل مساله مکان‌یابی-تخصیص تک منبعی چند محصولی بدون محدودیت ظرفیت ادغام شده و یک مدل دوهدفه برنامه‌ریزی خطی صفر و یک آمیخته برای آن ارایه شده است. برای حل مدل ترکیبی جدید از روش LP-متریک استفاده شده است. جواب بهینه‌ی این مدل، الگوی مکان‌یابی-تخصیص کارا و بهینه را به طور همزمان در اختیار قرار می‌دهد. در پایان نیز یک مثال عددی برای توصیف تاثیر مدل ترکیبی ارایه شده است.

کلمات کلیدی: مکان‌یابی، چند محصولی، تحلیل پوششی داده، دو هدفه، برنامه‌ریزی صفر و یک آمیخته.

۱ مقدمه
مکان‌یابی یکی از شاخه‌های تحقیق در عملیات است که در مسایل آن به دنبال یافتن بهترین محل برای احداث یا استقرار سرویس‌دهندگان و نیز چگونگی تخصیص و انجام عملیات سرویس‌دهی به مشتریان است به گونه‌ای که متحمل کمترین هزینه شود. از کاربردهای مهم این موضوع می‌توان به استفاده در زمینه‌ی طراحی زنجیره‌ی تامین، شبکه‌های ارتباطی، مسایل نظامی و امنیتی، تحلیل داده‌ها و داده کاوی، حمل و نقل و زنجیره‌ی توزیع و غیره اشاره کرد [۳-۱].

* عهده دار مکاتبات
پست الکترونیکی: salahim@guilan.ac.ir

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

در مسایل مکان‌یابی، هر چقدر الگوی مکان‌یابی (شامل انتخاب مکان و تخصیص منابع) بتواند در ازای مقداری مشخص و ثابت از نهاده‌ها و منابع، ستانده‌ها و خدمات بیش‌تری را تولید کند، کاراتر است. شاخصه‌هایی نظیر در دسترس بودن زیرساخت‌ها، استفاده از منابع، مقبول بودن و پذیرش در بین سرویس گیرندگان بر کارایی الگوی مکان‌یابی موثر است؛ بنابراین با لحاظ کردن معیار کارایی در مدل‌های مکان‌یابی می‌توان الگوهایی ارایه کرد که علاوه بر درنظر گرفتن معیارهای اقتصادی، کارایی نیز به طور مشخص و مستقل در جواب لحاظ شده است. در این مطالعه یک مدلی ترکیبی از تحلیل پوششی داده‌ها و مکان‌یابی با رویکردی جدید ارایه می‌شود تا بر اساس آن بتوان به الگوی مکان‌یابی کارا و در عین حال کم هزینه دست یافت.

کرباسیان و دشتی [۴] در مطالعه‌ای چهار مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده با مسایل مکان‌یابی پراکندگی پیشنهاد نموده‌اند. این مدل بیش‌تر محیط‌های رقابتی و برای سرویس‌دهندگان مزبور نظیر فروشگاه‌ها و مراکز خرید استفاده می‌شود. در این شرایط، تصمیمات مدیریتی در خصوص کارایی و اثربخشی الگوی مکان‌یابی و تخصیص تاثیر مهمی در سودآوری و ادامه‌ی فعالیت بنگاه دارد؛ لذا درنظر گرفتن معیار هزینه به تنهایی کافی نیست. آن‌ها در مقاله‌ی خود چهار مدل ترکیبی برای یافتن جواب بهینه و کارا در الگوی مکان‌یابی-تخصیص ارایه نمودند و از روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای حل مدل‌های چندهدفه‌ی پیشنهادی استفاده کردند. کوک و گرین [۵] از مدل تحلیل پوششی داده برای مکان‌یابی تک منبعی سرویس‌دهندگان با لحاظ نمودن محدودیت‌های بودجه‌ای و هزینه‌ای استفاده کردند و یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی برای یافتن مکان خرده فروشان با هدف بیشینه ساختن نسبت سود به هزینه ارایه نمودند. کلایمبرگ و راتیک [۶] از مفهوم تحلیل پوششی داده‌ها برای مدل‌سازی مساله و یافتن الگوی بهینه و کارا مکان‌یابی-تخصیص استفاده کردند. در مدل پیشنهادی آن‌ها، از مدل CCR مضربی استفاده شده است و مدلی برای یافتن نمره‌ی کارایی همه‌ی واحدهای تصمیم‌گیرنده به طور همزمان ارایه کرده‌اند. در نهایت دو مدل ترکیبی دو هدفه برای مسایل مکان‌یابی سرویس‌دهندگان با محدودیت ظرفیت و مکان‌یابی سرویس‌دهندگان بدون محدودیت ظرفیت ارایه نمودند. توابع هدف در این مسایل شامل کمینه‌سازی هزینه‌ی کل (شامل هزینه‌ی ثابت تاسیس و هزینه‌ی حمل و نقل) و بیشینه‌سازی میانگین نمرات کارایی واحدهاست. کرباسیان و دشتی [۴] مدل تحلیل پوششی داده‌ی پیشنهادی کلایمبرگ [۶] را برای چهار مدل مکان‌یابی از دسته مسایل پراکندگی به‌کار گرفتند و چهار مدل چندهدفه برای مساله‌ی p-defense، مساله‌ی پراکندگی p-dispersion، مساله‌ی پراکندگی MaxMinSum و MaxSumSum و مساله‌ی مکان‌یابی پوشش ارایه نمودند. همچنین از روشی مبتنی بر برنامه‌ریزی آرمانی فازی برای حل مدل‌های پیشنهادی استفاده کرده‌اند. در مطالعه‌ی دیگری [۷]، یک مدل ترکیبی از تحلیل پوششی داده و مکان‌یابی تسهیلات حساس با ملاحظه‌ی اصل پراکندگی در پدافند غیرعامل ارایه گردیده است که در آن مساله به صورت چند هدفه مدل‌سازی و با روش برنامه‌ریزی آرمانی فازی حل شده است. مدل پراکندگی مورد استفاده در این پژوهش با معیار MaxMinMin بوده؛ شامل انتخاب p مکان از بین n مکان برای تاسیس سرویس‌دهندگان می‌باشد. باستانی و همکاران [۸] یک مدل تلفیقی زنجیره‌ی تامین و تحلیل پوششی داده‌ها برای تخصیص محصولات به توزیع کنندگان با استفاده از برنامه‌ریزی آرمانی پیشنهاد دادند. در این تحقیق، ابتدا عملکرد توزیع کنندگان در

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

زنجیره‌ی تأمین بر اساس آرمان‌های مربوط و معیارهای موثر و با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها ارزیابی می‌شود. سپس با استفاده از روش تحلیل پوششی داده‌ها نمره‌ی کارایی توزیع‌کنندگان محاسبه می‌شوند و در نهایت نحوه‌ی توزیع محصولات بین توزیع‌کنندگان، با توجه به آرمان‌های موجود و بنابر حداکثر نمودن کارایی تعیین شده است. شاهرودی و تدریس حسنی [۹] یک رویکرد تلفیقی با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای انتخاب تامین کنندگان ارایه کردند. آنها با بهره‌گیری از رویکرد هزینه‌ی کل مالکیت، معیارهای ارزیابی را تعیین و با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها به ارزیابی عملکرد و انتخاب تامین‌کنندگان پرداخته‌اند. مطالعه‌ی موردی این تحقیق ارزیابی شرکت‌های تامین کننده قطعات خودرو می‌باشد. توماس و همکاران [۱۰] دو رویکرد برای استفاده از مدل تحلیل پوششی داده در مکان‌یابی سرویس‌دهندگان مضر ارایه نمودند. در رویکرد اول، ابتدا مکان بهینه‌ی سرویس‌دهندگان با حل مدل مکان‌یابی پیدا می‌شود و جواب به عنوان ورودی مدل تحلیل پوششی در نظر گرفته می‌شود. در رویکرد دوم، یک فرایند سلسله مراتبی از تحلیل پوششی داده‌ها در قالب حل یک مدل برنامه‌ریزی خطی که کارایی الگوی مکان‌یابی برای p سرویس‌دهنده را بهینه می‌کند، پیشنهاد شده است. در این پژوهش، نزدیک بودن سرویس‌دهندگان به مشتریان و نیز نمره‌ی کارایی به عنوان معیارهای کارایی در نظر گرفته شده است. آزاده و همکاران [۱۱] یک رویکرد سلسله مراتبی یکپارچه با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای پیدا کردن کاراترین و بهترین محل ممکن در احداث نیروگاه‌های خورشیدی ارایه کردند. در این رویکرد، ابتدا مکان‌های بهینه‌ی ممکن برای احداث نیروگاه محاسبه و سپس با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها رتبه‌بندی می‌شود. در نهایت از روش‌های تحلیل مولفه اساسی (PCA) و روش طبقه‌بندی برای بررسی اعتبار جواب‌های حاصل از مدل استفاده شده است. میتروپولس و همکاران [۱۲] از رویکرد ترکیبی تحلیل پوششی داده برای برنامه‌ریزی مکانی و تخصیص موثر تجهیزات، منابع مالی و منابع انسانی در بخش خدمات سلامت استفاده نمودند. در این تحقیق، چارچوبی برای ارزیابی کارایی فنی مراکز موجود و همچنین مکان‌یابی مراکز جدید برای بیشینه‌سازی سطح دسترسی، کارآمدی، کارایی و تعداد مناسب برای احداث مراکز درمانی جدید ارایه شده است. محب علیزاده [۱۳] ادغام مدل‌های تحلیل پوششی داده و مکان‌یابی-تخصیص را با پارامترهای فازی بررسی کردند. در این تحقیق مسایل مکان‌یابی و تخصیص منابع به صورت همزمان درنظر گرفته شده است و در آن تعداد سرویس‌دهندگان جدیدی که قرار است مکان‌یابی شوند از پیش تعریف شده نیست. میزان تقاضای مشتریان از هر محصول، میزان منابع مورد استفاده در هر سرویس‌دهنده و میزان خروجی سرویس‌دهندگان در هر مکان کاندیدا به صورت اعداد فازی درنظر گرفته شده‌اند. ادبی و عمرانی [۱۴] یک مدل برنامه‌ریزی دوهدفه‌ی عدد صحیح خطی برای بررسی اثر کارایی در طراحی زنجیره تامین ارایه کردند که در آن یک تابع هدف کارایی شبکه را بیشینه می‌کند و تابع هدف دیگر به کمینه‌سازی هزینه‌ی کل (شامل هزینه‌ی ثابت تاسیس و هزینه‌ی حمل و نقل) می پردازد.

در این مقاله، تاثیر لحاظ نمودن معیار کارایی در الگوی مکان‌یابی-تخصیص در مساله‌ی مکان‌یابی-تخصیص تک منبعی بدون محدودیت ظرفیت چند محصولی بررسی می‌شود و یک مدل ادغامی مکان‌یابی-تخصیص با تحلیل پوششی داده‌ها و به صورت مدل برنامه‌ریزی دوهدفه‌ی صفر و یک آمیخته ارایه می‌شود. مدل

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

تحلیل پوششی مورد استفاده در این تحقیق فرم مضربی مدل CCR می‌باشد. مساله‌ی مکان‌یابی-تخصیص در مساله‌ی مکان‌یابی-تخصیص تک منبعی بدون محدودیت ظرفیت چند محصولی تعمیمی از مساله‌ی مکان‌یابی سرویس‌دهنده بدون محدودیت ظرفیت است که در آن تقاضای مشتریان از محصولات مختلف مشخص است و به جای یک محصول، برنامه‌ریزی مکان‌یابی سرویس‌دهندگان و تخصیص مشتریان به آن‌ها برای چند نوع محصول انجام می‌شود.

ساختار مقاله به این صورت است که در بخش ۲ مساله‌ی مکان‌یابی سرویس‌دهنده‌ی تک منبعی بدون محدودیت ظرفیت چند محصولی معرفی می‌گردد. در بخش ۳ مدل پیشنهادی ادغامی تحلیل پوششی داده و مساله‌ی مکان‌یابی سرویس‌دهنده‌ی تک منبعی بدون محدودیت ظرفیت چند محصولی ارایه می‌گردد. در بخش‌های ۴ و۵ به ترتیب روش حل مدل و نتایج حل یک مثال بیان می‌گردد. در نهایت، نتیجه گیری و پیشنهادات در بخش ۶ ارایه می‌شود.

۲ مساله‌ی مکان‌یابی سرویس‌دهنده‌ی تک منبعی بدون محدودیت ظرفیت چند محصولی

فرض کنیم $L=\{۱,...,L'\}$ مجموعه‌ی مشتریان، $I=\{۱,...,I'\}$ مجموعه‌ی نقاط کاندیدا برای احداث کارخانه‌های بدون محدودیت ظرفیت و $K=\{۱,...,K'\}$ مجموعه‌ی انواع محصولات باشد. هر مشتری میزان مشخصی تقاضا دارد که باید توسط کارخانه‌ها برآورده گردد. پیش فرض‌های مساله به شرح ذیل است:

- تعداد کارخانه‌ها از قبل مشخص نیست
- کارخانه‌ها محدودیت ظرفیت ندارد
- چند محصول توسط کارخانه‌ها تولید می‌شود
- میزان تقاضا مشتریان از هر نوع محصول مشخص است
- هر مشتری باید تنها به یک کارخانه تخصیص داده شود
- هر کارخانه‌ای که تاسیس می‌شود تنها یک نوع محصول را باید تولید کند

تابع هدف این مساله به صورت کمینه‌سازی هزینه‌های حمل و نقل، تولید و احداث کارخانه‌ها می‌باشد. در این مدل، تعداد کارخانه‌هایی که باید مکان‌یابی شود از پیش تعیین شده نیست و با حل مدل تعداد بهینه‌ی آن‌ها مشخص می‌گردد. همچنین برنامه‌ریزی تولید محصولات در کارخانه‌ها نیز به طور همزمان در این مدل مشخص می‌گردد. هر کارخانه تنها یک نوع محصول می‌تواند تولید کند و اینکه کدام محصول توسط کدام کارخانه تولید شود، با توجه به سایر محدودیت‌ها و معیار تابع هدف تعیین می‌شود. در نهایت تخصیص مشتریان به کارخانه‌ها با لحاظ نمودن محدودیت تک منبعی بودن مساله که هر مشتری برای تامین تقاضای خود از هر نوع محصول تنها به یک کارخانه تخصیص داده می‌شود، تعیین می‌گردد. پارامترها و متغیرهای مورد استفاده در مدل این مساله به شرح ذیل می‌باشد:

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

پارامترها

q_{jk}:	میزان تقاضای مشتری j ام به محصول نوع k ام
c_{ijk}:	هزینه‌ی حمل و نقل محصول نوع k ام از کارخانه‌ی i ام به مشتری j ام
f_{ik}:	هزینه‌ی ثابت تاسیس و تولید محصول نوع k ام در کارخانه‌ی i ام
p_{ik}:	هزینه‌ی تولید هر واحد محصول نوع k ام در کارخانه‌ی i ام

متغیرهای تصمیم:

$x_{ijk} = \begin{cases} ۱ \\ ۰ \end{cases}$	اگر مشتری j ام محصول نوع k ام از کارخانه‌ی i ام دریافت کند در غیر اینصورت
$y_{ik} = \begin{cases} ۱ \\ ۰ \end{cases}$	اگر محصول نوع k ام در کارخانه‌ی i ام تولید شود در غیر اینصورت

مدل مساله‌ی مکان‌یابی سرویس‌دهنده‌ی تک منبعی بدون محدودیت ظرفیت چند محصولی به صورت زیر است:

$$\min \quad \sum_i \sum_k f_{ik} y_{ik} + \sum_i \sum_j \sum_k g_{ijk} x_{ijk} \qquad (۱)$$

$$s.t. \quad \sum_i x_{ijk} = ۱ \qquad \forall j,k \qquad (۲)$$

$$x_{ijk} \le y_{ik} \qquad \forall i,j,k \qquad (۳)$$

$$\sum_k y_{ik} \le ۱ \qquad \forall i \qquad (۴)$$

$$x_{ijk}, y_{ik} \in \{۰,۱\} \qquad \forall i,j,k \qquad (۵)$$

که در آن $g_{ijk} = (c_{ijk} + p_{ik}) q_{jk}$. تابع هدف (۱) هزینه‌ی کل را کمینه می‌کند. دسته‌ی محدودیت (۲) تضمین می‌کند که هر مشتری به ازای هر نوع محصول تنها از یک کارخانه سرویس بگیرد. دسته‌ی محدودیت (۳) تخصیص مشتریان به کارخانه‌های تاسیس شده را کنترل و تضمین می‌کند. دسته‌ی محدودیت (۴) بیانگر تولید حداکثر یک محصول در هر کارخانه است. محدودیت (۵) نوع متغیرهای مدل را که از نوع صفر و یک می‌باشد نشان می‌دهد. تعداد محدودیت‌ها و متغیرهای آن به شرح ذیل است:

- تعداد متغیرهای صفر و یک: $IJK + IK$
- تعداد محدودیت‌ها: $IJK + JK + I$

از آنجایی‌که مساله‌ی مکان‌یابی سرویس‌دهنده بدون قید ظرفیت یک حالت خاص از این مساله است (با در نظر گرفتن مجموعه تک عضوی برای محصولات)؛ لذا مساله‌ی مکان‌یابی سرویس‌دهنده تک منبعی بدون محدودیت ظرفیت چند محصولی سخت‌تر از مساله‌ی مکان‌یابی سرویس‌دهنده بدون قید ظرفیت است. در نتیجه

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

این مساله از دسته مسایل ان-پی سخت است [۱۵]. این مساله کاربردهای زیادی در مسایل تولید دارد. برای مثال، در کمپانی‌هایی که چند نوع محصول مختلف را تولید می‌کنند (مانند تولیدی محصولات دارای تکنولوژی پیشرفته)، عواملی مثل هزینه‌های تولید، هزینه‌ی کیفیت، آموزش نیروی انسانی، تنوع محصول و هزینه‌ی بالا و کمبود ماشین آلات موجب می‌شود تا مدیریت تصمیم به تمرکز تولید هر محصول در یک کارخانه مجزا بگیرد. بر این اساس، سوال راهبردی تصمیم گیرندگان این است که کارخانه‌ها در چه محلی و با چه سطح سرویس‌دهی و طرح تخصیصی باید احداث شوند تا مجموعه هزینه‌های راه‌اندازی و حمل و نقل محصولات به مشتریان کمینه شود؛ لذا مدل (۵)-(۱) می‌تواند پاسخگوی نیاز برنامه‌ریزان برای این منظور باشد.

۳ مدل یکپارچه SSUMPFLP/DEA

تحلیل پوششی داده‌ها یک روش غیرپارامتری مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی است که برای اندازه‌گیری نمره‌ی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده‌ی همگن با نهاده‌ها و ستانده‌های مشابه به‌کار می‌رود. در ابتدا فارل [۱۶] یک روش غیرپارامتری برای ارزیابی کارایی یک واحد تصمیم‌گیرنده با دو ورودی و یک خروجی ارایه کرد و بعدها چارنز و همکاران [۱۷] این رویکرد را برای ارزیابی چند واحد و با ورودی‌ها و خروجی‌های چندگانه گسترش دادند. برای ارزیابی واحد از معیار کارایی نسبی که عبارت است از نسبت مجموع وزن‌دار خروجی‌ها به مجموع وزن‌دار ورودی‌ها، استفاده می‌شود. این روش در سال‌های گذشته به طور گسترده مورد توجه محققان قرار گرفته و تحقیقات زیادی در بسط و توسعه‌ی آن صورت گرفته است [۱۸].

در این تحقیق از مدل CCR برای ارزیابی استفاده می‌گردد. این مدل، هر یک از واحدهای تصمیم‌گیرنده را نسبت به سایر واحدها ارزیابی نموده و نمره‌ی کارایی نسبی آن را محاسبه می‌کند؛ لذا برای هر یک از واحدهای تصمیم‌گیرنده باید یک مدل تحلیل پوششی حل شود. نمره‌های محاسبه شده بین صفر و یک است و واحدهایی که دارای نمره‌ی کارایی یک باشند، کارا و در غیر این صورت ناکارا نامیده می‌شوند.

در این تحقیق، برای بررسی کارایی طرح مکان‌یابی کارخانه‌ها و نحوه تخصیص منابع با استفاده از ابزار تحلیل پوششی داده، هر یک از یال‌های ارتباطی بین کارخانه‌ها و مشتریان برای هر محصول را در شبکه به عنوان یک واحد تصمیم‌گیرنده در نظر می‌گیریم و در مدل ادغامی، علاوه بر کمینه‌سازی هزینه‌ی کل، کارایی حاصل از مکان‌یابی کارخانه‌ها و تخصیص آن‌ها به مشتریان را بیشینه می‌کنیم. با توجه به نوع انتخاب واحدهای تصمیم‌گیرنده برای ارزیابی کارایی طرح مکان‌یابی-تخصیص نیازمند یک مدل یکپارچه و یک مرحله‌ای برای مکان‌یابی و تخصیص مشتریان هستیم. به این منظور از مدل تحلیل پوششی که کلایمبرگ و راتیک [۶]، ارایه کردند استفاده می‌کنیم. این مدل نمره‌ی کارایی نسبی تمام واحدهای تصمیم‌گیرنده را در یک مرحله و با حل یک مدل محاسبه می‌کند. تابع هدف آن مدل پیشنهادی آن‌ها بیشینه‌سازی مجموع نمره‌ی کارایی واحدها تحت ارزیابی است. فرم مضربی این مدل به صورت ذیل می‌باشد:

$$\max \quad \sum_{j}\sum_{r} O_{rj} u_{rj} \qquad (۶)$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

$$s.t. \quad \sum_i I_{ij} v_{ij} = ١ \qquad \forall j \qquad (٧)$$

$$\sum_r O_{rk} u_{rj} - \sum_i I_{ik} v_{ij} \le ٠ \qquad \forall j,k,\ j \ne k \qquad (٨)$$

$$v_{ij}, u_{rj} \ge \varepsilon \qquad \forall i,j,r \qquad (٩)$$

که در آن ε یک عدد غیر ارشمیدسی، u_{rj} وزن خروجی rام و u_{rj} وزن ورودی iام در واحد تصمیم‌گیرنده‌ی jام است. O_{rj} خروجی rام و I_{ij} ورودی iام واحد تصمیم‌گیرنده jام می‌باشد.

برای دستیابی به طرح مکان‌یابی-تخصیص کارا در مدل مکان‌یابی SSUMPFLP از روش تحلیل پوششی داده استفاده نموده، آن را در قالب یک تابع هدف به مساله اضافه می‌نماییم. با این رویکرد، یک طرح مکان‌یابی بهینه با حداکثر نمره‌ی کارایی و حداقل هزینه‌های تاسیس و حمل و نقل حاصل می‌شود. مدل پیشنهادی ادغامی تحلیل پوششی داده و SSUMPFLP که آن را SSUMPFLP/DEA می‌نامیم به صورت برنامه‌ریزی دوهدفه‌ی خطی آمیخته می‌باشد. پارامترهای و متغیرهای تصمیم مورد استفاده در مدل‌سازی این مساله به شرح ذیل است:

پارامترها

f_{hk}:	هزینه‌ی ثابت تاسیس و تولید محصول نوع k ام در کارخانه‌ی h ام
g_{hlk}:	هزینه‌ی تولید و ارسال محصول نوع k ام از کارخانه‌ی h ام به مشتری l ام
O_{hlkj}:	خروجی jام مرتبط با ارسال محصول نوع kام از کارخانه‌ی h ام به مشتری l ام
I_{hlki}:	ورودی iام مرتبط با ارسال محصول نوع kام از کارخانه‌ی h ام به مشتری l ام

متغیرهای تصمیم

u_{hlkj}:	وزن خروجی jام مرتبط با ارسال محصول نوع kام از کارخانه‌ی h ام به مشتری l ام
v_{hlki}:	وزن ورودی iام مرتبط با ارسال محصول نوع kام از کارخانه‌ی h ام به مشتری l ام
$x_{hlk} = \begin{cases} ١ \\ ٠ \end{cases}$	اگر مشتری l ام محصول نوع k ام از کارخانه h ام دریافت کند در غیر این‌صورت
$y_{hk} = \begin{cases} ١ \\ ٠ \end{cases}$	اگر محصول نوع k ام در کارخانه‌ی h ام تولید شود در غیر این‌صورت

مدل مساله SSUMPFLP/DEA به صورت زیر است:

$$Z_١ = \min \quad \sum_h \sum_k f_{hk} y_{hk} + \sum_h \sum_l \sum_k g_{hlk} x_{hlk} \qquad (١٠)$$

$$Z_٢ = \max \quad \sum_h \sum_l \sum_k \sum_j O_{hlkj} u_{hlkj} \qquad (١١)$$

$$\sum_h x_{hlk} = ١ \qquad \forall l,k \qquad (١٢)$$

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

$$x_{hlk} \le y_{hk} \qquad \forall h,l,k \qquad (۱۳)$$

$$\sum_k y_{hk} \le ۱ \qquad \forall h \qquad (۱۴)$$

$$\sum_i I_{hlki} v_{hlki} = x_{hlk} \qquad \forall h,l,k \qquad (۱۵)$$

$$\sum_j O_{hlkj} u_{hlkj} \le x_{hlk} \qquad \forall h,l,k \qquad (۱۶)$$

$$\sum_j O_{hlkj} u_{pqrj} - \sum_i I_{hlki} v_{pqri} \le ۰ \qquad \forall\, h,l,k,p,q,r \quad h \ne p, l \ne q, k \ne r \qquad (۱۷)$$

$$u_{hlkj} \ge \varepsilon x_{hlk} \qquad \forall h,l,k,j \qquad (۱۸)$$

$$v_{hlki} \ge \varepsilon x_{hlk} \qquad \forall h,l,k,i \qquad (۱۹)$$

$$x_{hlk}, y_{hk} \in \{۰,۱\} \qquad \forall h,l,k \qquad (۲۰)$$

تابع هدف (۱۰) و قیدهای (۱۴)-(۱۲) و (۲۰) مربوط به مساله SSUMPFLP در (۵)-(۱) است و تابع هدف (۱۱) به همراه قیدهای (۱۹)-(۱۵) مرتبط با مدل تحلیل پوششی داده در (۹)-(۶) می‌باشد. تابع هدف (۱۰) بیانگر مجموع هزینه‌ی ثابت تاسیس کارخانه‌ها در مکان‌های کاندیدا و نیز هزینه‌ی حمل و نقل از کارخانه‌ها به مشتریان می‌باشد. تابع هدف (۱۱) بیانگر مجموع وزن‌دار خروجی‌های واحدهای تصمیم‌گیرنده در شبکه است. محدویت (۱۲) تضمین می‌کند که هر مشتری به ازای هر نوع محصول تنها از یک کارخانه سرویس بگیرد. محدودیت (۱۳) تخصیص مشتریان به کارخانه‌های تاسیس شده را کنترل می‌کند. محدودیت (۱۴) بیانگر این است که هر کارخانه‌ی می‌تواند حداکثر یک محصول تولید کند. در محدودیت (۱۵) در صورتی که تخصیص محصول نوع k ام از کارخانه h ام به مشتری l ام صورت نگرفته باشد، ضرایب مربوطه صفر می‌شود و در غیر این صورت تضمین می‌کند که مجموع وزن‌دار ورودی‌های آن برابر با یک باشد. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند در صورتی که تخصیص محصول نوع k ام از کارخانه‌ی h ام به مشتری l ام صورت نگرفته باشد، ضرایب خروجی مربوط به آن صفر شود. محدودیت (۱۷) واحدهای تصمیم‌گیرنده را نسبت به هم مورد ارزیابی قرار می‌دهد و حداکثر نمره‌ی کارایی هر کدام را برابر با یک در نظر می‌گیرد. محدودیت‌های (۱۸) و (۱۹) در صورتی که محصول نوع k ام از کارخانه‌ی h ام به مشتری l ام صورت گرفته باشد، ضرایب ورودی و خروجی مربوط را با عدد غیر ارشمیدسی ε کنترل می‌نماید. محدودیت (۲۰) نوع متغیرهای مرتبط با مکان‌یابی در مدل را که از نوع صفر و یک می‌باشد نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) نقشی محوری در کنترل و ارتباط مساله‌ی مکان‌یابی با روش تحلیل پوششی داده‌ها در مدل ارایه شده دارند. در صورتی که تخصیص محصول نوع k ام از کارخانه‌ی h ام به مشتری l ام صورت نگیرد، محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) صفر شدن ضرایب ورودی و خروجی مربوط به آن تخصیص را تضمین می‌کند.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

مدل ارایه شده از نوع دوهدفه و برنامه‌ریزی خطی صفر و یک آمیخته می‌باشد و تعداد محدودیت‌ها و متغیرهای آن به شرح ذیل می‌باشد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تعداد محدودیت‌ها و متغیرها در مقایسه با مدل اصلی رشد بسیار قابل توجهی داشته است، لذا حل این مدل ترکیبی خود یکی از چالش‌های محاسباتی است:

- تعداد متغیرها: $HKL\,(I+J+1)+HK$
  - متغیرهای صفر و یک: $HKL+KH$
  - متغیرهای نامنفی: $HKL\,(I+J)$
- تعداد محدودیت‌ها: $H^2K^2L^2+HKL\,(J+I+3)+KL-K-L$

٤ روش حل مدل

با توجه به اینکه مدل ادغامی پیشنهاد شده در بخش قبل از نوع دوهدفه با توابع هدف ناسازگار می‌باشد، برای حل آن از روش LP-متریک استفاده می‌کنیم [١٩]. روش LP-متریک یکی از روش‌های معروف حل مسایل برنامه‌ریزی چند هدفه است که دارای اهداف متضاد و ناسازگار می‌باشد. در این روش مساله با در نظر گرفتن هر یک از اهداف به صورت جداگانه و یک مدل تک هدفه حل می‌شود و با استفاده از مقدار بهینه‌ی مساله‌ی تحت اهداف متناظر، تابع هدف جدیدی مبتنی بر تفاضل نرمال شده‌ی توابع هدف را برای مساله در نظر گرفته، جواب بهینه مساله را تحت آن تابع هدف می‌یابد. بر این اساس، تابع هدف مورد نظر در مدل پیشنهادی این تحقیق به این صورت است که ابتدا مدل را به طور جداگانه با توابع هدف Z_1,Z_2 حل کرده، مقادیر بهینه‌ی مساله‌ی Z_1^*,Z_2^* را می‌یابیم. سپس تابع هدف روش LP-متریک را به صورت زیر در نظر می‌گیریم:

$$\min\ Z_3=\omega\frac{Z_1-Z_1^*}{Z_1^*}+(1-\omega)\frac{Z_2-Z_2^*}{Z_2^*}$$

که در آن $0\le\omega\le1$ وزن نسبی اجزا است. با استفاده از تابع هدف روش LP-متریک، Z_3، مدل تک هدفه‌ی مساله با استفاده از ابزارهایی نظیر CPLEX [٢٠] قابل حل خواهد بود.

٥ مثال عددی

در این بخش مثالی برای مدل SSUMPFLP/DEA ارایه می‌شود. مدل مساله در این مثال سه مرتبه با توابع هدف Z_1,Z_2 و Z_3 حل می‌شود. تابع هدف Z_1 هزینه‌ی ثابت تاسیس سرویس‌دهندگان و حمل نقل را کمینه می‌کند. تابع هدف Z_2 مجموع نمره‌ی کارایی واحدهای تصمیم‌گیرنده را بیشینه می‌کند و Z_3 تابع هدف روش LP-متریک است که با استفاده از جواب‌های بهینه توابع هدف Z_1,Z_2 ارتباط بین تغییرات هزینه‌ها و نمره‌ی کارایی واحدها را برقرار می‌کند. مدل‌ها با استفاده از بسته‌ی نرم‌افزاری IBM ILOG CPLEX 12.5 بر روی یک کامپیوتر با پردازنده‌ی ٢GHz و ٢GB حافظه‌ی رم حل شده است.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

برای این منظور یک مثال با سه سرویس‌دهنده ($h=۳$)، دو مشتری ($l=۲$)، دو نوع محصول ($k=۲$)، سه ورودی ($I_۱-I_۳$) و دو خروجی ($O_۱-O_۲$) در نظر گرفته شده است که داده‌های آن در جداول ۱ تا ۴ ارایه شده است. ورودی و خروجی‌ها در این مثال به صورت زیر تعریف شده است:

ورودی ۱: ریسک حاصل از انجام تخصیص

ورودی ۲: زمان ارایه‌ی خدمات در تخصیص

ورودی ۳: مالیات حاصل از تخصیص

خروجی ۱: رضایت مشتریان از کیفیت خدمات در تخصیص

خروجی ۲: سود حاصل از تخصیص

هزینه‌ی ثابت تاسیس تمام سرویس‌دهندگان $f_{hk}=۳۰۰$ در نظر گرفته شده است. سایر پارامترهای مدل به قرار زیر است [۱۵]:

جدول ۱. هزینه تولید محصولات در هر سرویس‌دهنده‌ی (p)

سرویس دهنده	محصول	هزینه تولید
۱	۱	۹/۲
۱	۲	۸/۷
۲	۱	۹/۶
۲	۲	۸/۷
۳	۱	۸/۳
۳	۲	۶/۹

جدول ۲. تقاضای مشتریان از هر محصول (q)

مشتری	محصول	تقاضا
۱	۱	۲۵
۱	۲	۲۶
۲	۱	۱۰
۲	۲	۵

جدول ۳. هزینه‌ی حمل و نقل محصولات بین سرویس‌دهندگان و مشتریان (c)

سرویس دهنده	مشتری	محصول	هزینه
۱	۱	۱	۵/۲
۱	۱	۲	۹
۱	۲	۱	۸/۹
۱	۲	۲	۶/۷۹
۲	۱	۱	۱۹/۷
۲	۱	۲	۱۲/۵
۲	۲	۱	۱۱/۵
۲	۲	۲	۱۵/۵

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

سرویس دهنده	مشتری	محصول	هزینه
٣	١	١	١٧/٨
٣	١	٢	١٩/٤
٣	٢	١	١٠/٤
٣	٢	٢	٦/٥

جدول ٤. داده‌های ورودی و خروجی متناظر با هر یال در شبکه

شماره واحد	سرویس دهنده	مشتری	محصول	I_1	I_2	I_3	O_1	O_2
١	١	١	١	٦٩	٦٣	٧٨	٧٣	٤
٢	١	١	٢	٩٢	٧٥	٩٨	٨٠	٣٥
٣	١	٢	١	٧٦	٦٤	٩٤	٦٩	٣٧
٤	١	٢	٢	٢٥	٢٤	٨٦	٢١	٧١
٥	٢	١	١	٩٤	٩٨	٥٥	٤٧	٤٠
٦	٢	١	٢	٩٠	٥٧	٦٩	٥٢	٢٢
٧	٢	٢	١	٩١	٢١	٨٤	٦٤	٦١
٨	٢	٢	٢	٤٣	٢٣	٧٣	١٧	١٠
٩	٣	١	١	٩٨	٧٣	٥٤	١٤	٤٢
١٠	٣	١	٢	٦٥	٢٤	٩٣	١٨	١٩
١١	٣	٢	١	٨٣	٢٩	٣٢	٤٩	٢٨
١٢	٣	٢	٢	٧٤	٩٢	٥٢	٥٦	٦٠

نتایج حاصل از حل مدل SSUMPFLP/DEA با داده‌های فوق در جدول ٥ خلاصه شده است. با توجه به اینکه سطح عملیات و نمره‌ی کارایی واحدها در مدل SSUMPFLP/DEA تاثیر متقابل بر روی هم ندارد، این مدل برای مقادیر مختلف $\omega>0$ جواب بهینه‌ی یکسانی خواهد داشت؛ لذا تنها برای $\omega=1$ و $\omega=0$ مساله حل و نتایج تجزیه و تحلیل می‌شود. به عبارت دیگر، یک بار مساله تحت معیار کمینه‌سازی هزینه‌ی کل و یک بار هم تحت معیار بیشینه‌سازی مجموع کارایی واحدها ارزیابی می‌شود. الگوی مکان‌یابی-تخصیص بهینه بدست آمده در این مدل دارای بالاترین نمره‌ی کارایی ممکن در بین الگوی های ممکن است. نتایج حاصل از این مدل به مدیران و تصمیم گیران کمک می‌کند تا به طرح‌های مکان‌یابی- تخصیص بهینه با حداکثر کارایی دست یابند که در مقایسه با حل تنها مدل‌های مکان‌یابی، بسیار کاربردی تر و کارآمدتر است. مقدار متغیرها در جواب بهینه‌ی این مثال به شرح جداول ٦ و٧ می‌باشد. بر این اساس، با معیار بیشینه‌ی کارایی محصول نوع ١ توسط سرویس‌دهنده‌ی شماره ١ و محصول نوع ٢ توسط سرویس‌دهنده‌ی شماره ٢ عرضه خواهد شد. در حل مساله با معیار کمینه‌ی هزینه، محصول نوع ١ توسط سرویس‌دهندگان شماره ١ و شماره ٣ و محصول نوع ٢ توسط سرویس‌دهنده‌ی شماره ١ عرضه خواهد شد. همان‌طور که در جدول ٥ دیده می‌شود با لحاظ کردن معیار کارایی در مساله، هزینه‌های تاسیس و حمل و نقل نسبت به حالتی که این معیار در نظر گرفته نمی‌شود، افزایش یافته؛ ولی در قبال انجام این هزینه، کارایی شبکه را به میزان قابل توجهی افزایش داده است. همان‌طور که در جدول ٧

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

ملاحظه می‌شود، متوسط نمره‌ی کارایی تخصیص‌ها از ۰/۰۷۱ به ۰/۹۹۴۵ و مجموع نمرات کارایی الگوی مکان‌یابی-تخصیص از ۰/۲۸۴ به ۳/۹۷۸۱ افزایش یافته است. بر این اساس، اضافه کردن معیار کارایی الگو در مدل مکان‌یابی هزینه‌ای برای تصمیم گیرندگان ایجاد می‌کند؛ ولی در عوض ارزش زیادی را در میزان کارایی الگو در اختیار قرار می‌دهد. به عبارت دیگر تنها با ۲۶/۸٪ افزایش هزینه‌ها، ۱۳۰۰٪ افزایش کارایی در الگوی حاصل خواهیم داشت؛ لذا لحاظ کردن کارایی در مدل‌های مکان‌یابی می‌تواند در قبال هزینه‌ای بسیار اندک، معیارهای مدیریتی بیش‌تری را در جواب تامین نماید. در جواب بهینه‌ی مساله‌ی تحت معیار بیشینه‌سازی کارایی، پارامتر سودآوری تخصیص‌ها (خروجی دوم) اهمیت بیش‌تری نسبت به پارامتر رضایت مشتری (خروجی اول) دارد و ضریب مربوط به آن برای تمام محصولات بالاتر است. همچنین در بین پارامترهای ورودی، به ترتیب پارامترهای زمان سرویس، مالیات و ریسک دارای اهمیت می‌باشند. در جواب بهینه‌ی مساله‌ی تحت معیار کمینه‌سازی هزینه‌ی کل، پارامترهای سودآوری و رضایت مشتری دارای اهمیت و ضریب برابر هستند. در بین پارامترهای ورودی، ریسک دارای ضریب بالاتر و پارامترهای زمان سرویس و مالیات دارای اهمیت یکسان می‌باشند.

جدول ۵. خلاصه نتایج حل مدل SSUMPFLP/DEA

ω	۰	۱
توابع هدف		
هزینه‌ی ثابت	۹۰۰	۶۰۰
هزینه‌ی حمل و نقل	۱۳۹۸/۷	۱۲۱۳/۲
کل هزینه‌ها	۲۲۹۸/۷	۱۸۱۳/۲
مجموع نمره‌ی کارایی یال‌ها	۳/۹۷۸۱	۰/۲۸۴
واحدها		
تعداد سرویس‌دهندگان فعال	۳	۲
تعداد یال‌های فعال	۴	۴
میانگین نمره‌ی کارایی یال‌ها	۰/۹۹۴۵	۰/۰۷۱

جدول ٦. برنامه تاسیس سرویس‌دهندگان (y)

سرویس دهنده	محصول	$\omega=۰$	$\omega=۱$
۱	۱	۰	۱
۱	۲	۱	۰
۲	۱	۱	۰
۲	۲	۰	۱
۳	۱	۱	۰
۳	۲	۰	۰

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

جدول ۷. نحوه‌ی تخصیص محصولات از سرویس‌دهندگان به مشتریان (x)

سرویس دهنده	مشتری	محصول	$\omega=۰$	$\omega=۱$
۱	۱	۱	۰	۱
۱	۱	۲	۱	۰
۱	۲	۱	۰	۱
۱	۲	۲	۱	۰
۲	۱	۱	۰	۰
۲	۱	۲	۰	۱
۲	۲	۱	۱	۰
۲	۲	۲	۰	۱
۳	۱	۱	۱	۰
۳	۱	۲	۰	۰
۳	۲	۱	۰	۰
۳	۲	۲	۰	۰

٦ نتیجه‌گیری

در این مقاله مفهوم کارایی در قالب روش تحلیل پوششی داده‌ها در مدل‌سازی مساله‌ی مکان‌یابی-تخصیص تک منبعی چند محصولی بدون محدودیت ظرفیت به‌کار گرفته شده است. مدل مورد استفاده برای ارزیابی کارایی فرم مضربی مدل CCR می‌باشد که تمام واحدهای تصمیم‌گیرنده را به طور همزمان بررسی و مجموع نمرات کارایی آن‌ها را بیشینه می‌کند. یک مدل دوهدفه‌ی برنامه‌ریزی خطی صفر و یک آمیخته برای این منظور پیشنهاد شده است. در مدل مکان‌یابی تخصیص به‌کار گرفته شده، تعداد سرویس‌دهندگان از قبل مشخص نیست و سرویس‌دهندگان محدودیتی برای ظرفیت خود ندارند. همچنین میزان تقاضای مشتریان از محصولات مختلف مشخص است. مدل پیشنهادی در این مقاله، الگوی مکان‌یابی که شامل برنامه‌ی تاسیس سرویس‌دهندگان برای تولید و عرضه‌ی محصولات مختلف و نیز تخصیص مشتریان به آن‌ها با کمترین هزینه را ارایه می‌کند. عوامل مختلفی همچون هزینه‌های حمل و نقل، مالیات، ریسک جابجایی، پوشش و سطح دسترسی مشتریان بر تخصیص و پیاده سازی این الگو در دنیای واقعی موثر هستند و لذا در نظر گرفتن هزینه به تنهایی جواب بهینه را تعیین نخواهد کرد؛ بنابراین با در نظر گرفتن هر کدام از یال‌های شبکه‌ی بین مشتریان و سرویس‌دهندگان به ازای محصولات مختلف به عنوان واحدهای تصمیم‌گیرنده و اعمال عوامل مذکور به عنوان ورودی‌ها و خروجی‌های آن، اضافه کردن معیار کارایی به صورتی که گفته شد در مدل ادغامی پیشنهاد شده است. در این پژوهش، کارایی واحدها به عنوان تابع هدف دوم در مساله‌ی مدل و با روش LP-متریک حل شده است. یک مثال عددی در ابعاد کوچک برای این مدل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی اطلاعات بیش‌تری را در اختیار تصمیم گیرندگان قرار می‌دهد. نتایج حاصل از آن الگوی مکان‌یابی-تخصیص کاراتر و قابل اطمینان تری نسبت به مدل‌هایی که کارایی را در نظر نمی گیرند، ارایه می‌کند. بر اساس نتایج،

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

لحاظ کردن معیار کارایی در مدل موجب افزایش هزینه‌ها می‌شود؛ ولی این افزایش بسیار کم بوده؛ در قبال آن کارایی به عنوان یک معیار مهم در برنامه‌ریزی ها افزایش زیادی خواهد داشت.

منابع

[۷] کرباسیان، م.، دشتی، م.، اسداللهی، ا.، (۱۳۹۰). مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و مکان‌یابی تسهیلات حساس با ملاحظه اصل پراکندگی، علوم و فناوری های پدافند غیرعامل، ۲ (۳)، ۱۶۷-۱۶۱.

[۸] باستانی، م.، کتابی، س.، قندهاری، م.، (۱۳۹۳). ارایه یک مدل تلفیقی برای تخصیص محصولات به توزیع کنندگان در زنجیره تامین با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها و برنامه‌ریزی آرمانی، مطالعه موردی صنعت خودرو، مجله تحقیق در عملیات درکاربردهای آن، ۱۱ (۱)، پیاپی ۴۰، ۱۳۱-۱۱۹.

[۹] شاهرودی، ک.، تدریس حسنی، م.، (۱۳۹۰). ارایه مدلی ریاضی به منظور انتخاب تامین کنندگان با استفاده از رویکرد تلفیقی تحلیل پوششی داده‌ها و هزینه کل مالکیت (مورد مطالعه: زنجیره ارزش ساز در صنعت خودرو ایران)، مجله تحقیق در عملیات درکاربردهای آن، ۸ (۳)، پیاپی ۳۰، ۸۱-۷۱.

[1] Farahani, R. Z., Hekmatfar, M. (2009). Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies. Physica.

[2] Drezner, Z., Hamacher, H.W. (2001). Facility Location: Theory and Algorithms. Berlin: Springer.

[3] Daskin, M. S. (1995). Network and Discrete Location, Models, Algorithms, and Applications. New York: John Wiley & Sons, Inc.

[4] Karbasian, M., Dashti, M., (2011). Designing four multi-objective models for dispersion facilities location problems considering Data Envelopment Analysis and maximum covering. International Journal of Management Science and Engineering Management, 6, 298-306.

[5] Cook, W. D., Green, R. H., (2003). Selecting Sites for New Facilities Using Data Envelopment Analysis. Journal of Productivity Analysis, 19, 77-91.

[6] Klimberg, R. K., Ratick, S. J., (2008). Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decision. Computer & Operation Research, 35, 474-457.

[10] Thomas, P., Chan, Y., Lehmkuhl, L., Nixon, W., (2002). Obnoxious-facility location and data envelopment analysis: A combined distance-based formulation. European Journal of Operational Research, 141, 495-514.

[11] Azadeh, A., Ghaderi, S.F., Maghsoudi, A., (2008). Location optimization of solar plants by an integrated hierarchical DEA PCA approach. Energy Policy, 36, 3993-4004.

[12] Mitropoulos, P., Mitropoulos, I., Giannikos, I., (2013). Combining DEA with location analysis for the effective consolidation of services in the health sector. Computers & Operations Research, 40, 2241-2250.

[13] Moheb-Alizadeh, M., Rasouli, S. M., Tavakkoli-Moghaddam, R., (2011). The use of multi-criteria data envelopment analysis (MCDEA) for location-allocation problems in a fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 38, 5687-5695.

[14] Adabi, F., Omrani, H., (2014). Designing a supply chain management based on distributers efficiency measurement. Uncertain Supply Chain Management, 3, 87-96.

[15] Mohammad Nezhad, A., Manzour, H., Salhi, S., (2013). Lagrangian relaxation heuristics for the uncapacitated single-source multi-product facility location problem. International journal of Production Economics, 145, 713–723.

[16] Farrell, M. J., (1957). The measurement of productive efficiency. Journal of the Royal Statistic Society, 120, 253-281.

[17] Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E., (1978). Measuring the efficiency of decision making units. European Journal of Operational Research, 2, 429-444.

[18] Cooper, W. W., Seiford, L. M., Tone, K. (2007). Data envelopment analysis: A comprehensive text with models, applications, references and DEA-Solver Software. Second editions, Springer.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]

[19] Deb, K. (2001). Multi-Objective Optimization Using Evolutionary Algorithms. New York: John Wiley & Sons, Inc.
[20] IBM ILOG CPLEX optimization studio reference manual, (2013). Available at: http://www-01.ibm.com/softw are/in/websphere/products/ optimisation/index.html.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-29]